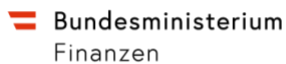


XR-SAT Ergebnisbericht

Finanziert im Sicherheitsforschungs-Förderprogramm KIRAS des Bundesministeriums
für
Finanzen,



durchgeführt von:



09.09.2026

1 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AAR	After-Action-Review (Nachbesprechung nach dem Training)
API	Application Programming Interface (Programmierschnittstelle)
AusIEBa	Auslandseinheitenbataillon (Ausbildungsverband des BMLV)
AUTINT	Austrian Intelligence Training (Ausbildungsbereich des BMLV)
BMLV	Bundesministerium für Landesverteidigung
D-A-CH	Deutschland–Österreich–Schweiz (Wirtschafts- und Sprachraum)
DBX	Discussion Based Exercise (diskursbasierte Übung)
HMD	Head-Mounted Display (Datenbrille / VR-Headset)
KIRAS	Österreichisches Sicherheitsforschungs-Förderprogramm des Bundesministeriums für Finanzen

KPI	Key Performance Indicator (Leistungskennzahl)
M	Mittelwert (Arithmetic Mean)
MDM	Mobile Device Management
MR	Mixed Reality
POI	Point of Interest (markierter Gefahrenpunkt im Trainingsszenario)
SAT	Situation Awareness Training
SanZOst	Sanitätszentrum Ost (Ausbildungseinrichtung des BMLV)
SD	Standardabweichung (Standard Deviation)
SFX	Sound Effects (Soundeffekte)
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TI	Trainer Interface (Traineroberfläche / Steuertablet)
TL	Threat Level (Bedrohungsstufe)
TRL	Technology Readiness Level (Technologiereifegrad nach EU-Norm)

UCD	User-Centred Design (nutzerzentriertes Design)
VFX	Visual Effects (visuelle Effekte)
VPN	Virtual Private Network
VR	Virtual Reality
WebRTC	Web Real-Time Communication (Echtzeit-Kommunikationsprotokoll)
XR	Extended Reality (Oberbegriff für VR, AR und MR)
XR-SAT	Extended Reality – Situation Awareness Training

2 Tabellenverzeichnis

Table 1: UCD Feedback Aktivitäten im Projekt mit den zugehörigen Inhalten 18

Tabelle 2: Investitionsplan für die verschiedenen Bereiche. Die hier angeführten Beträge sind Schätzungen die auf bisherigen Produktentwicklungen von MINDCONSOLE beruhen. Zur direkten Verwendung für Pilotkunden für die derzeitigen Einsatzsituationen passend sind würden nur die Kosten für ‚Produktreife & Qualitätssicherung‘ anfallen und können daher zeitnah (1-2 Monate) von MIND umgesetzt werden. 50

3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erster Vorschlag des urbanen Einsatzgebiets. Da es sich um Unterlagen des Bedarfsträgers handelt, sind die Details der Unterlage unkenntlich gemacht.....	12
Abbildung 2: Finale Version des Stadtplans. Aus trainingstechnischen Gründen sind die Details des Stadtplans unkenntlich gemacht.	13
Abbildung 3: Beschreibung der POIs durch den Bedarfsträger.....	15
Abbildung 4: Randomisierungsmatrix für POIs, auf der x-Achse sind die POIs pro Zeile aufgelistet und auf der y-Achse ist der Threat-Level (farbige Spalte) als die Platzierungsmöglichkeit nach Spalten organisiert.	15
Abbildung 5: Beispiele für Bearbeitungen von Meetingnotizen	17
Abbildung 6: UI Design Iteration für den Discovery-Prozess, Szenario-Preset-Manager und Casting-Ansicht.	21
Abbildung 7: Trainee Discovery Screen.....	22
Abbildung 8: Preset Manager mit Threat Levels im semaphorischen traffic light Design	23
Abbildung 9: Fortgeschrittene UI-Design-Iteration mit Casting-Ansicht, Discovery-Prozess und Preset-Manager.	24
Abbildung 10: Casting Ansicht des TI mit Anzeige der Zeit im Szenario, den vorhandenen POIs mit entsprechendem Threat level im semaphorischen traffic light Design und der Möglichkeit das Szenario über den 'Beenden' Button frühzeitig abubrechen.....	24
Abbildung 11: Low-Footprint System Topology.....	25
Abbildung 12: Sequenzdiagramm für das selbstgeleitete Training. Die Parameter Settings sind in einer lokalen DB am Headset abgelegt (können aber auch remote abgeändert werden).....	27

Abbildung 13: Sequenzdiagramm für das trainergeleitete Training. Die Parameter Settings sind in einer lokalen DB am Headset abgelegt werden aber über das TI remote abgeändert.....	28
Abbildung 14: Finale Version der Dual User Journey auf Traineesseite (VR-Headset, grün) für Selbst- und trainergeleiteten Lernpfad) und Trainerseite für das Trainer Interface am Tablet als Resultat mehrerer UCD Feedbacks.....	29
Abbildung 15: Feedback Canvas mit Auflösung und Erläuterungen der verschiedenen POIs.	30
Abbildung 16: Darstellung des Alters der Trainees (n = 7).	33
Abbildung 17: Bewertung der Immersion und des VR-Erlebnisses durch die Trainees (1 = sehr schlecht bis 7 = sehr gut; n = 7).....	34
Abbildung 18: Bewertung von Grafikqualität, VR-Technologie, Navigation, physischer Bewegung und allgemeiner Benutzbarkeit durch die Trainees (1 = sehr schlecht bis 7 = sehr gut; n = 7).....	36
Abbildung 19: Bewertung von Übelkeit, Desorientierung und Schwindel durch die Trainees (n = 7). Höhere Werte entsprechen geringeren wahrgenommenen Beschwerden.	38
Abbildung 20: Bewertung ausgewählter Dimensionen zu Lernnutzen, Gefahrenbeurteilung und Praxistransfer durch die Trainees (n = 7).....	40
Abbildung 21: Bewertung der Sinnhaftigkeit ergänzenden VR-Trainings, der zukünftigen Nutzungsbereitschaft und des Wissensaustauschs durch die Trainees (1–5; n = 7). ...	41

4 Inhaltsverzeichnis

1	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	2
2	TABELLENVERZEICHNIS	5
3	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
4	INHALTSVERZEICHNIS	8
5	D2.1 STAKEHOLDER:INNEN ANFORDERUNGEN FÜR MR GESTÜTZTE SANITÄTSAUSBILDUNG	10
	<i>Pädagogische Anforderung: Trainerzentriertes System</i>	<i>10</i>
	<i>Virtuelle Trainingsumgebung</i>	<i>11</i>
6	D2.2 UCD-REPORT	16
	<i>Einbettung von UCD Prozessen in XR-SAT</i>	<i>16</i>
7	D3.1 SPEZIFIKATION TRAININGSLEITER-INTERFACE UND API	20
	<i>Funktionalitäten Trainerinterface (TI)</i>	<i>20</i>
	<i>User Interface Design TI</i>	<i>21</i>
	<i>Spezifikation Applikations-Framework und API</i>	<i>25</i>
	<i>Sequenzdiagramme für Selbstgeleitetes Training</i>	<i>27</i>
	<i>Sequenzdiagramme für Trainergeleitetes Training</i>	<i>28</i>
	8D3.2 SPEZIFIKATION ABLAUF SAT TRAININGS UND LERNPFADE28	29
9	D4.1 EVALUATIONSBERICHT UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE VERWENDUNG	32
	<i>Stichprobe und demografische Daten</i>	<i>32</i>
	<i>Immersion und Gesamterlebnis</i>	<i>33</i>
	<i>Technische Qualität und Usability</i>	<i>35</i>
	<i>Lernnutzen und Praxistransfer</i>	<i>38</i>
	<i>Akzeptanz und zukünftige Nutzung</i>	<i>40</i>
	<i>Diskussion und Empfehlung</i>	<i>43</i>
10	D4.2 VERWERTUNGSPLAN	46
	<i>Marketing- und Verwertungsplan</i>	<i>46</i>

5 D2.1 Stakeholder:innen Anforderungen für MR gestützte Sanitätsausbildung

In XR-SAT ist die enge Einbindung von Bedarfsträger:innen – insbesondere militärischen Ausbilder:innen und sanitätsdienstlichen Ausbilder:innen – das zentrale Element der Anforderungsanalyse und Systementwicklung. Die Erfahrungen aus dem Vorgängerprojekt SkillDrill (im Besonderen das dortige Trainingsmodul SkillSAT) sind dabei der Startpunkt für das Refinement von Anforderungen und die Gestaltung der MR-gestützten Trainingsumgebung.

Im Rahmen des Kick-Off Meetings (01.09.2025) wurde der erste Anforderungsworkshop abgehalten. Im Zuge dessen wurden basierend auf dem SkillSAT Prototypen bestehende Annahmen und Anforderungen bestätigt als auch neue Bedarfe identifiziert. In weiterer Folge wurden diese Ergebnisse im Rahmen des User-Centred-Design-Prozesses weiter ausgearbeitet und verfeinert.

Pädagogische Anforderung: Trainerzentriertes System

Im Zuge des Anforderungswshops kristallisierte sich heraus, dass gegenüber dem Prototypen ein duales Lern-Setup benötigt wird mit der Möglichkeit selbstgeleitet (Solo-Modus) als auch trainergeleitet das Training zu absolvieren.

Trainer*innenbegleiteter Modus

Im trainergeleiteten Modus soll der Trainer über ein Trainer Interface (TI) die Möglichkeit haben, vor dem Training das Szenario entsprechend zu parametrisieren und zu starten und dann den Fortschritt des Trainees über ein Live-Bild aus dem Headset verfolgen können. Hinsichtlich der potenziell gefährlichen Situationen und Objekte wurde eine Klassifikationsmöglichkeit nach Threat Levels als sinnvoll erachtet und entsprechend als Anforderung aufgenommen. Der trainergeleitete Modus ist als discussion based exercise (DBX) angelegt, das heißt dass die Einschätzung der POIs hinsichtlich deren

Gefährlichkeit auf verbaler Ebene zwischen Trainer und Trainee erörtert wird. Daher ist in diesem Modus keine weitere Auswertung für das After-Action-Review notwendig. Der Trainer soll aber die Möglichkeit haben die Aufmerksamkeit des Trainees auf bestimmte POI's zu lenken um diese diskursiv zu analysieren.

Selbstgeleiteter Modus

Im selbstgeleiteten Modus erhält der Trainee ein Briefing über die derzeitige Situation im Einsatzgebiet und erhält den Auftrag, sich (virtuell) vor Ort eine Einschätzung der Lage anzueignen und dabei potenziell gefährliche Situationen und / oder Objekte zu markieren. In der Folge soll der Trainee das Einsatzgebiet (virtuell) begehen können und POI's als gefährlich markieren können. Nachdem er (dem eigenen Ermessen nach) das Einsatzgebiet ausreichend erkundet hat, beendet er das Szenario und erhält Feedback über die Treffsicherheit seiner Markierungen.

Für die Systemarchitektur als auch den Designprozess ist es im Folgenden wichtig, dass diese an dieser Dualität ausgerichtet sein müssen. Im Rahmen des weiteren nutzerzentrierten Designprozesses wurden die beiden separaten Lernpfade als Pfaddiagramme in Miro-Boards übergeführt. Diese Methode ermöglichte eine kooperative und visuelle Auseinandersetzung mit Funktionalitäten, Interaktionsmustern und Interface-Elementen. Die Trainer:innen waren eingeladen, Anforderungen direkt zu kommentieren, zu priorisieren und Lücken zu identifizieren – eine Methode, die sich besonders für komplexe Nutzungskontexte mit vielen Variablen, wie sie sich in Vorprojekten bereits als effektiv erwiesen hat. Eine detaillierte Beschreibung der daraus resultierenden Lernpfade ist in D3.2 enthalten.

Virtuelle Trainingsumgebung

Hinsichtlich der (virtuellen) Trainingsumgebung wurde eine urbane Agglomeration als ideale Möglichkeit identifiziert, da in einer solchen eine große Bandbreite an potenziell gefährliche Situationen und Objekte ökologisch valide auftreten können bzw. auch verschiedene Situationen einer besonderen Interpretation bedürfen, die dann im

trainergeleiteten Modus auch diskursiv aufgelöst werden kann. Ein erster Vorschlag des virtuellen Einsatzortes ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Erster Vorschlag des urbanen Einsatzgebiets. Da es sich um Unterlagen des Bedarfsträgers handelt, sind die Details der Unterlage unkenntlich gemacht. 1

Hinsichtlich des Trainingsmodus wurde definiert, dass die Aufgabe für den Trainee das aktive Begehen der Trainingsumgebung und das Markieren von potenziell gefährlichen Situationen oder Objekte, zusammengefasst Points-of-Interest (POI) ist. Vor dem Training werden dem Trainee auch entsprechende Lageinformation gegeben. Diese Lageinformation kann dann durchaus Einfluss darauf haben wie bestimmte POI's hinsichtlich der von ihnen ausgehenden Gefahren eingeschätzt werden. Folgende Beispiele seien hier genannt:

- Beispiel: Eine Rotes-Kreuz-Box, die in Friedenszeiten keine Gefahr darstellt, in kriegerischen Auseinandersetzungen jedoch potenziell gefährlich sein kann.

- Beispiel: Die Rede eines Bürgermeisters kann eskalieren; ein Holzstock kann je nach Kontext (friedliche Demo vs. Ausschreitungen) eine Gefahr darstellen oder völlig harmlos sein.

Bezüglich der Visualisierung der Trainingsumgebung hat sich herausgestellt, dass eine möglichst große Anzahl an Objekten (Häuser, Straßen, Avatare, etc.) die ohne Szenenwechsel begehbar sein sollen, das Szenario attraktiv für das Training macht. Aufgrund dieser Anforderung wurde hinsichtlich der Visualisierung eine Verwendung nieder komplexer 3D-Assets beschlossen.

Nach diesem initialen Anforderungsworkshop wurde beschlossen, dass seitens des Bedarfsträgers eine weitere Iteration des Stadtplans sowie eine Liste an POIs erstellt werden soll. Abbildung 2 zeigt die finale Iteration des Stadtplans.



Abbildung 2: Finale Version des Stadtplans. Aus trainingstechnischen Gründen sind die Details des Stadtplans unkenntlich gemacht.

Für die Erstellung einer notwendigen Gefahrenmatrix zur Randomisierung der Trainingsszenarien wurden verschiedene POIs seitens des Bedarfsträgers beschrieben. Ein Beispiel für POI-Beschreibungen ist in Abbildung 3 dargestellt. Um diese POIs dann variable platzieren und zufällig darstellen zu können wurde eine Randomisierungsmatrix der POIs mit möglichen Platzierungs/ Lagemöglichkeiten erstellt und die zugehörigen Threat Levels farblich markiert (vgl. Abbildung 4). Anhand dieser Matrix sollen die Trainer dann auch verschiedene Trainingspresets über das Trainer Interface speichern können.

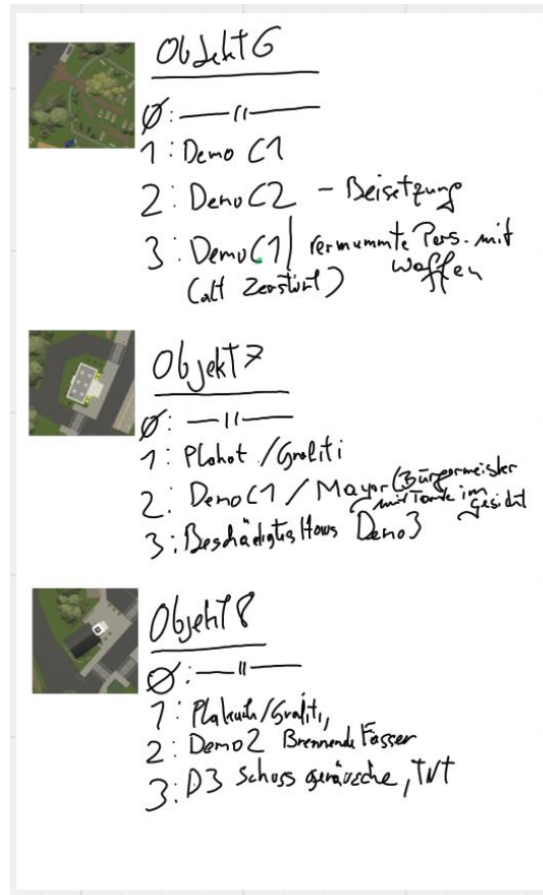


Abbildung 3: Beschreibung der POIs durch den Bedarfsträger

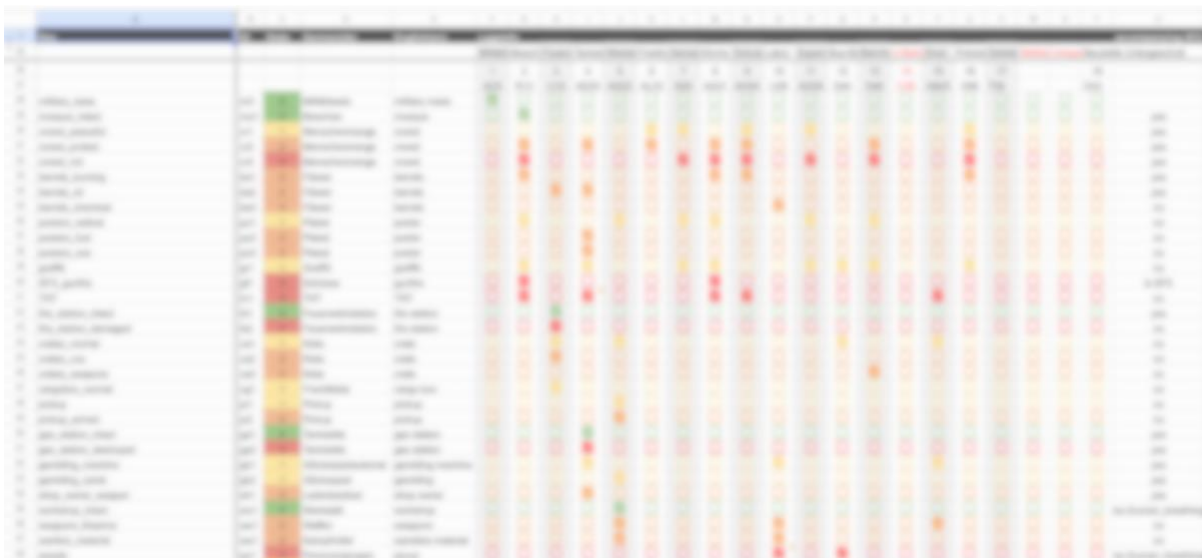


Abbildung 4: Randomisierungsmatrix für POIs, auf der x-Achse sind die POIs pro Zeile aufgelistet und auf der y-Achse ist der Threat-Level (farbige Spalte) als die Platzierungsmöglichkeit nach Spalten organisiert.

6 D2.2 UCD-Report

Im folgenden Abschnitt werden die wesentlichen Details des UCD-Prozesses erläutert und dargelegt. Dieser Prozess umfasst sowohl die systematische Einbindung der Bedarfsträger als auch die iterative Weiterentwicklung der Trainingsumgebung auf Basis ihres Feedbacks.

Einbettung von UCD Prozessen in XR-SAT

Vom Start des Projekts an wurde der Stakeholder:innen-zentrierte UCD Prozess als integraler Bestandteil des Projektablaufs berücksichtigt. Bereits beim Kick-Off Meeting (01.09.2025) wurde ein gemeinsamer Anforderungsworkshop durchgeführt, um frühzeitig Anforderungen und technische Möglichkeiten gegenüberstellen zu können und entsprechende Entscheidungen im Sinne der zukünftigen Verwendung beim Bedarfsträger treffen zu können. Zusätzlich wurden auf Bedarfsträgerseite die existierenden Ausbildungscurricula gesichtet und analysiert, um hier eine treffsichere Integration sicherzustellen.

UCD-Feedback wurde in Face-to-face Meetings, im E-Mail / Telefon Austausch als auch über Videocalls ausgetauscht. Für das Feedback der immersiven Inhalte wurde dem Bedarfsträger ein XR-Headset zur Verfügung gestellt, auf dem die jeweiligen Iterationen per MDM zugestellt werden konnten. Zusätzlich wurde UCD-Iterationen über das digitale Miro-Whiteboard erarbeitet. Vgl. Abbildung 5 für ein Beispiel, wie handschriftliche Meetingnotizen hinsichtlich Threat Levels erweitert wurden und dabei auch ein Glossar für spezielle Begrifflichkeiten miterhoben wurde.



- 0: L Welt, friedliche Demo (max C1), Graffiti
- 1: Demo mit Schildern, Plakaten, Parolen & zu definierenden Zugehörigkeitssymbolen & Bezeichnungen, "Partei X/Y/Z"; illegales Glücksspiel mit Geldstapel, Laborausstattung, Ölfässer, Cargoboxen, Metallkisten, Minensymbole r Straße und in Wiese (improvisierte UXO-Markierungen), Autoreparatur
- UXO = unexploded ordnance (nicht hochgegangene sprengkörper)

Abbildung 5: Beispiele für Bearbeitungen von Meetingnotizen⁵

Table 1: UCD Feedback Aktivitäten im Projekt mit den zugehörigen Inhalten

Datum	Typ	Inhalt
2025-09-01	Meeting	- Kick-Off Meeting und Anforderungsworkshop für die erste Bedarfserhebung basierend auf dem SkillsAT Prototypen. Definition duale Lernpfade (Selbst-/Trainer geleitet), urbane Umgebung als Zielsetzung für virtuelle Trainingsumgebung, Point-Of-Interests (POI) mit multiplen Threat-Levels definiert.
2025-10-23	Mail Feedback	- Erste Iteration virtuelle Umgebung übermittelt (in Headset walkable) mit folgendem Feedback: Darstellungs-Fidelity passt gut, Gelände + Infrastruktur passt, 22 neue Locations / Objekte definiert (z.B. Bahnhof, Haltestelle, Wettbüro etc.) und an MIND übermittelt.
2025-11-10	Mail Feedback	- Lage / Stadtplan adaptiert vom Bedarfsträger gefeedbackt und an MIND übermittelt.
2025-12-04	Online-Feedback	- Option Strassennamen ein / ausblenden über TI, Drohnensound, Minen. Möglichkeit Presets im TI zu definieren, Lageinformation sollte vorab dargestellt sein als Briefing für Trainee, POI's mit positiver / negativer Ausprägung (z.B. friedliche Demo vs. bewaffnete Demo) und Möglichkeit zur Änderung, DE / EN Möglichkeit, Strassennamen auf englisch.MIND übermittelt erstes Template für die POI-Matrix, Miro-Board aktualisiert für Placement von POIs im neuen Stadtplan, Compass

		Funktionalität für Szenario ohne Strassennamen.
2025-02-05	Online Feedback	- MIND hat Assets zur Anschauung übermittelt und Threat Level Classification XLS → Feedback zu POI Texten (EN), detailliertes Feedback zu Asset Appearances, mehr Charaktere für höhere Schwierigkeitslevel, Einrichtung eines military camps am Startpunkt,
2026-03-03	Meeting	- Gemeinsame Begehung virtuelle Umgebung, Lernpfad Solo Modus einmal komplett durchgespielt. Feedback: Strassenbelag noch zu 'sauber', Aussichtspunkt fehlend. Sonstiger Eindruck: sehr gut, sehr belebt schon. Feedback Canvas: passt soweit gut.
2026-05-07	Meeting	Festlegung Tablet Size für TI (11"), Teleport Areas refined, TL0 / TL2 / TL3: POI Zuordnung gemeinsam überarbeitet und abgeändert für die verschiedenen TL, SFX → schon gut, aber noch mehr spatial Sound (Annäherung), VFX → noch mehr Avatare und belebtere Strassen.

Nach Abschluss der UCD Aktivitäten wurde noch für das finale Projektergebnis eine Evaluation im Rahmen von realen Ausbildungsaktivitäten des Bedarfsträgers am 28.07.2026 in der van-Swieten Kaserne durchgeführt. Die diesbezüglichen Ergebnisse sind in D4.1 beschrieben.

7 D3.1 Spezifikation Trainingsleiter-Interface und API

Basierend auf der Anforderungserhebung (vgl. D2.1) wurde für den trainergeleiteten Modus das User Interface für die notwendigen Funktionalitäten als auch die Schnittstelle (API) für das Trainer Interface (TI) wie folgt spezifiziert und ausgestaltet.

Funktionalitäten Trainerinterface (TI)

Headset / Trainee Selection

Im Zuge des Discovery-Prozesses im (lokalen) Netzwerk werden verfügbare Headsets auf dem Trainer Interface (TI) als Drop-Down Menü angezeigt und das gewünschte Trainee-Headset kann ausgewählt und verbunden werden.

Preset Manager

Zusätzlich zum manuellen Setup von Szenarien soll es dem Trainer auch möglich sein verschiedene Presets (äquivalent zu verschiedenen Schwierigkeitsgraden) zu erstellen. Ziel dieser Presets ist aber nicht das exakte Platzieren von allen im Szenario vorhandenen Objekte und deren Zustände, sondern verschiedene Objektkategorien nach Threat Level zu klassifizieren (vgl. Abbildung 8). Innerhalb der Objektkategorien-Klasse werden die zugehörigen Objekte dann über verschiedene Positionierungsmöglichkeiten in der Kleinstadt hinweg randomisiert platziert. Dadurch sind für den Trainee auch mehrmalige Trainingsdurchgänge des gleichen Presets nicht visuell identisch und müssen bei jedem Trainingsdurchlauf aufmerksam (virtuell) begangen werden und Gefahren entsprechend markiert werden. Zusätzlich können noch andere Szenarieneigenschaften wie z.B. das Vorhandensein von Strassenschildern, Drohnensounds oder Minen ausgewählt und mit abgespeichert werden. Abbildung 9 zeigt den Startscreen des TI mit Auswahlmöglichkeiten für zufällig generierte Szenarien (verschiedene Schwierigkeitsgrade) oder erstellte Szenarienpresets

Casting-Ansicht

Nach dem erfolgreichen Verbinden mit dem Trainee Headsets (vgl. Headset / Trainee Selection) hat der Trainer die Möglichkeit (im trainergeleiteten Modus) die Sicht des Trainees im Szenario als Live-Bild zu verfolgen. In dieser Casting Ansicht sind neben dem Live-Bild auch die bereits im Szenario verstrichene Zeit als auch die im Szenario vorhandenen Points-of-Interest (POIs) mit dem jeweiligen Threat Level (semaphorisches Design, vgl. Abbildung 6) sowie ein Button zum Beenden des Szenarios vorhanden. Für die verschiedenen POIs hat der Trainer auch die Möglichkeit den Trainee zum ausgewählten POI zu 'teleportieren' um die Aufmerksamkeit des Trainees auf diese Gefahr zu lenken und seine Einschätzung derselben diskutieren zu können (=discussion based exercise (DBX) Ansatz).

User Interface Design TI

Die erste UI Design Iteration ist in Abbildung 6 dargestellt. In dieser ersten Iteration war noch eine direkte TL Zuweisung und Positionierung des jeweiligen Objekts vorgesehen, UCD Feedback von Trainer:innen hat jedoch zur oben beschriebenen TL Klassifikation auf der Ebene von Objektkategorien mit randomisierter Platzierung geführt.

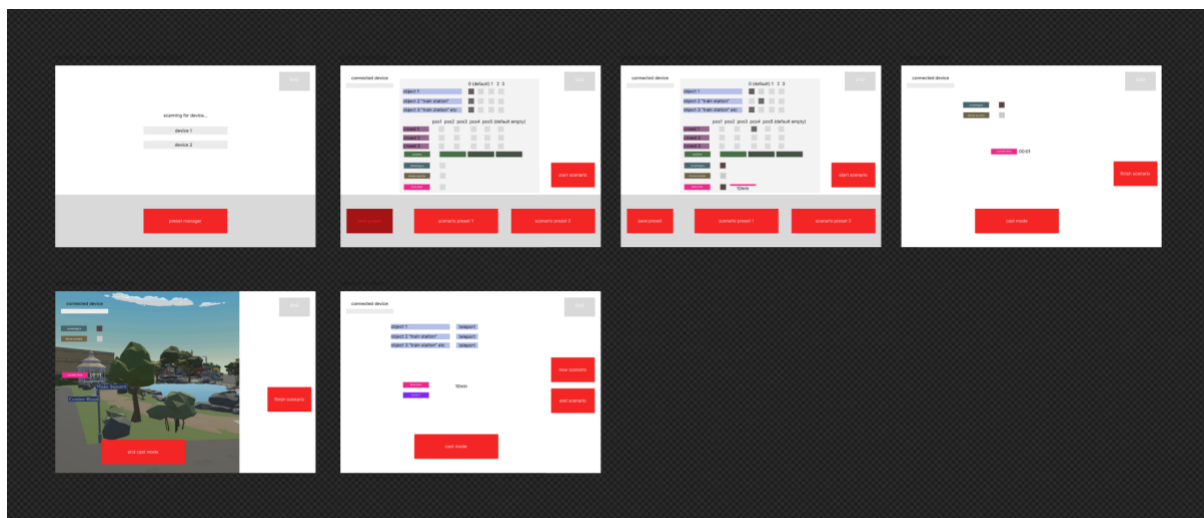


Abbildung 6: UI Design Iteration für den Discovery-Prozess, Szenario-Preset-Manager und Casting-Ansicht.6

Basierend auf dem UCD Feedback wurden dann mittels Figma folgende UI Wireframes erstellt und mittels Flutter umgesetzt.

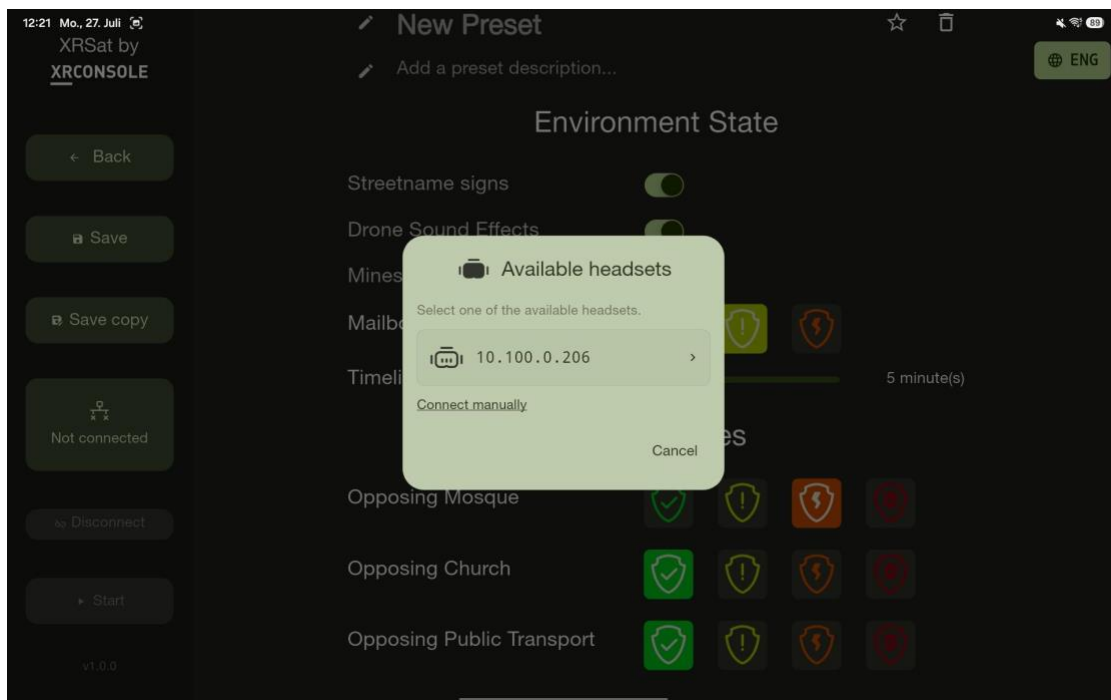


Abbildung 7: Trainee Discovery Screen

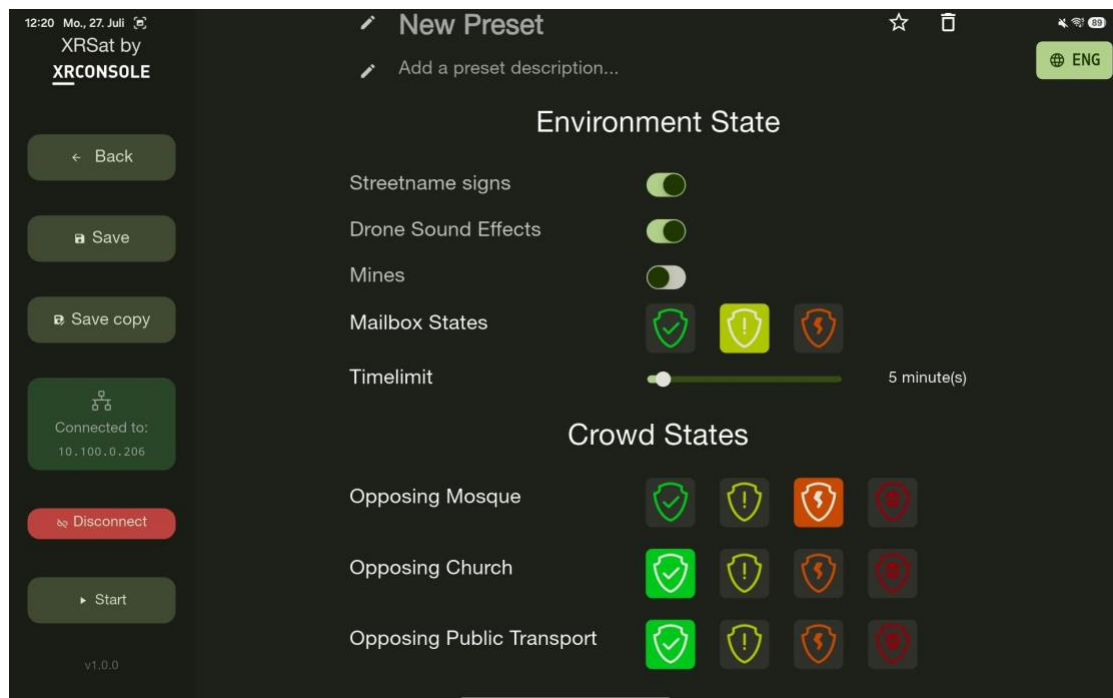


Abbildung 8: Preset Manager mit Threat Levels im semaphorischen traffic light Design

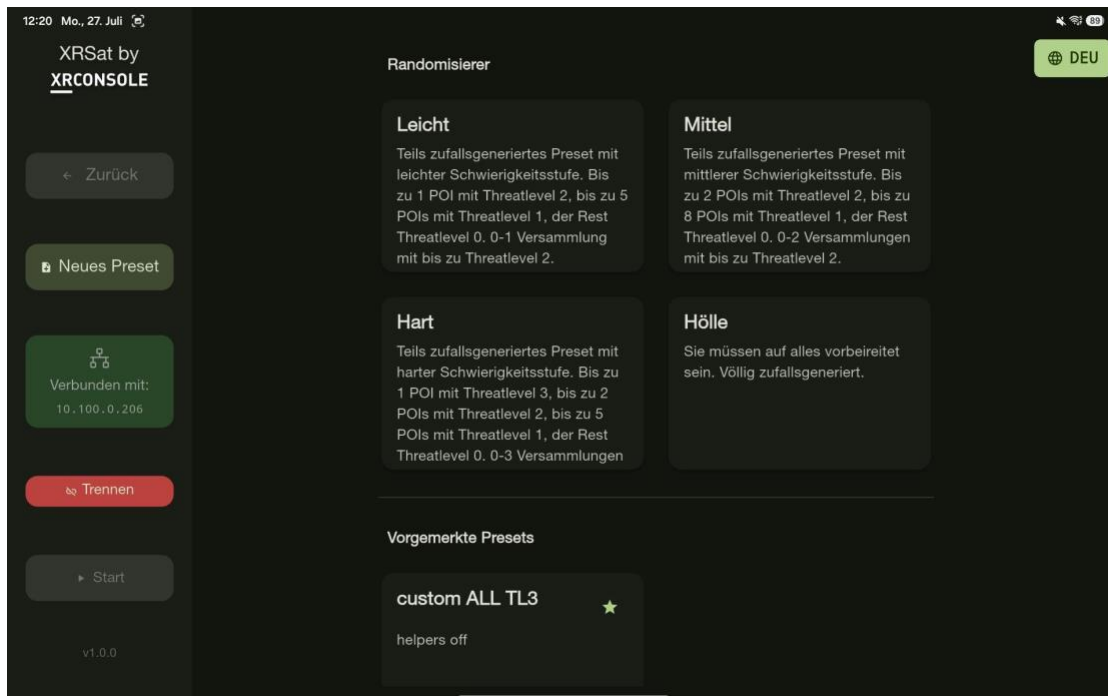


Abbildung 9: Fortgeschrittene UI-Design-Iteration mit Casting-Ansicht, Discovery-Prozess und Preset-Manager.9



Abbildung 10: Casting Ansicht des TI mit Anzeige der Zeit im Szenario, den vorhandenen POIs mit entsprechendem Threat level im semaphorischen traffic light Design und der Möglichkeit das Szenario über den 'Beenden' Button frühzeitig abubrechen.10

Spezifikation Applikations-Framework und API

Die schlanke Systemtopologie besteht aus drei unterschiedlichen Komponenten (vgl. Abbildung 11):

- Tablet mit Trainerinterface und Netzwerk Verbindung
- VR-Headset mit der VR-Applikation und Netzwerk Verbindung
- TCP/IP-Netzwerk (lokal oder standortübergreifend via VPN)

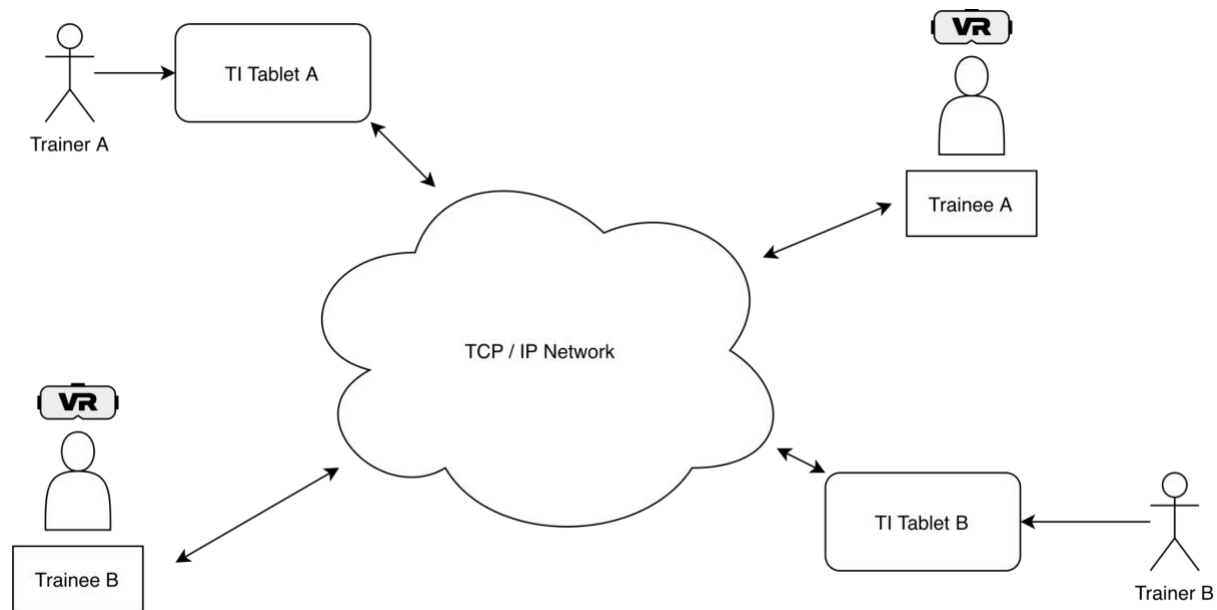


Abbildung 11: Low-Footprint System Topology

Headset Discovery

Vor dem Verbindungsaufbau zwischen den beiden Applikationen sendet die Headset-Anwendung eine periodische Broadcast-Nachricht an das lokale Subnetz, mit dem sie verbunden ist, damit jede Instanz der Tablet-Applikation in diesem Subnetz sie finden kann. Die Discovery-Nachrichten enthalten auch die Verfügbarkeit des Headsets sowie den Broadcasting-Status. Wenn das Broadcasting gestoppt wird, kann die Tablet-Applikation den Benutzer sofort benachrichtigen, anstatt auf das Eintreten eines Timeouts zu warten. Diese Nachrichten sind kodiert und weisen eine vordefinierte Struktur auf.

Sobald sie dekodiert und validiert wurden, erscheint das Headset der Nachricht in der Geräteliste.

Verbindungsaufbau (TCP-Handshake)

Die HMD-Anwendung wartet kontinuierlich am angegebenen Port auf TCP-Verbindungen. Wenn der Benutzer ein Gerät in der Tablet-Anwendung auswählt, öffnet diese einen TCP-Socket zu diesem Gerät und sendet sofort eine Handshake-Nachricht. Wenn die HMD-Anwendung diese als gültige Verbindungsanfrage einstuft, akzeptiert sie diese und stellt die Verbindung her. Schlägt die Validierung fehl, schließt sie den Socket.

Casting des Live-Bilds

Das Casting erfolgt via WebRTC. Die Enkapsulation des Streams erfolgt über die reguläre Verbindung zwischen Headset und Tablet Applikation.

Runtime Message Exchange

Jede Nachricht wird auf der jeweiligen Seite encodiert, übermittelt und auf der Gegenseite decodiert und validiert. Im Fall einer validen Nachricht wird der Payload extrahiert und basierend auf dem jeweiligen Inhalt wird der jeweilige Befehl ausgeführt. Die Befehlskategorien sind wie folgt:

- Setzen des Applikationsstatus (z.B. Bereit für eine Verbindung)
- Setzen der Daten für das Szenario sowie aller Objektzustände und -konfigurationen.
- Befehle zur Ausführung von Applikationsfunktionen (z.B. Start des Szenarios, Teleportieren des Trainees)

Trennen der Verbindung

Wenn eine der beiden Seiten ihren Socket schließt, das Zeitlimit überschreitet oder eine Abschlussnachricht sendet, beendet dies die TCP-Verbindung auf beiden Seiten sowie

das Streaming. Wenn sich der Headset-Benutzer danach immer noch im Trainermodus befindet, startet das Senden von Discovery-Nachrichten erneut.

Sequenzdiagramme für Selbstgeleitetes Training

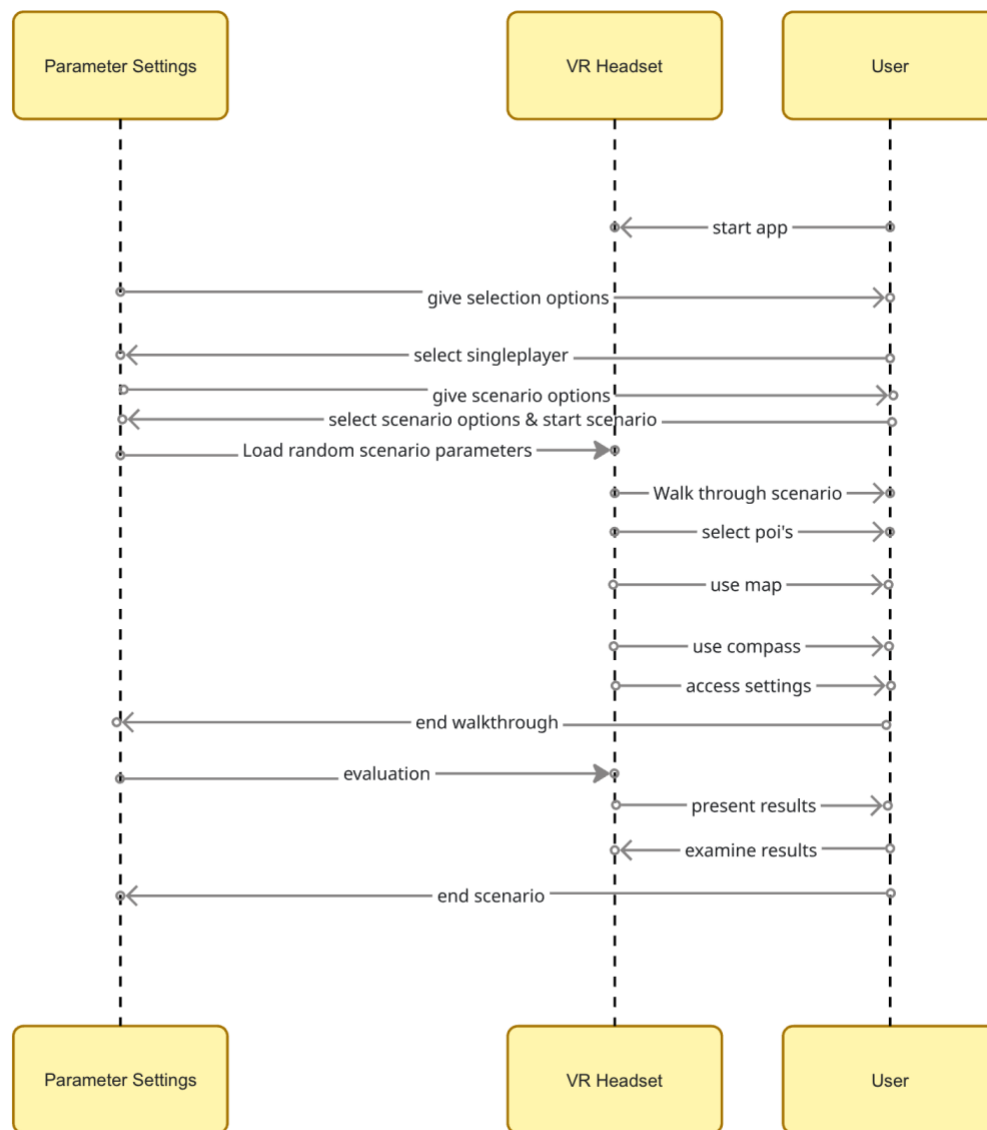


Abbildung 12: Sequenzdiagramm für das selbstgeleitete Training. Die Parameter Settings sind in einer lokalen DB am Headset abgelegt (können aber auch remote abgeändert werden).

Sequenzdiagramme für Trainergeleitetes Training

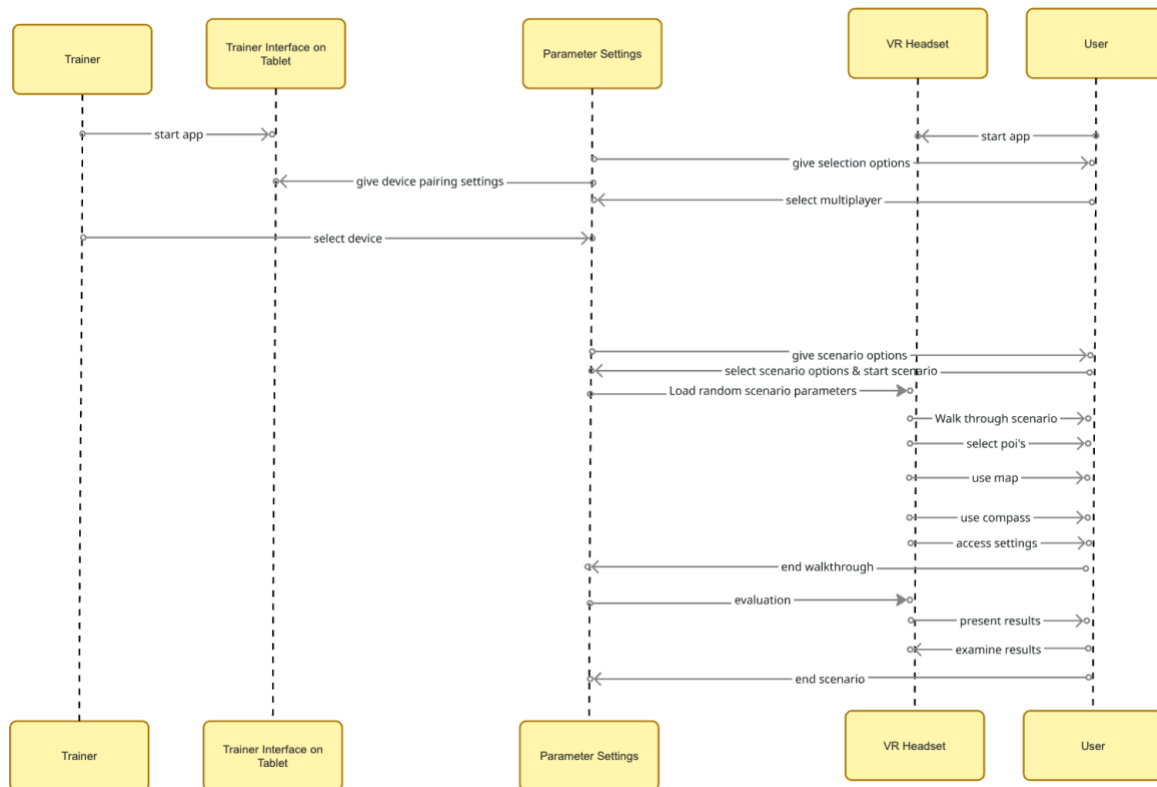


Abbildung 13: Sequenzdiagramm für das trainergeleitete Training. Die Parameter Settings sind in einer lokalen DB am Headset abgelegt werden aber über das TI remote abgeändert.

8 D3.2 Spezifikation Ablauf SAT Trainings und Lernpfade

Ziel der Spezifizierung des Trainingsablaufs und der Lernpfade für das XR-SAT System ist die grafische Abbildung realistischer und modular steuerbarer Abläufe für das SAT-Training. Auf Basis eines iterativen Designprozesses wurde eine duale Nutzer:innenreise ausgearbeitet (Selbst- und Trainergeleiteter Modus). Diese sogenannten User Journeys wurden über miro.com gemeinsam entwickelt (vgl. Abbildung 14), strukturiert und visualisiert.

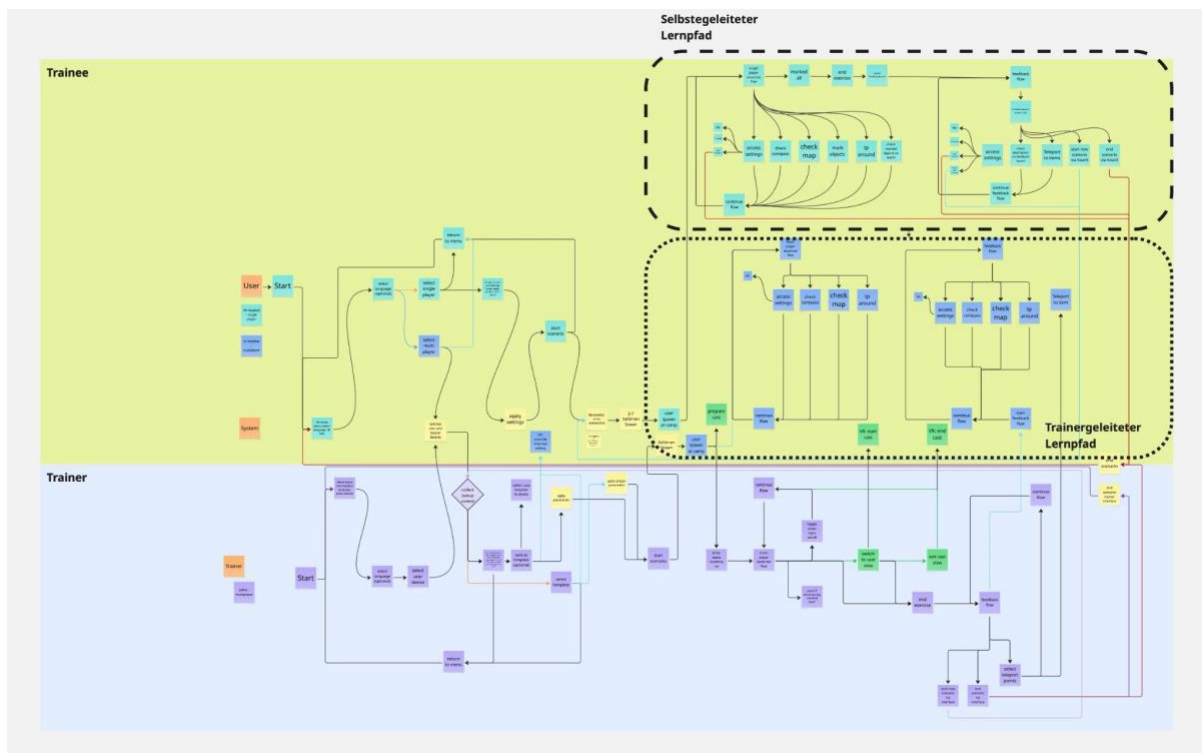


Abbildung 14: Finale Version der Dual User Journey auf Traineesseite (VR-Headset, grün) für Selbst- und trainergeleiteten Lernpfad) und Trainerseite für das Trainer Interface am Tablet als Resultat mehrerer UCD Feedbacks.

Die Trainer Journey beginnt mit der Verbindung zum Trainee (VR-Headset), während der Trainee eine Ansicht mit "Selbstgeleitetes Training" und 'Trainergeleitetes Training' sieht und sich für eines der beiden entscheiden kann. Im Selbstgeleiteten Training kann der Trainee dann eine Schwierigkeitslevel auswählen und das Szenario starten. Im Szenario

erhält der Trainee ein Einsatzbriefing, das ihm die vorliegende Situation erklärt und seinen Einsatzzweck ('Markiere gefährliche Objekte oder Situationen') erläutert. Dann erscheint der Trainee in der virtuellen Kleinstadt, bewegt sich durch dieselbe und markiert potenziell gefährliche Situationen und Objekte. Sobald er der Meinung ist, dass er das Gebiet gut genug kontrolliert hat, kann er über den Button 'Evaluieren' die Auswertung öffnen. Im folgenden Feedback Canvas werden dann die von ihm markierten (und nicht markierten) Objekte hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials aufgelöst, dargestellt und erklärt (vgl. Abbildung 15)

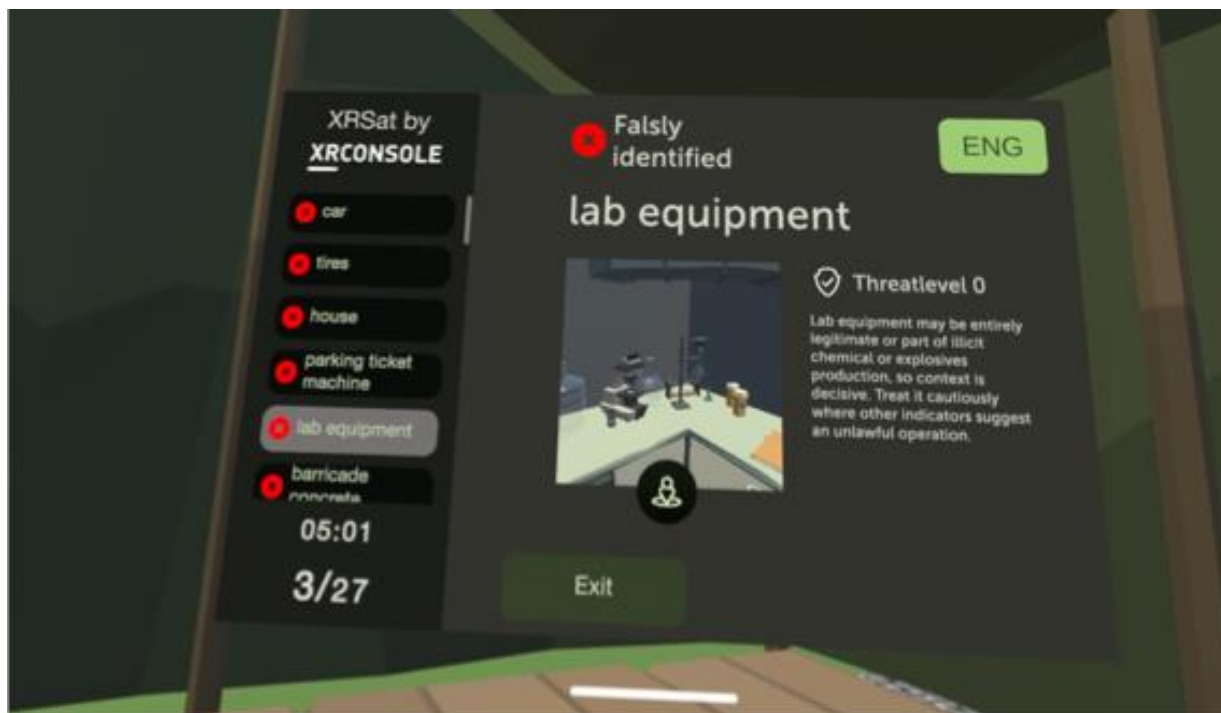


Abbildung 15: Feedback Canvas mit Auflösung und Erläuterungen der verschiedenen POIs.

Im trainergeleiteten Modus hat die:der Trainer:in die Möglichkeit verschiedene Presets auszuwählen (oder vorher selbst anzulegen) und das Szenario für den Trainee zu starten (eine detailliertere Beschreibung der Einstellungsmöglichkeiten für die Szenarien Presets sind in D3.1 s.o. beschrieben). Analog zum selbstgeleiteten Modus ist der Auftrag an den Trainee sich durch die Kleinstadt zu bewegen und mit dem Trainer potenziell gefährliche Situationen oder Objekte diskursiv zu erläutern (DBX). Der Trainer hat dabei die Möglichkeit, das Live-Bild des Trainees in der Casting Ansicht nach zu verfolgen (vgl. Abbildung 10). Darüber hinaus kann er den Trainee auch zu den POIs teleportieren, um

die Aufmerksamkeit des Trainees auf bestimmte POIs zu lenken und er sieht die im Szenario bisher verbrachte Zeit.

Der strukturierte Aufbau der User Journeys stellt einerseits die Sichtbarmachung und Verortung der verschiedenen Funktionalitäten im Lernpfad sowie die funktionale Abgrenzung zwischen den Rollen (Trainer vs. Trainee) sicher. Zudem dient diese Darstellung auch dazu von einer didaktischen Perspektive die Verknüpfung der beiden Rollen sichtbar zu machen, sowie den Unterschied zwischen selbstgeleitetem und trainergeleitetem Lernpfad entsprechend zu visualisieren und auch für den Bedarfsträger verständlich zu machen.

Im Rahmen der Implementierung des XR-SAT Systems waren regelmäßige UCD Feedbacks mit Mitarbeiter:Innen des Bedarfsträgers integraler Bestandteil der Entwicklung. Ziel dieser regelmäßigen Einbindung der Zielgruppe war es frühzeitig sicherzustellen, dass das didaktische Konzept mit bestehenden Lehrinhalten und Vermittlungsansätzen im Einklang steht und sich diese somit ergänzen und dadurch auch hohe Akzeptanz bei den Trainer:innen erreicht werden kann.

9 D4.1 Evaluationsbericht und Empfehlungen für die Verwendung

Stichprobe und demografische Daten

Sieben Trainees ($n = 7$) nahmen an der Evaluation des XR-SAT-Trainings am 28.07.2026 teil. Die Beurteilung erfolgte mittels standardisierter Skalen sowie ergänzender offener Freitextfragen. Erfasst wurden unter anderem die Wahrnehmung der virtuellen Lernumgebung, technische Qualität und Usability, körperliche Verträglichkeit, Lernnutzen und Praxistransfer sowie die Akzeptanz und zukünftige Nutzungsbereitschaft.

Das durchschnittliche Alter der Trainees lag bei 22,3 Jahren ($M = 22,29$, $SD = 3,30$). Die Altersspanne reichte von 19 bis 28 Jahren, der Median lag bei 21 Jahren. Damit handelt es sich um eine insgesamt junge und hinsichtlich des Alters relativ homogene Stichprobe. Alle sieben Trainees gaben als Geschlecht männlich ($n = 7$; 100 %) an. Aufgrund der kleinen und ausschließlich männlichen Stichprobe sollten insbesondere Verallgemeinerungen auf eine breitere Ausbildungspopulation entsprechend vorsichtig vorgenommen werden.

Die Altersverteilung zeigt, dass sich der überwiegende Teil der Trainees im unteren Zwanzigerbereich befindet. Einzelne ältere Teilnehmer erweitern die Altersspanne bis 28 Jahre, ohne dass sich daraus eine stark heterogene Altersstruktur ergibt (siehe Abbildung 16).

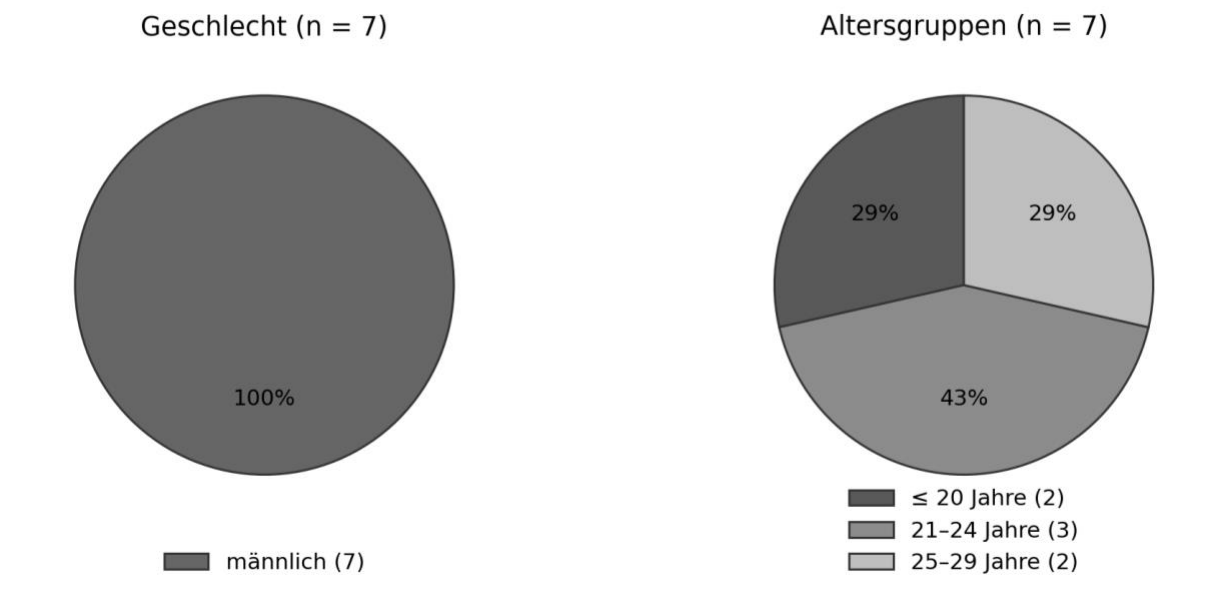


Abbildung 16: Darstellung des Alters der Trainees (n = 7).¹⁶

Immersion und Gesamterlebnis

Die Einschätzung der Immersion, also wie stark sich die Trainees in die virtuelle Lernumgebung eingebunden fühlten, fiel insgesamt positiv aus. Auf der 7-Punkte-Skala wurde ein Mittelwert von 5,14 Punkten ($M = 5,14$, $SD = 1,07$) erreicht. Sechs der sieben Trainees bewerteten die Immersion mit mindestens 5 Punkten; lediglich eine Person vergab 3 Punkte. Dies deutet darauf hin, dass die virtuelle Umgebung bei der Mehrheit ein deutliches Gefühl des Eintauchens erzeugen konnte, zugleich aber individuelle Unterschiede in der Wahrnehmung der Immersion bestehen.

Das VR-Erlebnis insgesamt wurde noch positiver beurteilt und erreichte einen Mittelwert von 5,71 Punkten ($M = 5,71$, $SD = 1,38$). Fünf der sieben Trainees vergaben 6 oder 7 Punkte. Auch hier fällt eine einzelne kritischere Bewertung mit 3 Punkten auf, während die übrigen Bewertungen zwischen 5 und 7 lagen (siehe Abbildung 17).

Die positiven quantitativen Ergebnisse spiegeln sich auch in den offenen Rückmeldungen wider. Mehrere Trainees beschrieben die Erfahrung als „sehr interessant“ oder „gut“. Besonders hervorgehoben wurde die Möglichkeit, in der virtuellen Umgebung

realitätsnahe Szenarien zu beurteilen und zu verstehen. Eine weitere Rückmeldung bezeichnet das System ausdrücklich als „sehr gutes Lern-Tool“. Gleichzeitig zeigt sich bereits ein erster Weiterentwicklungsbedarf: Ein Trainee bewertete die Erfahrung zwar grundsätzlich positiv, merkte jedoch an, dass die virtuelle Welt noch deutlich erweitert werden müsse.

Insgesamt sprechen die Ergebnisse für eine hohe Akzeptanz des VR-Erlebnisses und eine überwiegend gelungene immersive Wirkung. Die Unterschiede zwischen einzelnen Trainees zeigen jedoch, dass das Eintauchen in die virtuelle Umgebung nicht bei allen Personen gleichermaßen stark ausgeprägt ist. Mögliche Einflussfaktoren wie Bedienbarkeit, technische Gestaltung und individuelle VR-Erfahrung werden daher in den folgenden Abschnitten näher betrachtet.

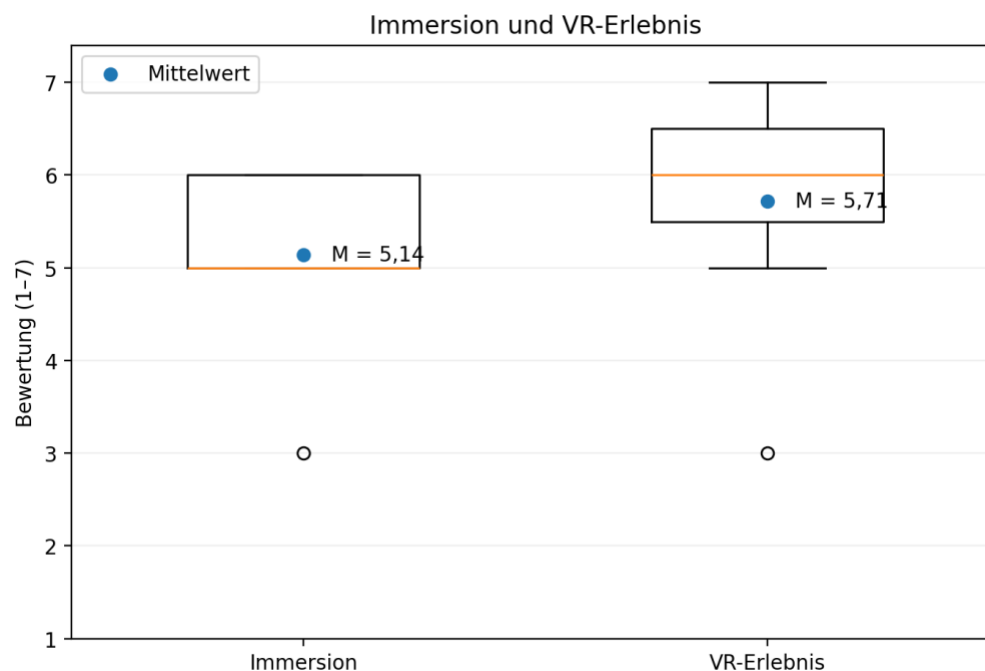


Abbildung 17: Bewertung der Immersion und des VR-Erlebnisses durch die Trainees (1 = sehr schlecht bis 7 = sehr gut; n = 7).

Technische Qualität und Usability

Grafik und technische Umsetzung

Die technische Umsetzung des XR-SAT-Trainings wurde von den Trainees insgesamt positiv bewertet. Die Grafikqualität erreichte auf der 7-Punkte-Skala einen Mittelwert von 5,43 Punkten ($M = 5,43$, $SD = 1,13$). Die Bewertungen lagen zwischen 4 und 7 Punkten, sodass keine deutlich negative Einschätzung der visuellen Qualität vorlag.

Besonders positiv wurde die Qualität der eingesetzten VR-Technologie bewertet. Mit einem Mittelwert von 6,14 Punkten ($M = 6,14$, $SD = 0,90$) zählt sie zu den am besten bewerteten Aspekten der Evaluation. Alle Trainees vergaben mindestens 5 Punkte. Dies spricht dafür, dass die verwendete Hardware und die technische Umsetzung insgesamt als stabil und qualitativ hochwertig wahrgenommen wurden.

Die offenen Rückmeldungen zeigen allerdings, dass trotz der guten technischen Bewertung inhaltliche und gestalterische Erweiterungen der virtuellen Umgebung gewünscht werden. Genannt wurden beispielsweise zusätzliche Details und Geräusche sowie eine stärker ausgearbeitete Kartendarstellung. Eine Person beschreibt die Bedienung als einfach, sieht jedoch bei der Software beziehungsweise der virtuellen Welt noch deutlichen Erweiterungsbedarf.

Bedienung und Navigation

Auch die Navigation wurde überwiegend positiv bewertet. Die Nutzung des Navigationssystems, beispielsweise mittels Teleportation, erreichte $M = 6,14$ ($SD = 1,07$) und wurde damit ebenso hoch eingeschätzt wie die technische Qualität. Die physische Bewegung innerhalb der virtuellen Umgebung wurde mit $M = 5,00$ ($SD = 1,41$) etwas zurückhaltender bewertet.

Bei der Frage nach der allgemeinen Benutzbarkeit der virtuellen Umgebung zeigte sich ein Mittelwert von 5,57 Punkten ($M = 5,57$, $SD = 1,81$). Die vergleichsweise hohe Streuung weist jedoch auf deutliche individuelle Unterschiede hin: Während mehrere

Trainees die maximale Bewertung von 7 Punkten vergaben, bewerteten zwei Personen die Benutzbarkeit lediglich mit 3 Punkten (siehe Abbildung 18).

Dieses Bild wird durch die ergänzenden 5-Punkte-Skalen weiter differenziert. Die Aussage „Ich finde die virtuelle Umgebung ist einfach zu benutzen“ erreichte $M = 4,71$ ($SD = 0,49$). Auch die Erlernbarkeit der Bedienung wurde mit $M = 4,57$ ($SD = 0,53$) sehr positiv bewertet. Der Nutzungskomfort lag mit $M = 4,29$ ($SD = 1,11$) etwas darunter.

Die Freitextantworten liefern hierzu einen konkreten Ansatzpunkt: Ein Trainee wünscht sich zu Beginn eine kurze Erklärung der Steuerung direkt im Programm. Insgesamt scheint die Bedienlogik damit grundsätzlich gut zugänglich zu sein, könnte jedoch durch eine kurze strukturierte Einführung weiter verbessert werden.

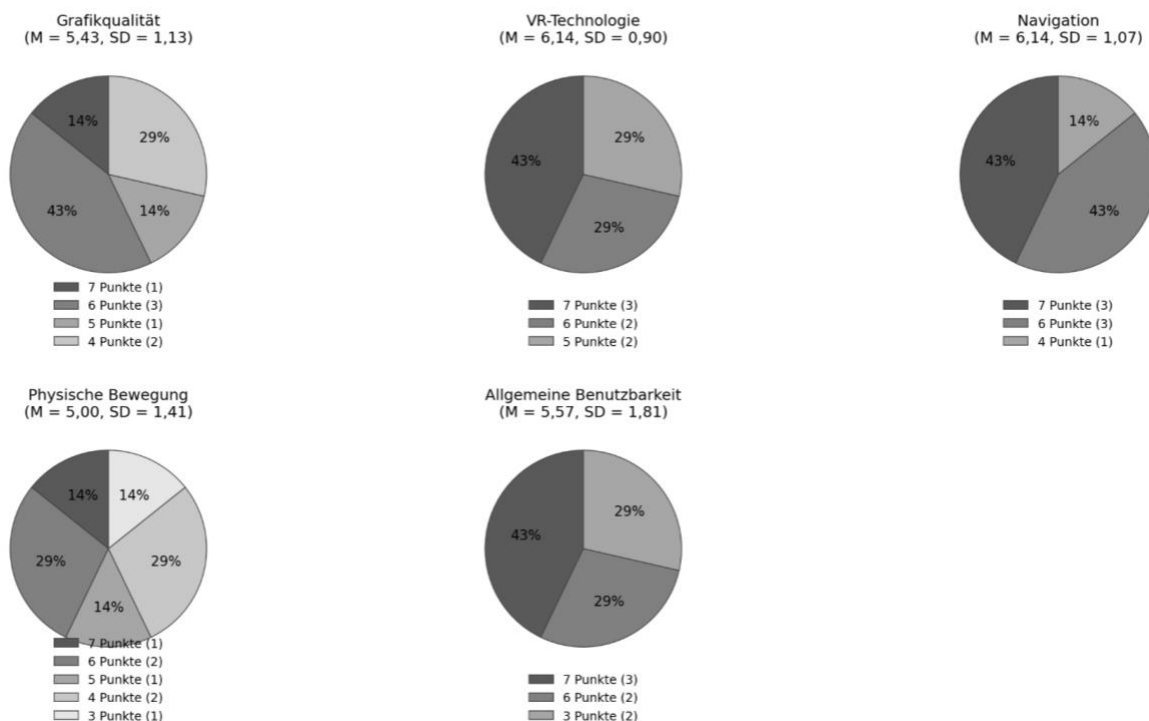


Abbildung 18: Bewertung von Grafikqualität, VR-Technologie, Navigation, physischer Bewegung und allgemeiner Benutzbarkeit durch die Trainees (1 = sehr schlecht bis 7 = sehr gut; $n = 7$).

Körperliche Verträglichkeit

Zur Beurteilung der körperlichen Verträglichkeit des XR-SAT-Trainings wurden die Trainees nach Übelkeit, Desorientierung und Schwindel während der Nutzung gefragt. Dabei gilt entsprechend der verwendeten Skalierung: Je höher der Wert, desto geringer waren die wahrgenommenen Beschwerden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse eine überwiegend gute körperliche Verträglichkeit. Für Übelkeit ergab sich ein Mittelwert von $M = 5,57$ ($SD = 2,44$), für Desorientierung $M = 6,00$ ($SD = 1,53$) und für Schwindel $M = 5,57$ ($SD = 2,51$). Auffällig ist jedoch die vergleichsweise hohe Streuung bei Übelkeit und Schwindel (siehe Abbildung 19).

Die Einzelwerte zeigen ein deutliches Muster: Fünf der sieben Trainees vergaben bei Übelkeit und Schwindel jeweils den Höchstwert von 7, was auf keine bzw. nur sehr geringe Beschwerden hindeutet. Gleichzeitig berichteten zwei Personen deutlich stärkere Beeinträchtigungen. Bei Schwindel wurde beispielsweise einmal der niedrigste Skalenwert von 1 vergeben. Die körperliche Verträglichkeit fällt somit für die Mehrheit sehr gut aus, einzelne Personen reagieren jedoch deutlich sensibler auf die VR-Nutzung.

Dieses Ergebnis findet sich auch in den offenen Rückmeldungen wieder. Eine Person nennt ausdrücklich „Kopfschmerz und Schwindel“ als Einschränkung und würde das Training deshalb nur bedingt weiterempfehlen. Für einen Einsatz in der Ausbildung sollte daher trotz der insgesamt positiven Verträglichkeit berücksichtigt werden, dass VR-bedingte Beschwerden individuell stark variieren können. Sinnvoll erscheinen insbesondere eine kurze Eingewöhnungsphase, die Möglichkeit zu Pausen sowie ein unkomplizierter Abbruch der VR-Nutzung bei auftretenden Beschwerden.

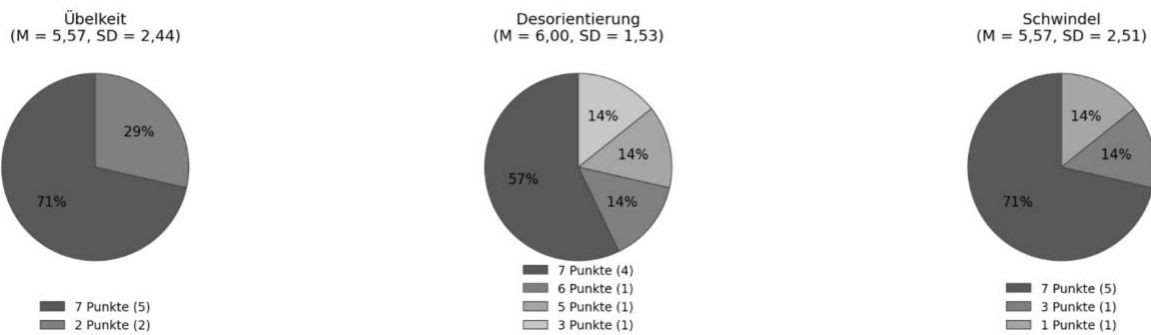


Abbildung 19: Bewertung von Übelkeit, Desorientierung und Schwindel durch die Trainees ($n = 7$). Höhere Werte entsprechen geringeren wahrgenommenen Beschwerden.

Lernnutzen und Praxistransfer

Die Ergebnisse zum wahrgenommenen Lernnutzen und Praxistransfer fallen insgesamt positiv aus. Besonders deutlich zeigt sich, dass die virtuelle Lernumgebung von den Trainees als sinnvolle Ergänzung bestehender Ausbildungsformen wahrgenommen wird. Gleichzeitig unterscheiden sich die Bewertungen danach, ob der allgemeine Lernnutzen oder die unmittelbare Übertragbarkeit auf die Praxis betrachtet wird.

Lernerfolg und Kompetenzentwicklung

Die Aussagen zum konkreten Lernnutzen der virtuellen Umgebung wurden überwiegend hoch bewertet. Besonders positiv wurde die virtuelle Umgebung als Lernwerkzeug eingeschätzt. Auch die Unterstützung des individuellen Lernfortschritts sowie die Möglichkeit, Wissen über Gefahrenbeurteilung aufzubauen, erhielten hohe Zustimmungswerte.

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass XR-SAT von den Trainees nicht lediglich als interessante technische Anwendung wahrgenommen wird, sondern ein konkreter didaktischer Mehrwert gesehen wird. Die virtuelle Umgebung ermöglicht es, Situationen und Gefahren räumlich und kontextbezogen zu erleben und dadurch Ausbildungsinhalte praxisnäher zu vermitteln.

Realitätsnähe und Gefahrenbeurteilung

Auch hinsichtlich des Praxistransfers und der Gefahrenbeurteilung zeigen sich positive Tendenzen. Die Trainees gehen überwiegend davon aus, dass das Training dazu beitragen kann, zukünftige Einsatzgebiete besser zu verstehen und Gefahren fundierter einzuschätzen.

Etwas differenzierter fällt die Einschätzung aus, wenn nach der Sicherheit gefragt wird, das im Training Gelernte tatsächlich in die Praxis übertragen zu können. Dies deutet darauf hin, dass die Trainees zwar einen deutlichen Lernnutzen erkennen, ein einzelnes VR-Training jedoch nicht automatisch mit vollständiger Handlungssicherheit in realen Situationen gleichsetzen.

Diese Differenzierung ist für die Einordnung des Systems wesentlich: XR-SAT scheint insbesondere als ergänzendes Trainingsinstrument geeignet zu sein, mit dem Situationen vorbereitet, Gefahrenlagen visualisiert und Entscheidungsprozesse trainiert werden können. Die Ergebnisse sprechen weniger dafür, XR als Ersatz praktischer Ausbildung zu betrachten, sondern vielmehr für eine Kombination mit bestehenden Ausbildungs- und Übungsformaten.

In den Freitextantworten wird dieser Nutzen ebenfalls sichtbar. Trainees heben unter anderem hervor, dass Situationen realitätsnah beurteilt und verstanden werden können und bezeichnen die Anwendung als gutes Lernwerkzeug. Gleichzeitig werden Erweiterungen der virtuellen Welt und zusätzliche Trainingsmöglichkeiten gewünscht. Dies deutet darauf hin, dass insbesondere eine größere Vielfalt an Szenarien den wahrgenommenen Lernnutzen weiter steigern könnte.

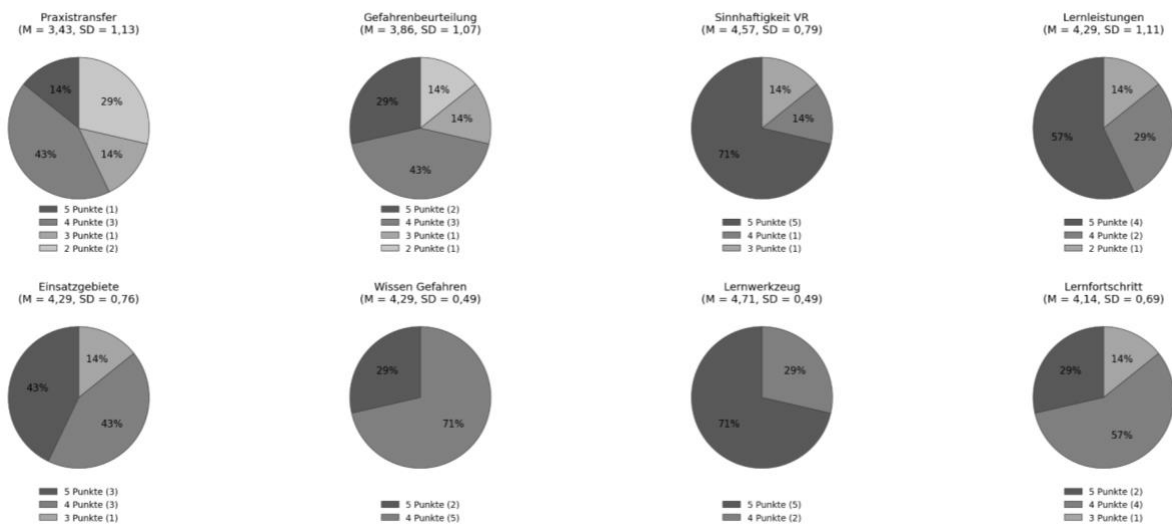


Abbildung 20: Bewertung ausgewählter Dimensionen zu Lernnutzen, Gefahrenbeurteilung und Praxistransfer durch die Trainees (n = 7).

Akzeptanz und zukünftige Nutzung

Nutzungsbereitschaft

Die Akzeptanz des XR-SAT-Trainings fällt insgesamt sehr hoch aus. Die Sinnhaftigkeit eines ergänzenden VR-Trainings in der Ausbildung wurde auf der 5-Punkte-Skala mit $M = 4,57$ ($SD = 0,79$) bewertet. Fünf der sieben Trainees vergaben dabei die maximale Bewertung von 5 Punkten. Dies deutet darauf hin, dass XR-Training von der Mehrheit als sinnvolle Ergänzung bestehender Ausbildungsformate wahrgenommen wird.

Besonders deutlich zeigt sich die Akzeptanz bei der zukünftigen Nutzungsbereitschaft. Die Aussage, die virtuelle Umgebung auch in zukünftigen Lernprozessen verwenden zu wollen, erreichte $M = 4,86$ ($SD = 0,38$). Sechs der sieben Trainees stimmten hier mit dem Höchstwert von 5 Punkten zu, eine Person vergab 4 Punkte. Damit besteht innerhalb der untersuchten Gruppe nahezu durchgehend eine hohe Bereitschaft zur weiteren Nutzung.

Ein vergleichbares Ergebnis zeigt sich beim Wissensaustausch mit anderen Auszubildenden. Auch diese Aussage erreichte $M = 4,86$ ($SD = 0,38$). Die Trainees zeigen somit nicht nur Interesse an einer eigenen zukünftigen Verwendung, sondern auch eine hohe Bereitschaft, Erfahrungen und Wissen über die virtuelle Trainingsumgebung mit anderen zu teilen (siehe Abbildung 21).

Weiterempfehlung

Die offenen Antworten zur Weiterempfehlung bestätigen dieses positive Bild. Sechs der sieben Trainees äußerten sich klar positiv gegenüber einer Weiterempfehlung des VR-Trainings. Aussagen wie „Ja, auf jeden Fall“ oder die Beschreibung als gutes Tool verdeutlichen die hohe grundsätzliche Akzeptanz. Als mögliche Einsatzbereiche werden sowohl der militärische als auch der zivile Kontext genannt.

Eine Person würde das Training aufgrund von Kopfschmerzen und Schwindel nur bedingt weiterempfehlen. Eine weitere Rückmeldung weist darauf hin, dass das Training insbesondere für bestimmte Personengruppen sinnvoll sein könnte. Die Empfehlungsbereitschaft ist damit insgesamt hoch, sollte jedoch im Zusammenhang mit den zuvor festgestellten individuellen Unterschieden bei der körperlichen Verträglichkeit betrachtet werden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse eine sehr hohe Bereitschaft zur zukünftigen Nutzung und Weiterempfehlung. Besonders relevant ist dabei, dass die Trainees XR-SAT überwiegend nicht als Ersatz bestehender Ausbildungsformen beschreiben, sondern als sinnvolle Ergänzung, mit der Situationen anders dargestellt und erlebt werden können als in konventionellen Übungen.

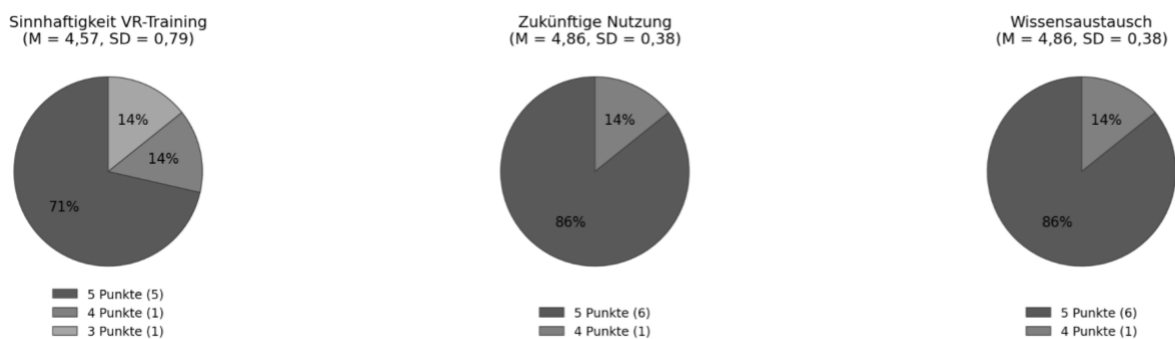


Abbildung 21: Bewertung der Sinnhaftigkeit ergänzenden VR-Trainings, der zukünftigen Nutzungsbereitschaft und des Wissensaustauschs durch die Trainees (1–5; n = 7).²¹

Gesamteindruck und Verbesserungsvorschläge

Die offenen Rückmeldungen der Trainees zeigen insgesamt einen positiven Gesamteindruck der Lernerfahrung. Das XR-SAT-Training wurde mehrfach als „sehr interessant“, „gut“ beziehungsweise „sehr gut“ beschrieben. Besonders hervorgehoben wurde die Möglichkeit, realitätsnahe Szenarien zu beurteilen und zu verstehen. Ein Trainee bezeichnete die Anwendung ausdrücklich als „sehr gutes Lern-Tool“.

Positiv bewertet wurde außerdem die grundsätzliche Bedienbarkeit. Eine Rückmeldung beschreibt die Erklärung als verständlich und das Gerät als einfach zu bedienen. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass mehrere Trainingsdurchgänge hilfreich sind, um mit der Anwendung vertrauter und schneller zu werden. Dies passt zu den zuvor festgestellten hohen Bewertungen hinsichtlich Erlernbarkeit und Navigation.

Verbesserungs- und Erweiterungswünsche

Trotz der insgesamt positiven Wahrnehmung zeigen die Freitextantworten konkrete Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung. Die genannten Wünsche betreffen weniger die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Systems als vielmehr eine inhaltliche und funktionale Erweiterung der virtuellen Trainingsumgebung.

Mehrfach wurden zusätzliche Details und Interaktionsmöglichkeiten gewünscht. Genannt wurden unter anderem Töne, die Nutzung beziehungsweise Interaktion mit Gegenständen sowie zusätzliche Informationen innerhalb der Simulation. Ein Trainee schlägt zudem eine kurze Einführung in die Steuerung direkt innerhalb des Programms vor.

Besonders konkret fallen die Rückmeldungen zur Kartendarstellung aus. Gewünscht werden eine stärker militärisch ausgerichtete Karte mit Nordpfeil, Maßstab und weiteren Elementen einer Geländeskizze sowie die Möglichkeit, die Karte während des Trainings jederzeit aufzurufen und markante Punkte darin zu kennzeichnen. Dies deutet darauf hin, dass die virtuelle Umgebung zukünftig stärker als interaktives Arbeitsmittel und nicht ausschließlich als räumliche Darstellung genutzt werden könnte.

Auch hinsichtlich zusätzlicher Trainingsinhalte besteht Interesse. Genannt wurden insbesondere Medical Triage und Patientenbeurteilung, Entscheidungsfindung in komplexen Situationen sowie Orientierung. Bereits präsentierte Anwendungen wie San-Skilltrainer und Triage-Trainer wurden positiv erwähnt und sollten nach Einschätzung eines Trainees weiter ausgearbeitet werden.

Zusammenfassend zeigen die qualitativen Rückmeldungen, dass die Trainees weniger eine grundlegende Veränderung des Trainingskonzepts als vielmehr dessen Vertiefung und Erweiterung wünschen. Prioritäre Ansatzpunkte sind eine kurze Einführung in die Steuerung, eine detailliertere und interaktivere virtuelle Umgebung sowie zusätzliche Szenarien und Handlungsmöglichkeiten. Die hohe Zahl konkreter Erweiterungsvorschläge kann dabei auch als Hinweis darauf verstanden werden, dass die Trainees grundsätzlich Potenzial für eine weiterführende Nutzung des Systems sehen.

Diskussion und Empfehlung

Die Evaluation des XR-SAT-Trainings zeichnet insgesamt ein positives Bild hinsichtlich Akzeptanz, technischer Umsetzung, Usability und wahrgenommenem Lernnutzen. Trotz der kleinen Stichprobe von sieben Trainees zeigen sich über die unterschiedlichen Evaluationsdimensionen hinweg konsistente Tendenzen. Besonders hervorzuheben sind die hohe Bewertung der technischen Qualität, die grundsätzlich gute Bedienbarkeit sowie die ausgeprägte Bereitschaft, XR-basierte Trainingsangebote zukünftig erneut zu nutzen.

Die Ergebnisse zu Immersion und Gesamterlebnis zeigen, dass es der virtuellen Lernumgebung grundsätzlich gelingt, die Trainees in das Trainingsszenario einzubinden. Das VR-Erlebnis wurde insgesamt positiv wahrgenommen. Gleichzeitig zeigen einzelne niedrigere Bewertungen, dass die immersive Wirkung nicht bei allen Personen gleichermaßen ausgeprägt ist. Die qualitativen Rückmeldungen legen nahe, dass eine detailliertere virtuelle Umgebung, zusätzliche Geräusche und erweiterte Interaktionsmöglichkeiten das Erlebnis zukünftig noch realistischer gestalten könnten.

Eine besondere Stärke liegt in der technischen Qualität und Usability. Sowohl die eingesetzte VR-Technologie als auch das Navigationssystem wurden sehr positiv bewertet. Auch die Erlernbarkeit der Bedienung stellt grundsätzlich keine wesentliche Einstiegshürde dar. Dennoch zeigen die Ergebnisse Unterschiede zwischen einzelnen Trainees. Eine kurze, direkt in die Anwendung integrierte Einführung in Steuerung und Interaktionsmöglichkeiten könnte daher dazu beitragen, unterschiedliche Vorerfahrungen auszugleichen und einen einheitlicheren Einstieg in das Training zu gewährleisten.

Hinsichtlich der körperlichen Verträglichkeit ergibt sich ein differenziertes Bild. Die Mehrheit der Trainees berichtete keine beziehungsweise nur geringe Beschwerden. Einzelne Personen zeigten jedoch deutlich stärkere Reaktionen in Form von Übelkeit, Schwindel oder Kopfschmerzen. Für einen breiteren Einsatz in der Ausbildung sollte daher berücksichtigt werden, dass die individuelle Verträglichkeit von VR unterschiedlich ausfallen kann. Eingewöhnungsphasen, Pausen und die Möglichkeit eines unkomplizierten Trainingsabbruchs sollten entsprechend vorgesehen werden.

Besonders relevant für den Ausbildungskontext sind die Ergebnisse zu Lernnutzen und Praxistransfer. Die virtuelle Umgebung wird überwiegend als gutes Lernwerkzeug wahrgenommen und unterstützt nach Einschätzung der Trainees insbesondere das Verständnis zukünftiger Einsatzgebiete und den Erwerb zusätzlichen Wissens zur Gefahrenbeurteilung. Zurückhaltender fällt hingegen die Sicherheit aus, das Gelernte unmittelbar in die reale Praxis übertragen zu können. Dies spricht dafür, XR-SAT derzeit vor allem als ergänzendes Trainingsinstrument zu bestehenden praktischen Ausbildungsformaten einzusetzen und nicht als deren Ersatz.

Die hohe Akzeptanz und zukünftige Nutzungsbereitschaft unterstützt diese Einschätzung zusätzlich. Nahezu alle Trainees würden die virtuelle Umgebung erneut für Lernprozesse einsetzen und ihre Erfahrungen mit anderen Auszubildenden teilen. Auch die Weiterempfehlungsbereitschaft ist hoch. Damit bestehen gute Voraussetzungen für eine weiterführende Integration des Systems in bestehende Ausbildungsstrukturen.

Aus den quantitativen und qualitativen Ergebnissen lassen sich insbesondere folgende Empfehlungen ableiten:

1. XR-SAT ergänzend in bestehende Ausbildungsformate integrieren, insbesondere zur Vorbereitung und Visualisierung von Situationen, die real nur eingeschränkt oder mit hohem Aufwand dargestellt werden können.
2. Ein kurzes integriertes Tutorial vorsehen, das Navigation, Steuerung und zentrale Interaktionsmöglichkeiten unmittelbar vor dem eigentlichen Szenario vermittelt.
3. Virtuelle Umgebung funktional erweitern, insbesondere hinsichtlich Geräuschen, nutzbaren Gegenständen, zusätzlichen Informationen und einer detaillierteren Kartendarstellung.
4. Weitere Trainingsszenarien entwickeln, wobei die Rückmeldungen insbesondere Potenzial bei Medical Triage, Patientenbeurteilung, komplexer Entscheidungsfindung und Orientierung zeigen.
5. VR-bedingte Beschwerden bei der Trainingsgestaltung berücksichtigen, beispielsweise durch Eingewöhnungsphasen, Pausen und individuelle Abbruchmöglichkeiten.
6. Praxistransfer in zukünftigen Evaluationen gezielter untersuchen. Neben subjektiven Einschätzungen sollte dabei geprüft werden, ob das XR-Training tatsächlich zu messbaren Verbesserungen bei Gefahrenbeurteilung, Entscheidungsfindung oder praktischer Leistung führt.

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse darauf hin, dass XR-SAT ein hohes Potenzial als ergänzendes digitales Trainingsinstrument besitzt. Die technische Basis und die grundsätzliche Akzeptanz sind bereits stark ausgeprägt. Die nächste Weiterentwicklung sollte daher vor allem auf einer Erweiterung der Trainingsinhalte und Interaktionsmöglichkeiten, einer standardisierten Einführung für neue Nutzer:innen sowie einer systematischen Überprüfung des tatsächlichen Lern- und Praxistransfers liegen.

Einschränkung: Aufgrund der kleinen und ausschließlich männlichen Stichprobe ($n = 7$) sind die Ergebnisse als erste Hinweise zu interpretieren und nicht ohne Weiteres auf die gesamte Zielgruppe übertragbar.

10 D4.2 Verwertungsplan

Marketing- und Verwertungsplan

Für die Verwertung von XR-SAT ist zunächst eine Positionierung im österreichischen und D-A-CH-Markt und in weiterer Folge auf europäischer und internationaler Ebene vorgesehen. Das System soll als mobiles, kosteneffizientes und trainer:innenbegleitetes XR-Trainingssystem für Situation Awareness in der Vorbereitung auf Krisen- und Auslandseinsätze positioniert werden. Wesentliche Vorteile gegenüber klassischen Real- und Tabletop-Übungen sind die ortsunabhängige Nutzung, die Wiederholbarkeit und Anpassbarkeit von Trainingssituationen sowie die Möglichkeit, komplexe Gefahren- und Einsatzsituationen immersiv und ohne den entsprechenden Ressourcenaufwand realer Übungen abzubilden.

Als primäre Zielgruppen werden militärische und staatliche Einsatzorganisationen, Polizei und Sicherheitsbehörden, Katastrophenschutzorganisationen, humanitäre Organisationen sowie Ausbildungseinrichtungen für Krisen- und Auslandseinsätze adressiert. Das BMLV übernimmt dabei als Early Adopter eine zentrale Rolle für die erste praktische Nutzung und Referenzbildung. Für die weitere Verwertung sind zunächst Organisationen im D-A-CH-Raum und anschließend europäische und internationale Ausbildungseinrichtungen vorgesehen.

Für die Markterschließung sind folgende Aktivitäten vorgesehen:

- Direktansprache und Demonstrationen bei relevanten Bedarfsträgern und Ausbildungseinrichtungen.
- Pilotprojekte und strategische Partnerschaften, um XR-SAT in unterschiedlichen Ausbildungskontexten zu erproben und Referenzanwender aufzubauen.
- Präsentation auf relevanten Fachmessen und Kongressen aus den Bereichen Verteidigung, öffentliche Sicherheit, Krisenmanagement und Simulation/XR.

- Digitale Kommunikation, insbesondere über LinkedIn, Video-Demonstrationen und die direkte Ansprache relevanter Berufs- und Entscheider:innengruppen.
- Nutzung der Evaluationsergebnisse als Referenz, um den Nutzen hinsichtlich User Experience, Akzeptanz und Einsatz in realen Ausbildungskontexten nachvollziehbar darzustellen.

Demonstration, Pilotierung und Markteinführung

Die Demonstration und Erprobung von XR-SAT in realen Ausbildungskontexten bildet eine wesentliche Grundlage für die weitere Verwertung. Im Rahmen des Projekts wird das entwickelte Trainingssystem gemeinsam mit dem BMLV hinsichtlich Akzeptanz, User Experience, Verwendungskomplexität und Nutzen in der Ausbildung evaluiert. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der technischen und inhaltlichen Weiterentwicklung sowie der Vorbereitung einer nachhaltigen Integration in bestehende Ausbildungsstrukturen.

Das BMLV fungiert dabei als Early Adopter. Eine erste Nutzung von XR-SAT ist insbesondere in geeigneten Ausbildungsbereichen wie SanZOst, AusIEBa und AUTINT vorgesehen. Die dabei gewonnenen Erfahrungen sollen als Referenz für die weitere Markteinführung und die Übertragung auf andere Ausbildungseinrichtungen dienen.

Ergänzend wurden Demonstrationsworkshops mit weiteren Ausbildungsanbietern und Einsatzorganisationen in Österreich und der Schweiz durchgeführt. Ziel dabei war es, XR-SAT potenziellen Anwender:innen praktisch vorzustellen, Feedback zu weiteren Einsatzfeldern einzuholen und Kontakte für mögliche Pilotprojekte und Kooperationen aufzubauen.

Auf Basis der Evaluation und des Stakeholder-Feedbacks soll XR-SAT nach Projektabschluss vom erreichten TRL 7–8 innerhalb eines Jahres zu einem marktfähigen System (TRL 9) weiterentwickelt werden.

Preis- und Lizenzmodell

Für die kommerzielle Verwertung von XR-SAT ist ein flexibles Lizenzmodell vorgesehen, das an unterschiedliche Organisationsgrößen und Nutzungsszenarien angepasst werden kann. Neben der Anzahl der eingesetzten XR-Headsets sollen insbesondere Nutzungsumfang, Anzahl der Standorte sowie erforderliche Zusatzleistungen bei der Preisgestaltung berücksichtigt werden.

Grundsätzlich sind folgende Lizenzmodelle vorgesehen:

- Pilot-/Evaluierungslizenz: Zeitlich begrenzte Nutzung von XR-SAT mit ausgewählten Trainingsszenarien und einer definierten Anzahl an Headsets. Dieses Modell soll insbesondere den Einstieg bei neuen Organisationen und die Durchführung von Pilotprojekten erleichtern.
- Standardlizenz: Reguläre Nutzung des XR-SAT-Systems inklusive der verfügbaren Standard-Trainingsszenarien, Trainer:innen-Funktionen sowie Updates und Support.
- Enterprise-/Behördenlizenz: Für größere Organisationen und mehrere Ausbildungsstandorte mit entsprechend höherer Anzahl an Nutzer:innen bzw. Headsets. Hier können individuelle Rahmenbedingungen und Volumenmodelle vereinbart werden.
- Zusätzliche Leistungen wie die Entwicklung organisationsspezifischer Trainingsszenarien, Anpassungen an nationale oder sprachliche Anforderungen, Train-the-Trainer-Angebote sowie erweiterte Support- und Integrationsleistungen können ergänzend angeboten werden.
- Die konkreten Lizenzpreise werden auf Basis der Ergebnisse der Projektevaluation sowie des tatsächlichen Betriebs-, Support- und Weiterentwicklungsaufwands festgelegt. Dadurch soll ein wettbewerbsfähiges und gleichzeitig wirtschaftlich nachhaltiges Preismodell für XR-SAT entwickelt werden.

Investitionsbedarf und weitere Verwertung

Für die Überführung von XR-SAT in ein marktfähiges und dauerhaft einsetzbares Produkt sind nach Projektabschluss weitere Investitionen vorgesehen. Die im Projekt erreichte technologische Reife von TRL 7–8 bildet dafür die Grundlage. Die Ergebnisse der Evaluation und das daraus abgeleitete Product Backlog sollen genutzt werden, um die für einen produktiven Einsatz notwendigen Weiterentwicklungen zu priorisieren. Dazu zählen insbesondere die technische Stabilisierung und Qualitätssicherung, die Optimierung der XR-Anwendung und der Interaktionsmechanismen sowie die Weiterentwicklung der Trainer:innen-Funktionen und des After-Action-Reviews. Auch die Erfassung und Auswertung relevanter Trainingskennzahlen, beispielsweise getroffener Entscheidungen, Entscheidungszeiten, erkannter Gefahren und Aufmerksamkeitsbereiche, soll für den selbstgeleiteten Modus noch weiterentwickelt werden. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Erweiterung und Modularisierung der Trainingsinhalte. Zusätzliche virtuelle Umgebungen, Gefahrenlagen, Ausrüstungsgegenstände und Interaktionsmöglichkeiten sollen eine Anpassung an unterschiedliche Zielgruppen, Einsatzgebiete und Ausbildungsziele ermöglichen. Für die internationale Nutzung sind zudem sprachliche und inhaltliche Anpassungen vorgesehen.

Investitionsplan

Für die Erreichung der Marktreife und die anschließende Verwertung von XR-SAT werden insbesondere folgende die in Tabelle 2 dargestellten Investitionsbereiche berücksichtigt. Die hier angeführten Beträge sind Schätzungen die auf bisherigen Produktentwicklungen von MINDCONSOLE beruhen. Zur direkten Verwendung für Pilotkunden für die die derzeitigen Einsatzsituationen passend sind würden nur die Kosten für ‚Produktreife & Qualitätssicherung‘ anfallen und können daher zeitnah (1-2 Monate) von MIND umgesetzt werden.

Tabelle 2: Investitionsplan für die verschiedenen Bereiche.

Investitionsbereich	Inhalt / Zweck	Kosten
Produktreife & Qualitätssicherung	Stabilisierung, Testing, Performance und Usability	15 – 20k
Trainingsinhalte & Szenarien	Zusätzliche Umgebungen, Gefahrenlagen, Assets und Interaktionen	10 – 60k je nach Bedarf
Trainer:innen- & AAR-Funktionen	Weiterentwicklung von Trainer-Interface, KPIs und Auswertung	5 – 20k
Internationalisierung	Übersetzungen sowie sprachliche und inhaltliche Anpassungen	2k (pro Sprache)
Dokumentation & Schulung	Handbücher, Train-the-Trainer und Schulungsunterlagen	10 bis 20k
Marketing & Vertrieb	Produktmaterialien, Demonstrationen, Pilotprojekte, Messen und Kongresse	20k (im 1. Jahr)
Support & Betrieb	Aufbau von Update-, Support- und Deployment-Strukturen	15k

Neben der Produktentwicklung sind Investitionen in die Markteinführung und den Aufbau eines nachhaltigen Betriebsmodells erforderlich. Dazu gehören Produkt- und Schulungsunterlagen, Demonstrationsmaterialien, Pilotprojekte und Präsentationen

sowie die Teilnahme an relevanten Fachveranstaltungen. Ergänzend sollen geeignete Support-, Update- und Train-the-Trainer-Strukturen aufgebaut werden, damit Ausbildungseinrichtungen XR-SAT möglichst selbstständig in ihren Trainingsbetrieb integrieren können. In einer ersten Verwertungsphase steht das BMLV als Early Adopter im Mittelpunkt. XR-SAT soll in geeigneten Ausbildungsbereichen eingesetzt und anhand der praktischen Erfahrungen weiter optimiert werden. Diese Anwendungen dienen gleichzeitig als wichtige Referenz für die anschließende Vermarktung.

In einer zweiten Phase ist die Markterschließung im D-A-CH-Raum vorgesehen. Als potenzielle Kunden und Kooperationspartner kommen neben militärischen Ausbildungseinrichtungen insbesondere staatliche und zivile Einsatzorganisationen, Sicherheits- und Katastrophenschutzorganisationen, humanitäre Organisationen sowie spezialisierte Trainingsanbieter in Betracht. Darauf aufbauend soll die Verwertung schrittweise auf den europäischen und internationalen Markt ausgeweitet werden. Durch zusätzliche Sprachen, Szenarien und organisationsspezifische Trainingsinhalte kann XR-SAT an unterschiedliche Ausbildungskontexte angepasst werden. Ziel ist es, XR-SAT innerhalb eines Jahres nach Projektabschluss von TRL 7–8 zu einem marktreifen Produkt auf TRL 9 weiterzuentwickeln und dauerhaft in das XR-Trainingsportfolio von Mindconsole zu integrieren.