

SPOT: Design und Evaluation einer Anwendung zur Erkennung von physischen Objekten während Mixed Reality Studien

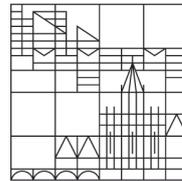
Bachelorarbeit

vorgelegt von

Aziz Khashimov (01/836173)

an der

Universität
Konstanz



Mensch-Computer-Interaktion

Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft

1. Gutachter: Prof. Dr. Harald Reiterer
2. Gutachter: Dr. Johannes Fuchs

Konstanz, 26. November 2021

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt den Prototypen „SPOT“, eine mobile Trackinganwendung, die mit Hilfe von Fiducial Markern die Positionen von physischen Objekten erfasst. Die Marker werden an den physischen Objekten angebracht und mittels eines angeleiteten Prozesses innerhalb der App kalibriert. Die gesammelten Daten werden in einem standardisierten Format gespeichert, sodass diese ohne zusätzlichen Aufwand weiterverarbeitet werden können. Das System wurde in einer Expertenstudie auf seine Usability sowie auf die Tauglichkeit für den Einsatz in Studien untersucht. Die Studienteilnehmer fanden die Anwendung einfach zu verwenden und lobten vor allem den geringen Aufbauaufwand des Systems. Jedoch wurden die geringe Reichweite und mangelnde Resistenz gegen die Verdeckung der Marker als klare Schwächen genannt.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	i
Inhaltsverzeichnis	ii
Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iv
1. Einleitung	1
2. Grundlagen	3
2.1. Datenerhebung in Mixed Reality Studien	3
2.2. Tracking in Mixed Reality	4
3. Verwandte Arbeiten	9
3.1. Mixed Reality Analytics Toolkit (MRAT)	9
3.2. Seedmarkers: Embeddable Markers for Physical Objects	10
3.3. Alignment of the Virtual Scene to the Tracking Space of a Mixed Reality Head-Mounted Display	12
4. Prototyp: SPOT	14
4.1. Verwendete Technologien	14
4.2. Konzept	14
4.3. Umsetzung	18
5. Evaluation	22
5.1. Gegenstand der Untersuchung	22
5.2. Studiendesign	22
5.3. Datenerhebung und Auswertung	25
5.4. Ergebnisse	27
5.5. Diskussion	36
5.6. Limitierungen der Studie	38
6. Fazit	40
Referenzen	v
A. Appendix	viii

Abbildungsverzeichnis

2.1.	Visualisierung des Problems fehlender Daten	4
2.2.	Optitrack Trackerkugel	5
2.3.	Tablet Tracker Setup von Stream	5
2.4.	ARKit Test	6
2.5.	Vuforia Test	7
2.6.	AprilTag Detektor Implementierung von Keijiro	8
3.1.	MRAT Funktionsumfang	10
3.2.	MRAT-Crisis Marker Setup	11
3.3.	Seedmarker Beispiele	11
3.4.	Trackingkugel-Setup an einem Würfel	12
3.5.	Vereinfachter HMD Kalibrierungsprozess von Azimi et al. [30]	13
4.1.	Erstes Konzept	15
4.2.	Zweites Konzept: Schnellstart	15
4.3.	Finales Konzept	16
4.4.	Ankerpunkt Konzept	16
4.5.	Projektauswahl	18
4.6.	Target Auswahl	19
4.7.	Erstellen eines Tracking Targets	19
4.8.	Kalibrierung eines Tracking Target	20
4.9.	Tablet als Tracking Target	20
4.10.	Aufnahme-Szene	21
4.11.	Ankerpunkt Feedback	21
5.1.	Studienaufbau: Raumeinteilung	24
5.2.	Studienaufbau: Physische Objekte und Stativ mit Smartphone	25
5.3.	System Usability Scale - Ergebnisse	27
5.4.	System Usability Scale - Score	28
5.5.	Affinity Diagramm: Nach Teilnehmer sortiert	29
5.6.	Affinity Diagramm: Nutzbarkeit	30
5.7.	Affinity Diagramm: UI	30
5.8.	Affinity Diagramm: Konzept Eigenschaften	31
5.9.	Affinity Diagramm: Einsatz in Studien	31
5.10.	Affinity Diagramm: Umgang mit Markern	32
5.11.	Affinity Diagramm: Hilfefenster	33
5.12.	Affinity Diagramm: Technische Eigenschaften	34
5.13.	Affinity Diagramm: Gewünschte & Vermisste Features	35

Tabellenverzeichnis

2.1. Ergebnisse der Technischen Erprobung	8
---	---

1. Einleitung

Mixed Reality (MR) Umgebungen sind als Kombination aus realen und virtuellen Elementen definiert [1]. Dies ist sowohl bei Augmented Reality (AR) als auch bei Augmented Virtuality (AV) der Fall, wobei der Unterschied dabei davon abhängig ist, ob die realen oder virtuellen Anteile überwiegen [1]. In jedem Fall werden die virtuellen Objekte von der MR Anwendung selbst erzeugt und im Raum dargestellt, während sich die physischen Objekte bereits im Raum befinden und von der Anwendung erfasst werden müssen. Die Erkennung von physischen Objekten ist zwingend notwendig, um Interaktionen zwischen physischen und virtuellen Objekten zu ermöglichen oder Interaktionen zwischen dem Benutzer und physischen Objekten zu erkennen. In vielen Applikationen werden nur einige wenige Oberflächen erfasst und als Orientierungsstützen für die Positionierung der virtuellen Elemente verwendet.

Bei der Auswertung von MR Studien können die Positionsdaten virtueller Objekte direkt aus den Protokollen der Anwendungen ausgelesen werden [2]. Physische Objekte werden häufig lediglich auf Video-Aufnahmen festgehalten oder mittels eines eigens für die Studie (in den Prototyp) integrierten Trackingsystems erfasst. Die Video-Aufnahmen müssen in den meisten Fällen manuell ausgewertet werden. Beide genannten Lösungen bringen einen hohen Arbeits- und Zeitaufwand mit sich und sind nicht automatisierbar.

Die Verwendung eines Trackingsystems ermöglicht präzisere Ergebnisse und eine einfachere Weiterverarbeitung der Daten als die manuelle Auswertung von Videomaterial, bringt jedoch einige Hürden mit sich. Die Herausforderungen fangen bei der Auswahl des Trackingsystems an, beinhalten aber auch die Konfiguration des Systems, sowie die Anpassung der Studiensoftware an das System. Die verschiedenen verfügbaren Trackingsysteme haben alle ihre eigenen Vor- und Nachteile. Eine Auswahl an gängigen Trackingsystemen wurde in der vorangegangenen Seminararbeit [3] zusammengefasst und im dazugehörigen Projektbericht [4] genauer erprobt.

Diese Arbeit nimmt sich dieser Probleme an und präsentiert den Prototyp „SPOT - Swift Position and Orientation Tracking“, eine App, die Smartphones als mobiles und leicht zugängliches Trackingsystem verwendet. Als Basis dienen AprilTags [5], die sich im technischen Vergleich, der im Bachelor Projekt durchgeführt wurde, als zuverlässige optische Marker hervorragen haben. Das primäre Entwicklungsziel von „SPOT“ war es, ein System zu entwickeln, das schnell, unkompliziert und flexibel für das Tracking physischer Objekte in Studien eingesetzt werden kann. Die mobile Plattform ermöglicht einen flexiblen Einsatz des Systems, unabhängig von den gegebenen Räumlichkeiten, bei günstigen Lichtverhältnissen möglicherweise sogar im Freien. Zusätzlich wird so eine Bindung an kostspielige, spezialisierte und stationäre Hardware wie Optitrack Kameras [6] oder Steam Lighthouses [7] vermieden.

Der Prototyp „SPOT“ ermöglicht das Tracking von mehreren physischen Objekten mit Hilfe von an ihnen angebrachten AprilTag Markern. Die dabei erfassten Positions- und Rotationswerte werden als Datei im Dateiformat der Human-ComputerInteraction (HCI) Arbeitsgruppe der Universität Konstanz gespeichert, sodass sie unkompliziert in eine Datenbank importiert und weiterverarbeitet werden können. Auf den Vorbereitungsprozess wurde ein besonderer Fokus gelegt, denn dieser soll möglichst unkompliziert und schnell gestaltet sein.

Kapitel 2 behandelt die theoretischen Grundlagen von gängigen Datenerhebungsmethoden in MR Studien und vergleicht verschiedene existierende Trackinglösungen, die für das Erfassen von physischen Objekten verwendet werden können. Kapitel 3 stellt verwandte Arbeiten vor, die MR Studienwerkzeuge und Anwendungen vorstellen

1. Einleitung

und untersuchen und sich mit dem Problem des 3D Tracking befassen. Kapitel 4 beschreibt den Prototyp „SPOT“, welcher mit den Erkenntnissen aus den Kapiteln 2 und 3 entwickelt wurde. Kapitel 5 behandelt die Studie, in der der Prototyp von Experten auf Usability und auf die Tauglichkeit für den Einsatz in Studien untersucht wurde. Kapitel 6 schließt diese Arbeit ab und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige Arbeiten.

2. Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt die Grundlagen der verwandten Arbeiten des nächsten Kapitels. Zunächst werden die gängigen Datenerhebungsmethoden und die damit verbundenen Probleme behandelt, gefolgt von der Beschreibung und dem Vergleich von verschiedenen existierenden Trackingsystemen. Teile dieses Kapitels wurden bereits im Seminar [3] und Projektbericht [4] beschrieben und wurden an passenden Stellen überarbeitet und übertragen.

2.1. Datenerhebung in Mixed Reality Studien

Auf Grund des wachsenden Angebots und der steigenden Popularität von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) fähigen Geräten, wie modernen Smartphones, Tablets und Head-Mounted-Displays (HMDs), wächst auch das Interesse an der Erforschung von MR Technik sowie MR Anwendungen [2]. Für diese Forschung sind Studien notwendig, die auch an die technischen Möglichkeiten und Herausforderungen angepasst sind. Die Anwendungsmöglichkeiten von MR sind potenziell unbegrenzt und reichen bereits heute von der Automobil- und Luftfahrtindustrie über die Medizin bis hin zu kommerziellen Produkten, wie Videospiele, weshalb es auch viele unterschiedliche Metriken gibt, die je nach Anwendungsmöglichkeit von variierender Relevanz sein können. Zusätzlich zu den konventionellen Usability Metriken Effizienz, Effektivität und Satisfaktion, ist es häufig erwünscht, zu wissen, worauf der Studienteilnehmer geblickt hat, wann und mit welchen virtuellen und physischen Objekten interagiert wurde und wann versucht wurde mit einem 3D oder UI Element zu interagieren. Letzteres gibt zum Beispiel Aufschluss über die Benutzerfreundlichkeit des Systems. Büschel et al. [8] untersuchten für das Mixed Reality Toolkit MIRIA 25 wissenschaftliche Arbeiten aus unterschiedlichen Forschungsfeldern, die Bezug zu *Spatial Analysis* hatten. Dabei wurde festgestellt, dass Positions- und Bewegungsdaten zu den wichtigsten Daten, bei der Erforschung von Nutzerverhalten in immersiven und multi-display Umgebungen, gehören.

In einigen Studien ist das Tracken von physischen Objekten zwingend notwendig [9]. Sollte eine Studie zum Beispiel Interaktionen mit physischen Objekten enthalten, wie es beispielsweise in der Studie zu Stream von Hubenschmid et al. [10] der Fall war, ist es nötig geeignete Hard- und Software, die das Tracking physischer Objekte ermöglicht, auszuwählen oder selbst zu erstellen und diese gegebenenfalls an die Studie anzupassen.

Für die standardisierte Erfassung von Studiendaten entwickelt die Human-Computer Interaction (HCI) Arbeitsgruppe der Universität Konstanz ein HCI Evaluation Toolkit. Es verfügt über eine Logging Funktion, die die erfassten Daten der Sessions als Entities und Events in einer Datenbank und als JSON Datei speichert. *Entities* sind reale oder virtuelle Elemente einer Session, wie zum Beispiel HMDs, Tablets, Kameras oder UI Elemente. *Events* sind Ereignisse und Aktionen die zu einem Zeitpunkt stattfinden, so wie Klicks, Berührungen oder kritische Ereignisse. Zu Entities und Events können States gehören, die den Zustand von Entities und Events zu bestimmten Zeiten beschreiben. States können kontinuierlich oder auch nur bei Veränderungen von Werten aufgezeichnet werden und enthalten einen Zeitstempel. Position (als x,y und z Koordinaten) und Ausrichtung (als Quaternion) zum jeweiligen Zeitpunkt der Entities werden ebenfalls in States beschrieben. Die so gesammelten Daten sollen eine 3D Wiedergabe der Studie und automatisierte Weiterverarbeitung ermöglichen.

2. Grundlagen

VR und AR Rekonstruktionen sind Werkzeuge die zunehmend Verwendung zur explorativen Auswertung einer durchgeführten Studie finden. Hier werden die 3D Daten der erfassten Objekte in einen 3D Raum projiziert, der sich in AR oder VR betrachten lässt [2] [8]. Wenn bestimmte Objekte in der Studie nicht erfasst werden, kann es zu Situationen kommen, in denen mangelnde Daten in Fehlschlüssen resultieren können. Abbildung 2.1 visualisiert das Problem.

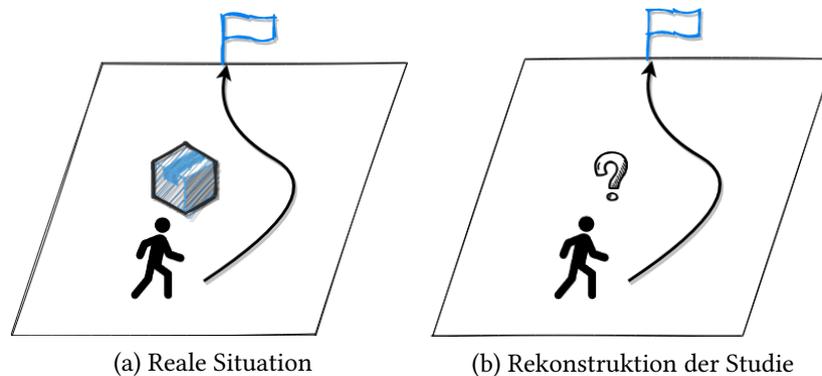


Abbildung 2.1.: Einzelne nicht erfasste Objekte können die Studienresultate beeinflussen: Objekte der realen Welt (a) tauchen nicht in der Rekonstruktion (b) auf. *Übernommen von [3]*

2.2. Tracking in Mixed Reality

Der folgende Abschnitt stellt einige der beliebtesten Trackinglösungen vor und vergleicht sie miteinander. Vuforia Image Targets [11], AprilTags [5] und ARKit [12] wurden auf Grund ihrer vergleichsweise geringen Hardwareanforderungen und mobilen Einsatzmöglichkeit auf einem Handheld als Teil des Bachelor Projekts [4] zusätzlich technisch evaluiert.

2.2.1. Optitrack

Bei Optitrack [6] werden eine Vielzahl an Kameras für passiv-optisches Tracking verwendet. Die Trackingziele werden mit kleinen weißen Kugeln präpariert (zu sehen in Abbildung 2.2), die von den Optitrack Kameras an einem hohen Gerüst oder der Decke erfasst werden. Beim Tracking werden die Infrarotstrahlen erfasst, die von den Kameras erzeugt und von den Kugeln reflektiert werden. Das System gilt als präzise und zuverlässig und wird deshalb häufig zum Motioncapturing für Filme und Videospiele verwendet. Jedoch werden selbst für einen kleinen Trackingraum von 6m x 6m mit 2m Höhe acht Optitrack Prime 13 Kameras empfohlen, die auf einem 9m x 9m Rahmen in 2m Höhe um den Trackingraum herum positioniert werden sollen. Diese Beispielkonfiguration wird zum Tracken von bis zu sechs Objekten empfohlen wobei jedes davon eine einzigartige Anordnung der Trackingkugeln, sowie die Konfiguration in der Software erfordert.

Deshalb zählt Optitrack zu den kostspieligen und aufwändigeren Trackingsystemen. Dies wurde auch von einigen Teilnehmern von „Does It Feel Real?“ von Muender et al. [13] vom Digital Media Lab der Universität Bremen so empfunden. Dabei wurden Tangibles mit Hilfe von Optitrack getrackt. Es wurde untersucht, welchen Einfluss unterschiedliche Detailgrade von Tangibles auf ihre Wahrnehmung in einer VR Szene haben. In zukünftigen Iterationen möchte man andere preiswertere Trackingsysteme in Betracht ziehen.



Abbildung 2.2.: Optitrack Trackerkugel. *Übernommen von [6]*

2.2.2. HTC Vive Tracker

HTC Vive Tracker [7] nutzen mehrere Infrarot Sensoren und inertielle Messeinheiten für aktives Inside-Out-Tracking. Es werden SteamVR [14] Basisstationen, sogenannte „Lighthouses“ vorausgesetzt, die das Infrarotlicht erzeugen und in den Trackingraum hinein strahlen. Anhand der Einstrahlung und der Ermittlung der eigenen Ausrichtung können die Vive Tracker dann ihre Position im Raum bestimmen und an eine SteamVR Anwendung übermitteln. Für einen Trackingraum von bis zu 5m x 5m werden zwei Lighthouses empfohlen, der mit zwei zusätzlichen Lighthouses auf 10m x 10m erweitert werden kann. Die Tracker haben einen Durchmesser von 10cm, eine Höhe von 4,2cm und wiegen 89g.

In „Stream“ von Hubenschmid et al. [10] wurde ein iPad Pro mit Hilfe von zwei Vive Trackern getrackt. Diese wurden an einen 3D-gedruckten Rahmen an gegenüberliegende Kanten des Tablets befestigt. Dieser Aufbau ist in Abbildung 2.3 zu sehen. Es wurde ein Interaktionskonzept für immersive Datenanalyse erforscht, das auf einer Kombination aus einem getrackten Tablet und einem AR HMD basiert. Um die Koordinatensysteme der verwendeten Systeme zu synchronisieren, wurde ein weiterer Vive Tracker auf einem optischen Marker platziert, das von dem verwendeten HoloLens HMD erkannt wurde. Die Tracker und der Rahmen erhöhten das Gesamtgewicht des iPad Pro 2017 von 437g auf 715g, also um mehr als 60%. Einige Teilnehmer befürchteten das Tablet versehentlich fallen lassen zu können, möglicherweise als Folge des erhöhten Gewichtes.



Abbildung 2.3.: Zwei Vive Tracker sind über einen extra angefertigten Rahmen an das Tablet angebracht. Mit diesen soll die Position des Tablets im Raum getrackt werden. *Übernommen von [10]*

2.2.3. ARKit

ARKit [12] verwendet die Tiefeninformation des im iPad Pro [15] verbauten Lidar Sensors um ein 3D-Netz Model des erfassten Bilds zu generieren und darin Objekte erkennen zu können. Somit benötigt das System weder eine Markierung des Zielobjekts noch zusätzliche Hardware außer dem iPad selbst. Um die Trackingperformance ein-

2. Grundlagen

schätzen zu können und sie mit anderen Systemen vergleichen zu können, wurde die ARKit Beispielanwendung von Apple [16] im Rahmen des Projekts [4] getestet. Die Konfiguration des Zielobjekts, einem Würfel mit einem Durchmesser von 10cm, erfolgte in wenigen einfachen Schritten. Die einzelnen Schritte sind in Abbildung 2.4 zu sehen. Die Erkennung zeigte Schwächen, sobald das Sichtfeld kurzzeitig gestört oder das Objekt bewegt wurde: Zur erneuten Erfassung musste das iPad näher an das Objekt geführt und geschwenkt werden. Ab einer Distanz von ungefähr 1,5m brach die Erkennung regelmäßig ab.

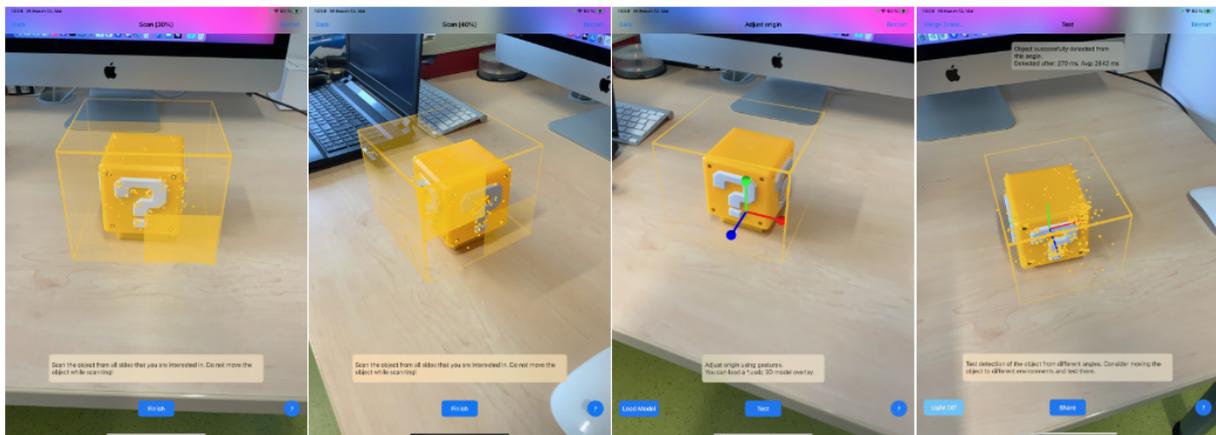


Abbildung 2.4.: Ein gelber Würfel wurde, den Anweisungen der Anwendung entsprechend gescannt und eingestellt (Ablauf von links nach rechts). Zuerst wird der Begrenzungsrahmen um das Objekt herum definiert. Anschließend wird es von verschiedenen Seiten gescannt. Nachdem sein Ursprungspunkt eingestellt ist, kann das Modell als Datei exportiert und von ARKit erkannt werden. *Übernommen von [4]*

2.2.4. Vuforia Image Targets

Die Vuforia Engine [11] nutzt Bilderkennung, um verschiedene Arten von visuellen Markern zu erfassen. Vuforia Image Targets ist eine davon. Dabei handelt es sich um Bilder, die in einer Datenbank gespeichert sind und anhand ihrer Merkmale mit dem Kamerabild abgeglichen werden. Für gewöhnlich werden Image Targets als Orientierungsstützen für Handheld AR Anwendungen verwendet, sodass virtuelle AR Objekte relativ zu den Bildern im Raum platziert werden. Welches Bild als Image Target verwendet werden soll, ist dem Nutzer überlassen, für bessere Ergebnisse wird aber empfohlen kontrast- und detailreiche Bilder auszuwählen, sowie die Größe der Image Targets so zu setzen, dass sie einem Zehntel der gewünschten Reichweite entspricht [17].

Während dem Projekt wurden die Vuforia Image Targets einem Praxistest unterzogen. Dafür wurde die Unity Beispielanwendung „Vuforia Core Samples“ mit den darin enthaltenen Beispiel Image Targets verwendet. Von den drei vorkonfigurierten Beispiel Image Targets wurde das kontrastreichste am zuverlässigsten erkannt. Es wurden auch selbst erstellte Image Targets, die in der Vuforia Datenbank eine ideale Bewertung von 5/5 Sternen erhielten, erfolgreich getestet. Die Reichweite wird bei Abbrüchen des Trackings nach 1,5m bei einer Image Target Größe von 7cm x 7cm als gering bewertet. Im Test überzeugten die Image Targets bei stationären Objekten. Das Gerät konnte durch seine internen Sensoren seine eigene Position und Bewegung im Raum erkennen und die relative Position der Image Targets dementsprechend anpassen, sodass der Eindruck von flüssigem Tracking entstand. Bewegen sich die Objekte bzw. die Image Targets, bricht das Tracking ab oder wird fehlerhaft, was in Abbildung 2.5 veranschaulicht wird. Diese Effekte treten hauptsächlich durch die Option *Device Tracking* auf, die es dem Gerät erlaubt, die eigene Position zu tracken. Diese ist auf unterstützten Geräten standardmäßig aktiviert.

2. Grundlagen

Deaktiviert man diese Option, reduziert dies die, in Abbildung 2.5 beschriebenen Trackingfehler. Das Tracking der Image Targets bricht jedoch deutlich häufiger ab und wird unzuverlässiger.

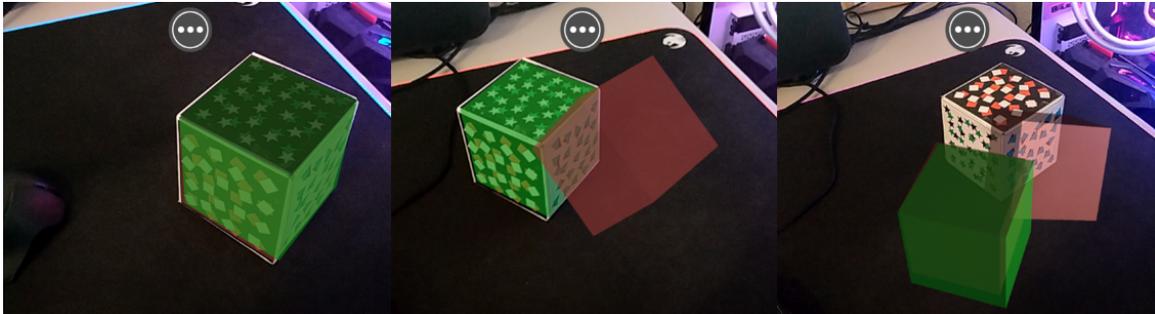


Abbildung 2.5.: Vuforia Image Target Test: Links: Die erkannten Image Targets werden korrekt mit dem virtuellen Gegenstück überlagert. Mitte: Der rote Indikator wird nach der Bewegung an einer veralteten Position angezeigt anstatt sich mit dem Würfel zu überlagern.

Rechts: Das Image Target des grünen Indikators ist nicht mehr sichtbar; der Indikator wird dennoch angezeigt. *Übernommen von [4]*

2.2.5. AprilTags

AprilTags sind Fiducial Marker, die mit Bilderkennung getrackt werden. Sie wurden von einem Team der Universität Michigan unter der Leitung von Edwin Olson [18] entwickelt. Für das Projekt wurden sie mit der Unity Implementierung des AprilTag Detektors von Keijiro [19] getestet. Diese ist in Abbildung 2.6 zu sehen. AprilTags gibt es in unterschiedlichen Variationen; die verwendete Implementierung unterstützt jedoch nur die Tags der häufig verwendeten „tagStandard41h12“ Familie. Diese bestehen aus einem schwarz-weißen 9 x 9 Pixel-Muster und können generiert oder aus einer vorgenerierten Sammlung heruntergeladen werden. Der Detektor der Test Anwendung lässt sich mit den Parametern *TagSize* und *Decimation* konfigurieren. Der *TagSize* Wert beschreibt die Größe der zu erfassenden AprilTags, gemessen an den Ecken des weißen inneren Quadrats in Metern. Dieser wird benötigt um die genaue Position des Tags berechnen zu können. Eine Erhöhung des *Decimation* Wertes erlaubt es, die Erkennungsgeschwindigkeit auf Kosten der Reichweite zu verbessern. Jedem Tag wird eine ID zugeordnet, die der Detektor aus dem Pixel-Muster herauslesen kann.

AprilTags können mit vergleichsweise geringer Rechenleistung getrackt werden und finden oft im Bereich der Robotik ihren Nutzen [20]. NASA entwickelte in einer Kooperation mit Microsoft das Projekt *Sidekick* in dem eine Hololens in einer schwerelosen Umgebung AprilTags erfasste um sich zu orientieren [21].

Im Test überzeugte der Detektor, indem er 10cm große Tags von einer Distanz von 3m noch zuverlässig erkennen konnte. Die Erkennung brach ab, sobald die Tags um mehr als 50° von der Kamera weg geneigt waren. Sollten die Tags kurzzeitig verdeckt werden, erholte sich das System ohne merkliche Verzögerung und nahm das Tracking sofort wieder auf.

2. Grundlagen

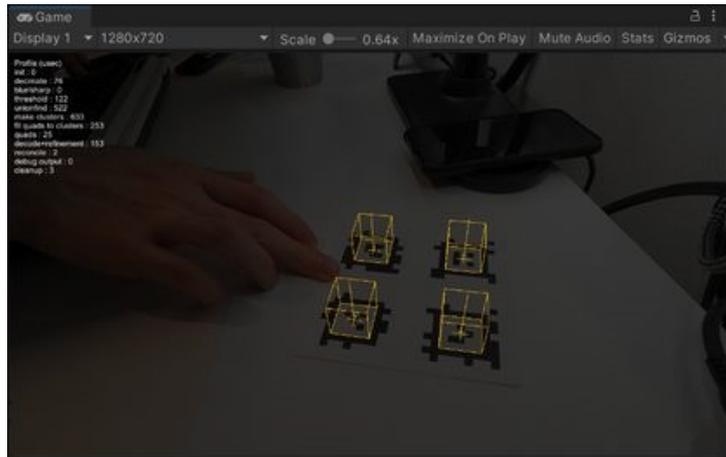


Abbildung 2.6.: Die Beispielanwendung von Keijiro's Unity Implementierung des AprilTag Detektors. Erkannte AprilTags werden mit einem gelben Gitter markiert. *Übernommen von [19]*

2.2.6. Übersicht

Die Tabelle 2.1 fasst die Ergebnisse der Technischen Erprobung der Trackingsysteme mit geringem Vorbereitungsaufwand zusammen. AprilTag übertraf ARKit und Vuforia Image Target in jeder geprüften Kategorie. Weil Vuforia zum Erstellen neuer Image Targets erfordert, diese vorher in eine Datenbank hochzuladen und die Unity Anwendung direkten Zugriff auf diese Datenbank erfordert, wurde der Aufbauaufwand als „Mittel“ eingestuft. Auch wenn ARKit durch markerloses Objekt-Tracking potenziell eine bessere Benutzererfahrung liefern könnte [22], war das Tracking zu instabil um es als Basis für SPOT auszuwählen.

	ARKit	Vuforia Image Target	AprilTag
Aufbauaufwand	Gering	Mittel	Gering
Effektive Reichweite	Bis zu 1,5m	Bis zu 1,5m mit 7cm Tracker	Bis zu 3m mit 7cm Tracker
Erkennungsgeschwindigkeit	Langsam	Mittel	Schnell
Erholung nach Verdeckung	Langsam	Langsam	Schnell

Tabelle 2.1.: Übersicht der Ergebnisse der Technischen Erprobung von ARKit, Vuforia Image Target und April-Tag

3. Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden verschiedene Arbeiten über MR Studienwerkzeuge und Probleme des 3D Tracking vorgestellt. Teile dieses Kapitels wurden bereits im Seminar [3] beschrieben und wurden an passenden Stellen überarbeitet und übertragen. In der ersten Arbeit wurden Anforderungen für Mixed Reality Studien erforscht und zusammengefasst. Die zweite Arbeit handelt von formunabhängigen Markern, die zum 3D Tracking verwendet werden können. Die dritte Arbeit beschreibt einen Kalibrierungsprozess für Head-Mounted Displays, die häufig in MR Studien zum Einsatz kommen.

3.1. Mixed Reality Analytics Toolkit (MRAT)

Um die Hindernisse von MR Studien zu untersuchen luden Nebeling et al. [2] acht Arbeitsgruppen an der University of Michigan ein. Diese sollten ihren Themenfeldern entsprechend MR Projekte konzipieren und die dafür relevanten Anforderungen bestimmen. Die Themenfelder waren Film, Visualisierung, Kriseninformatik, Zahnmedizin, Landschaftsgestaltung, Architektur, Medien und Pflege. Jedes Team wurde dazu gebeten, ein AR oder VR Projekt auszuwählen und wurde dann nach ihren Projekt-Zielen, Zielgruppen, Einsichten, die sie sich erhoffen, und Evaluationsmethoden befragt.

Die daraus resultierenden Anforderungen (Requirements) waren:

- (R1) Bedarf für Evaluationen, die über Usability Testing hinaus reichen
- (R2) Bedarf für quantitative und räumliche Datenerfassung
- (R3) Bedarf für das Tracking diverser Interaktionen
- (R4) Bedarf für flexible Aufgabendefinitionen
- (R5) Bedarf für Leistungskennzahlen

Diese bildeten die Grundlage für die Entwicklung des Mixed Reality Analytics Toolkit (MRAT) in Form eines Unity Packages mit Server zum Speichern der Sessions. Es unterstützt die Prozesse *Interaction Tracking*, *Task Definition* und *Session Inspection*. Letzteres erfolgt über den Server, auf den über ein Web-basiertes Dashboard zugegriffen werden kann. Sämtliche Prozesse können zum Großteil über visuelle Editoren in Unity und den von MRAT bereitgestellten Skripts, ohne zu programmieren konfiguriert werden. Abbildung 3.1 veranschaulicht den Funktionsumfang des Systems.

Für das *Interaction Tracking* lassen sich *Tracking Scopes* und *Tracking Data* definieren. *Tracking Scopes* lassen sich auf *per frame*, *per event* und *per interval* einstellen sodass komplexe Anwendungen mit vielen virtuellen Elementen nicht durch das Tracking überlastet werden und Performance einbüßen. Es ermöglicht auch die Einstellung von Tracking-Features für bestimmte Tasks, sodass zum Beispiel in einem Task auf *Voice Commands* (Sprachbefehle) geachtet wird, während diese bei anderen Tasks ignoriert werden. Objekte lassen sich als einzelne Instanzen oder als Sammlungen von Objekten des Typs (Zum Beispiel alle virtuellen Objekte oder alle physischen Objekte mit Markern) tracken. Als *Tracking Data* umfasst MRAT *User & App Status*, was Position, Rotation und Blickrichtung des Nutzers, sowie die Framerate und den Speicherbedarf der Anwendung enthält, *Tasks & Modes*, die die Zustände von Tasks und Modi der Anwendungen enthalten, *Gestures & Voice Commands*, *Virtual Objects*, *Object & Task Markers*, die jeweils das Tracken von physischen Objekten und die Zuordnung der Events zu den Tasks

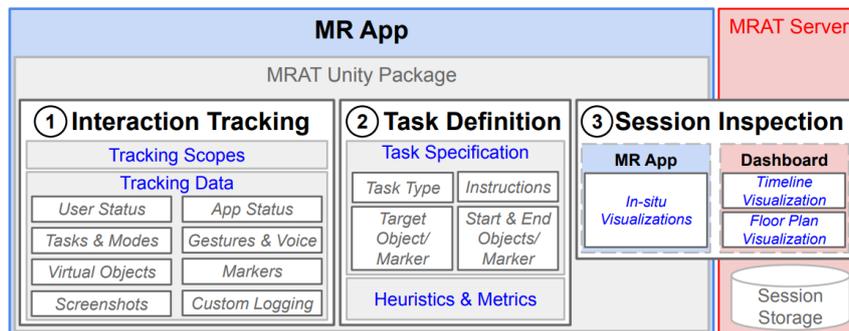


Abbildung 3.1.: MRATs Funktionsumfang: Die drei Hauptfunktionen *Interaction Tracking*, *Task Definition* und *Session Inspection* und die Komponenten aus denen diese bestehen. Die meisten Funktionen sind im Unity Package enthalten. Die *Session Inspection* kann sowohl als *In-situ* Visualisierung in der MR App, als auch über das Dashboard des Servers erfolgen. *Übernommen von [2]*

gewährleisten *Screenshots* und *Custom Logging*, was es ermöglicht, zusätzliche selbst definierte Events in selbst definierten Datenstrukturen zu loggen. Tasks beginnen, sobald ihr Taskmarker erfasst wurde und enden sobald ein neuer Taskmarker erfasst wird, das *Voice Command* „Task completed“ verwendet wird oder ein Moderator den Task über Unity beendet.

Im *Task Definition* Prozess können die *Task Specifications* eingestellt werden. Dabei kann der Typ, die Anweisungen, die dem Benutzer angezeigt werden sollen und ein Objekt oder Marker als Start- bzw. Endmarker eingestellt werden. MRAT enthält eine Sammlung an Heuristiken, die häufige und einfache Tasks wie *navigate* und *place* abstrahiert und deren Erfassung erleichtert. Es enthält auch bereits vordefinierte Metriken, um die erfolgreiche Ausführung eines Tasks zu erkennen.

Der *Session Inspection* Prozess ermöglicht den Einblick in die gesammelten Daten über das Web-basierte Dashboard und über eine MR *in-situ* Ansicht, in der die Events an exakt den Positionen dargestellt werden, an denen sie stattgefunden haben.

Zur Erprobung wurde *MRAT-Crisis* als Fallstudie durchgeführt. Dabei handelt es sich um eine MR Krisensimulation. Als Marker wurden Vuforia Image Targets verwendet. Diese wurden auch benutzt, um mittels AR virtuelle Verwundungen auf realen Körpern anzuzeigen. Abbildung 3.2 zeigt, wie die Marker auf T-Shirts verwendet wurden.

Die Auswertung hat ergeben, dass die Marker nicht durchgehend zuverlässig erfasst worden sind. Als mögliche Ursache wird die Verdeckung der Marker durch Objekte oder andere Teilnehmer genannt.

3.2. Seedmarkers: Embeddable Markers for Physical Objects

Getschmann und Echtler [23] stellen in ihrer Arbeit Seedmarker vor. Dabei handelt es sich um visuelle Marker, die abhängig von der Form des physischen Objekts generiert werden und dadurch an die Oberfläche des Objekts angepasst sind. Die Marker sollen unauffälliger und ästhetischer sein als konventionelle Marker. Für diese Arbeit wurde eine Online-Umfrage durchgeführt, in der die Teilnehmer Repräsentanten fünf verschiedener Marker-Typen in den Aspekten *obtrusive* (aufdringlich), *aesthetic* (ästhetisch) und *acceptable* (akzeptabel) auf einer zehnstufigen Likert-Skala bewerten sollten. Die Marker-Typen waren *Circle*, zu denen Cantags [24] gehören, *Matrix*,

3. Verwandte Arbeiten

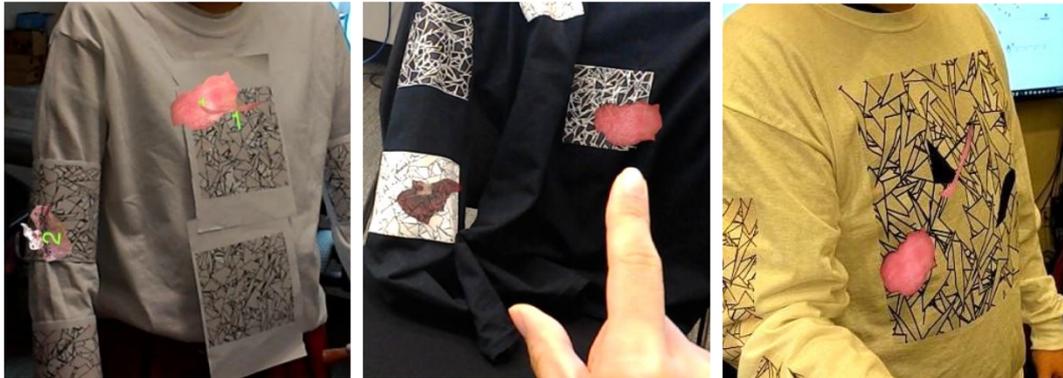


Abbildung 3.2.: Vuforia Image Targets in MRAT-Crisis Studie: (Links) auf Papier gedruckt und aufgeklebt und (Mitte und rechts) auf T-Shirts gebügelt. *Übernommen von [2]*

zu denen AprilTags [5] und ArUco Marker [25] gehören, *Organic*, zu denen die Marker von Nishino [26] gehören, *Point*, zu denen RuneTags [27] und Pi-Tags [28] gehören und *Color*, zu denen Chromatags [29] gehören. Die *Point* Marker stellten sich als am wenigsten aufdringlich heraus, während die *Circle* und *Organic* Marker als aufdringlicher aber auch als ästhetischer und akzeptabler wahrgenommen wurden. *Matrix* Marker wurden häufig mit QR-Codes verglichen oder verwechselt.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden Seedmarker designet. Die Ästhetik orientiert sich an natürlichen organischen Formen, die Herstellung erfolgt mit Hilfe einer DXF-Datei, die die Informationen über die Form des Objekts enthält und der Detektor sucht nach topologischen Bäumen in der Struktur des Markers. Mit den passenden DXF-Dateien lassen sich somit Marker für jede erdenkliche Oberfläche generieren. Abbildung 3.3 zeigt Beispiele von generierten Seedmarkern. Diese haben unterschiedliche Formen aber den gleichen topologischen Baum.

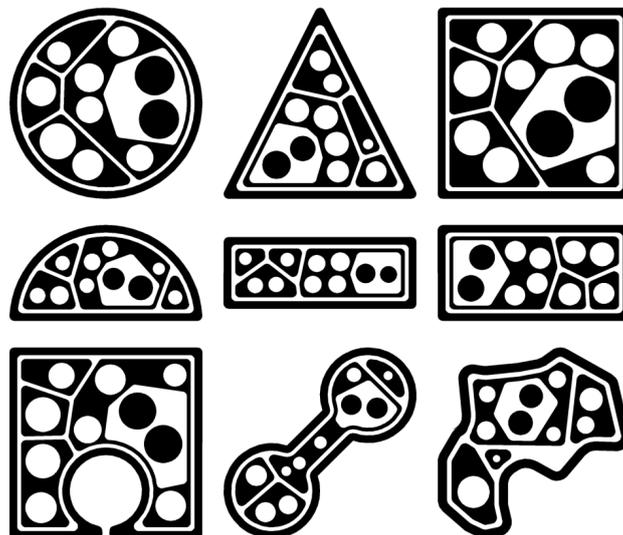


Abbildung 3.3.: Beispiele eines Seedmarkers in neun unterschiedlichen Formen. *Übernommen von [23]*

Die Seedmarker leiden jedoch unter mangelnder *error correction* (Fehlerkorrektur) sodass diese empfindlich gegen Verdeckungen und weniger robust als andere Marker-Designs sind. Ein weiterer Nachteil, der inhärent für

formunabhängige Marker ist, besteht darin, dass die Form des Markers bekannt sein muss, um eine 6-DoF Positionserkennung zu ermöglichen. Wenn das System die Form, und somit auch die Größe, nicht kennt, könnte es einen großen, weit entfernten Marker nicht von einem kleinen, sehr nahen Marker unterscheiden, da diese von der Perspektive der Kamera identisch aussehen können.

3.3. Alignment of the Virtual Scene to the Tracking Space of a Mixed Reality Head-Mounted Display

Azimi et al. [30] entwickelten ein Verfahren zur einfachen Kalibrierung von *optical see-through head-mounted Displays* (OST-HMDs), wie der Microsoft HoloLens [31]. Eine gute Kalibrierung ist für die meisten MR Anwendungen essenziell, besonders wenn physische Objekte beteiligt sind. Für gewöhnlich erfolgt der Aufbau einer MR Szene für ein HMD zunächst mit der Erfassung der physischen Objekte im Raum. Ihre 3D Positionen werden im *Tracking Space* Koordinatensystem angelegt, das vom HMD ausgelesen wird und das es dann mit den virtuellen Objekten im *Display Space* ergänzt. Ohne Kalibrierung für die Positionen der Augen des Nutzers sind der *Tracking Space*, welcher der realen Welt entspricht, und der *Display Space*, der die virtuellen Elemente enthält, versetzt voneinander, was in einer unrealistischen AR Erfahrung resultiert: Von der Perspektive des Benutzers aus befinden sich die auf dem HMD angezeigten Objekte an den falschen Positionen. Das Verfahren, das Azimi et al. [30] vorstellen, reduziert die Wiederholungsschritte der Kalibrierung beim Ausrichten eines realen 3D Objekts mit seinem virtuellen Abbild von 20 auf nur 4.

Das Verfahren folgt einem Blackbox Ansatz, sodass es unabhängig von den spezifischen Eigenschaften des HMD, wie Modell, Firmware, SDK und Verfügbarkeit von zusätzlichen Sensoren funktioniert, sofern Zugang zu den Daten des *Tracking Space* besteht und die generierte 3D Szene über das HMD für den Nutzer sichtbar ist. Die Methode wurde mit einem *Head-Anchored Tracking System* und einem *World-Anchored Tracking System* erprobt. Als OST-HMDs wurden die Microsoft HoloLens und das Moverio BT-300 [32] verwendet, die einen Würfel an Hand von angebrachten Fiducial Markern tracken. Zum *Head-Anchored Tracking* dienen die integrierten Kameras der HMDs als Tracker. Als *World-Anchored Tracking System* wurde fusionTrack500 [33] verwendet, das auf sehr ähnlichen Prinzipien basiert wie Optitrack. Die Positionen der HMDs wurde von ihren *Spatial Mapping Funktionen* selbst bestimmt. Für HMDs die nicht über Spatial Mapping verfügen, wäre eine alternative Trackingmethode nötig gewesen. Anstatt Fiducial Marker wurde der Würfel diesmal mit einem extra Rahmen bestückt, der mit reflektiven Kugeln versehen war, zu sehen in Abbildung 3.4.

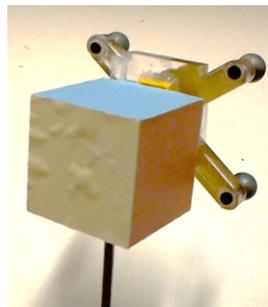


Abbildung 3.4.: Der mit Trackingkugeln präparierte Würfel wurde zur Kalibrierung eines HMD mit dem *World-Anchored Tracking System* fusionTrack500 verwendet. *Übernommen von [30]*

Der Kalibrierungsprozess an sich unterscheidet sich in den beiden Varianten nur in den Transformationsberechnungen, die in der Arbeit genauer beschrieben werden. Der Ablauf ist in den Abbildungen 3.5 zu sehen. Azimi et al. [30] implementierten zwei Varianten: Bei der ersten Variante wird der Benutzer dazu aufgefordert eine

3. Verwandte Arbeiten

Ecke des Würfels 20-mal an verschiedenen Abschnitten des Sichtfeldes so auszurichten, dass sie mit der Ecke des angezeigten virtuellen Modells übereinstimmt. Für die zweite Variante wird der Benutzer dazu aufgefordert fünf Ecken des Würfels gleichzeitig an die des angezeigten Würfels anzugleichen. Da so direkt fünf unterschiedliche Punkte abgestimmt werden, muss die zweite Variante nur vier Mal wiederholt werden, um ebenfalls die 20 Punkte der ersten Variante zu erreichen. Alle Varianten wurden experimentell erprobt und erzielten Genauigkeit bis auf 4mm mit einer Abweichung von durchschnittlich 4mm.

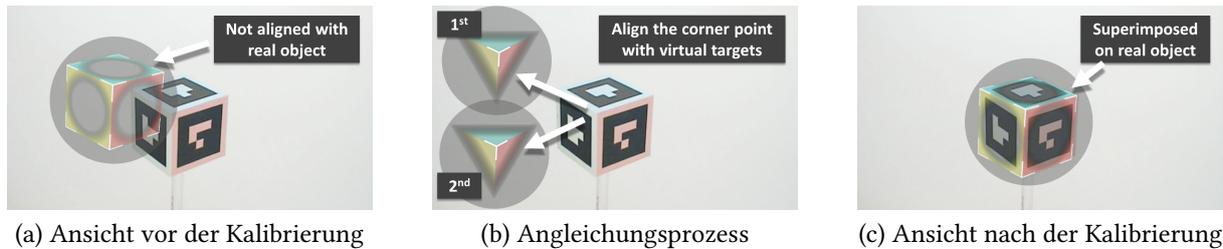


Abbildung 3.5.: Vereinfachter Kalibrierungsprozess von Azimi et al. *Übernommen von [30]*

4. Prototyp: SPOT

Der Prototyp „SPOT“ wurde auf Basis der Erkenntnisse der verwandten Arbeiten und der Untersuchung, sowie dem Vergleich verschiedener Trackingsysteme entwickelt. Das Ziel der Entwicklung war eine Anwendung, für das Tracken von physischen Objekten in MR Studien. Diese sollte möglichst einfach und schnell verwendet werden können, um so die Durchführung von MR Studien zu erleichtern. Dieses Kapitel beschreibt die verwendeten Technologien, das Konzept und die Funktionsweise des Systems. Der Design- und Entwicklungsprozess wurde im Bachelor Projektbericht [4] ausführlich beschrieben. In diesem Kapitel wurden Teile von diesem überarbeitet und übertragen.

4.1. Verwendete Technologien

Nach der theoretischen Recherche im Seminar [3] war ARKit [12] das attraktivste System als Basis für eine Anwendung für einfaches und flexibles Tracking. Nach der Erprobung zum Anfang des Bachelor Projekts [4] wurden jedoch die Nachteile von ARKit ersichtlich (beschrieben in Abschnitt 2.2.3) und überwiegen die Vorteile die ARKit durch markerloses Tracking zu bieten hatte. Deswegen musste auf Markerbasierte Systeme zurückgegriffen werden, von denen AprilTags [5], auf Grund der überzeugenden Leistung im Praxistest des Projekts, ausgewählt wurden. Zudem sind AprilTag Marker günstiger, leichter und haben eine einfachere Form als Optitrack und Vive Tracker. Die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Seedmarker [23] benötigen die exakte Form des Markers, während für AprilTags lediglich die Größe der Marker genügt, um 6-DoF Tracking zu ermöglichen.

Als Entwicklungsumgebung wurde die Videospiele Engine Unity3D [34] zusammen mit C# als Programmiersprache gewählt. Als AprilTag Detektor wurde die Unity Implementierung von Keijiro [19] verwendet. Die Benutzeroberfläche wurde zum Teil mit dem neuen Unity UI Elements UI Builder und zum Teil mit den herkömmlichen Unity UI Werkzeugen aufgebaut.

4.2. Konzept

SPOT ist als Android Applikation nicht an spezielle Hardware gebunden.

Als Hardware sind lediglich ein Smartphone mit Android Version 9 oder höher, die verwendeten AprilTag Marker der „tagStandard41h12“ Familie und eine Möglichkeit das Smartphone zu fixieren, zum Beispiel mit Hilfe eines Stativs, nötig.

Während dem Design- und Implementierungsprozess durchlief das Konzept von „SPOT“ mehrere Iterationen. Im ersten Konzept war es vorgesehen, zwei Geräte mit Kameras vorzusetzen und diese im ersten Schritt zu kalibrieren. Der Prozess sollte von einem Wizard begleitet werden. Das Schema ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Tracking Targets stellen die physischen Objekte dar, die die Anwendung erkennen kann.

4. Prototyp: SPOT

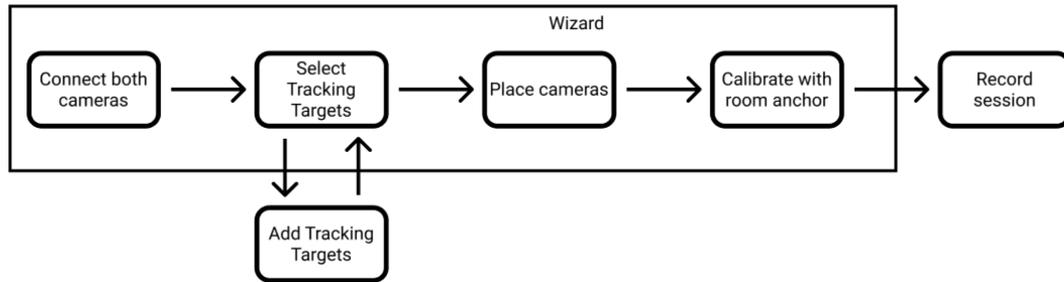


Abbildung 4.1.: Das erste Konzept: Ursprünglich sollte die Vorbereitung für das Tracking aus vier bis fünf Schritten bestehen und von einem Wizard begleitet werden. In diesem Wizard sollte die Verknüpfung sowie Kalibrierung einer zusätzlichen Kamera enthalten sein. Der Ablauf war linear und es konnte nur ein einzelner Schritt übersprungen werden. (Verworfen) Übernommen aus [4]

In einer späteren Iteration wurde eine Projektauswahl hinzugefügt, sodass Projekte als Presets fungieren und Einstellungen aus vorangegangenen Sitzungen übernommen werden können. Für die einzelnen Einstellungen war weiterhin ein Wizard vorgesehen, dieser ließ sich in dieser Zwischenversion aber nach der Projektauswahl in einem Zwischenschritt überspringen, was einen Schnellstart ermöglichen sollte. Das Schema dieses Konzepts ist in Abbildung 4.2 veranschaulicht.

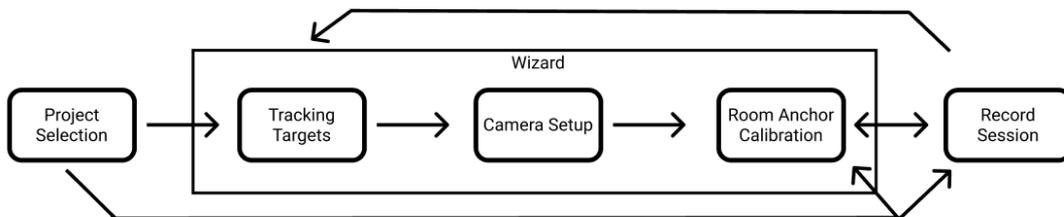


Abbildung 4.2.: Das zweite Konzept: Über die Projekt Auswahl soll der Wizard übersprungen werden können, sodass eine Studie schneller fortgeführt werden kann. Auf einige Funktionen, wie der *Room Anchor Calibration* sollte flexibel zugegriffen werden können, um unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten zu unterstützen. (Verworfen) Übernommen aus [4]

In der aktuellen Variante wurde der Wizard schließlich vollständig entfernt. Es stellte sich heraus, dass einige Schritte nicht voneinander abhängig sind und oft nur ein einzelner Schritt des Wizards benötigt wurde, sodass ein direkter Zugang zu diesen Funktionen die Anzahl der benötigten Aktionen reduziert. Aktionen die aufeinander aufbauen erfolgen dennoch automatisch in Sequenz: Beim Erstellen eines neuen Projekts gelangt man direkt zur Target Auswahl, da diese in jedem Fall für ein neues Projekt eingestellt werden müssen. Das Schema ist in Abbildung 4.3 zu sehen.

In der Target Auswahl können die Tracking Targets erstellt und ausgewählt werden. Damit diese erkannt werden können, müssen sie zunächst mit Markern präpariert und innerhalb der Anwendung kalibriert werden. Jeder Seite des Objekts (vorne, hinten, links, rechts, oben und unten) wird höchstens ein Marker zugewiesen. Nachdem diese angebracht wurden, können diese dem Tracking Target in der App zugewiesen werden. Im Kalibrierungsprozess wechselt die App zum Kamerabild. Dabei wird der Nutzer angeleitet und erhält eine Anweisung auf dem Bildschirm, welche Seite als nächstes ausgewählt werden soll. Marker, die erkannt werden, werden auf dem Bildschirm mit Indikatoren überlagert, deren Farben signalisieren, ob diese Marker bereits ausgewählt wurden oder

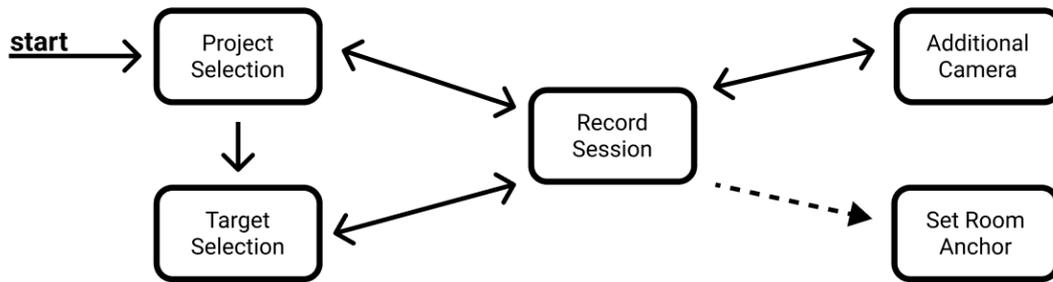


Abbildung 4.3.: Das finale Konzept: Die Aufnahme steht im Zentrum, alle Funktionen lassen sich schnell von dort erreichen. Die App startet in die Projektauswahl, von der man beim Fortführen eines existierenden Projekts direkt zur Aufnahme gelangt. Bei der Erstellung eines neuen Projekts gelangt man zur Target Auswahl, da eine Aufnahme ohne Targets zwecklos wäre. Übernommen aus [4]

noch verfügbar sind. Über ein Tippen auf den Indikator wird der dazu gehörige Marker für die aktuell abgefragte Seite ausgewählt.

Für ein Projekt können beliebig viele Tracking Targets ausgewählt werden. In der Aufnahme-Szene wird ebenfalls das Kamerabild verwendet und die Marker der ausgewählten Tracking Targets werden mit farblich hervorgehobenen Indikatoren präsentiert, sobald diese im Bild sind und erfasst werden. Während der Aufnahme werden nur die Trackingdaten der derzeit ausgewählten Tracking Targets aufgezeichnet.

Damit die erfassten Positionsdaten mit dem Koordinatensystem eines parallel verwendeten Trackingsystems synchronisiert werden können, wurde eine „Ankerpunkt“ Funktion hinzugefügt. Es handelt sich um einen Marker dessen Position gespeichert wird, sodass dieser anschließend mit einem Referenz-Tracker eines anderen Systems überdeckt werden kann. Die Trackingdaten müssen so nur relativ zu dieser Position angeglichen werden. Eine ähnliche Methode kam in Stream [10] zum Synchronisieren einer Hololens [31] mit dem Vive System zum Einsatz. Das Konzept ist in Abbildung 4.4 veranschaulicht.

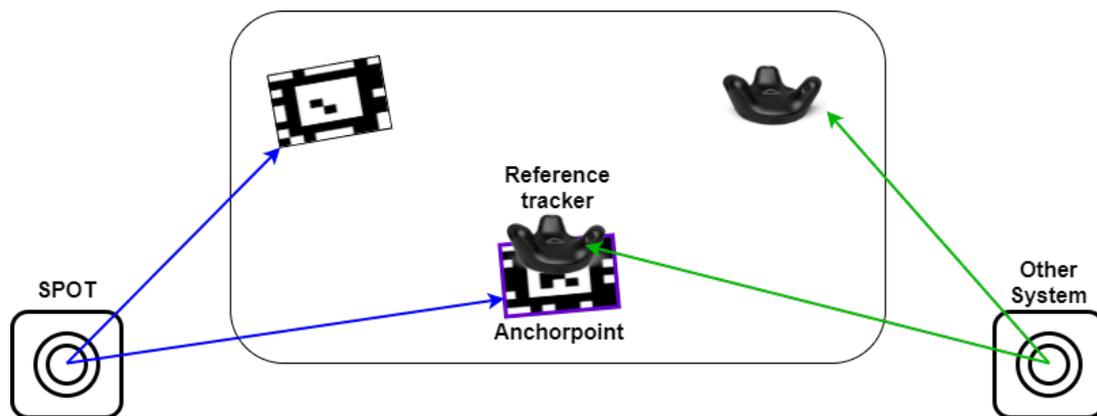


Abbildung 4.4.: Die Funktionsweise des Ankerpunkts: Beide Systeme tracken den Ankerpunkt (Anchorpoint), sodass die übrigen Objekte um diesen herum synchronisiert werden können. In diesem Beispiel wird ein Vive Tracker zur Synchronisation mit dem Koordinatensystem von SteamVR verwendet.

4. Prototyp: SPOT

Die gesammelten Daten werden in einer einheitlichen Struktur gespeichert, sodass diese ohne großen Aufwand zur Auswertung in eine Datenbank eingelesen werden können. Dafür wurde das HCI Dateiformat, das von der HCI AG der Universität Konstanz entwickelt wird, verwendet.

4.3. Umsetzung

Beim Start der Anwendung wird der Nutzer von der Projektauswahl begrüßt (zu sehen in Abbildung 4.5), in der ein neues Projekt erstellt oder ein bestehendes Projekt fortgeführt werden kann. Projekte müssen unterschiedlich benannt werden, da die Datei mit den Trackingdaten den Namen des Projekts trägt.

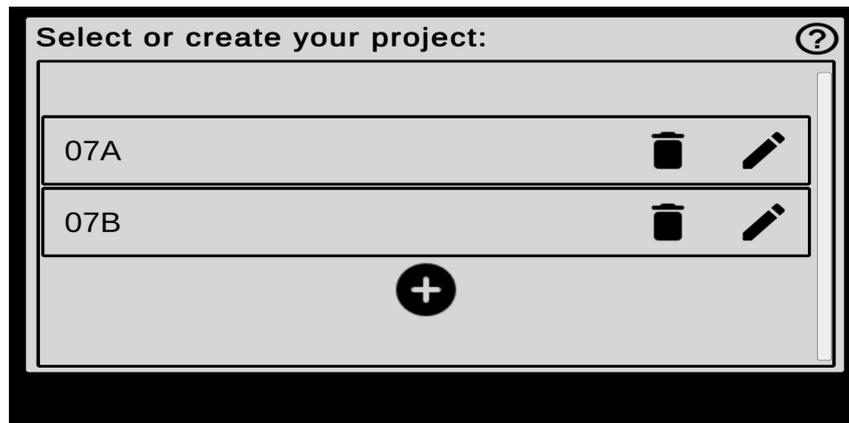


Abbildung 4.5.: Die App startet mit der Projektauswahl, die alle erstellten Projekte in einer erweiterbaren Liste anzeigt. Mit dem Plus-Button am unteren Ende der Liste, lässt sich ein neues Projekt erstellen.

Wählt man ein bestehendes Projekt zum Fortsetzen aus, gelangt man zur Aufnahme-Szene und kann dort direkt eine neue Session aufnehmen. Erstellt man hingegen ein neues Projekt, gelangt man zunächst zur Target Auswahl, zu sehen in Abbildung 4.6. Dort werden die Tracking Targets gelistet, die bereits kalibriert wurden und können für das Projekt zum Tracken ausgewählt werden. Die Kacheln ausgewählter Targets sind grün hervorgehoben. Ein erneuter Klick hebt die Auswahl wieder auf. Jedes Tracking Target trägt einen einzigartigen Namen und verfügt über einen Tagsize Wert. Die Tagsize ist die Seitenlänge eines Markers und muss zwischen allen ausgewählten Targets eines Projekts identisch sein. Das System verwendet diesen Wert zur 3D Positionsbestimmung und kann nicht mehr als eine Größe gleichzeitig erkennen. Eine falsche Auswahl verhindert das System jedoch selbst und zeigt einen Hinweis diesbezüglich an. Möchte man ein neues Tracking Target hinzufügen, ist dies über den Knopf am unteren Ende der Liste möglich. Die Auswahl eines doppelten Namen oder einer inkompatiblen Tagsize wird hier ebenfalls vom System verhindert, worauf der Nutzer über eine Benachrichtigung am unteren Bildschirmrand, wie in Abbildung 4.7 hingewiesen wird.

Nach Auswahl des Namens und der Tagsize gelangt man zum Kalibrierungsprozess. In diesem werden den sechs Seiten des Targets je bis zu ein Marker zugewiesen. Die Anweisungen werden am oberen Rand angezeigt und von einer 3D Visualisierung am linken Rand unterstützt. Die Anweisungen geben an, welche Seite als nächstes ausgewählt werden soll. Die Auswahl erfolgt über einen Klick auf den Indikator in der AR Szene. Die Indikatoren zeigen die ID des zugehörigen AprilTags in ihrer Mitte an. Einer der Schritte ist in Abbildung 4.8 zu sehen.

In der ursprünglichen Version von SPOT war die Reihenfolge der Auswahl der Seiten wie Folgt: *Front, Top, Right, Back, Bottom, Left*. In den internen Tests wurde jedoch schnell ersichtlich, dass diese Abfolge nicht intuitiv ist und schnell Verwirrung um die ursprüngliche Orientierung des Objekts erzeugen konnte. In der präsentierten Version von SPOT wurde diese Reihenfolge zu *Front, Right, Back, Left, Top, Bottom* geändert, sodass das Objekt zunächst um die vertikale Achse herum und anschließend an der Ober- und Unterseite kalibriert wird. Diese Änderung zeigte bereits in internen Tests eine erhebliche Erleichterung der Bedienung.

Es ist auch möglich einzelne Seiten zu überspringen und so Tracking Targets mit weniger als sechs Markern zu kalibrieren. Dies ist für Objekte gedacht, deren Formen es erschweren, sechs Marker an sechs Seiten anzubringen,

4. Prototyp: SPOT

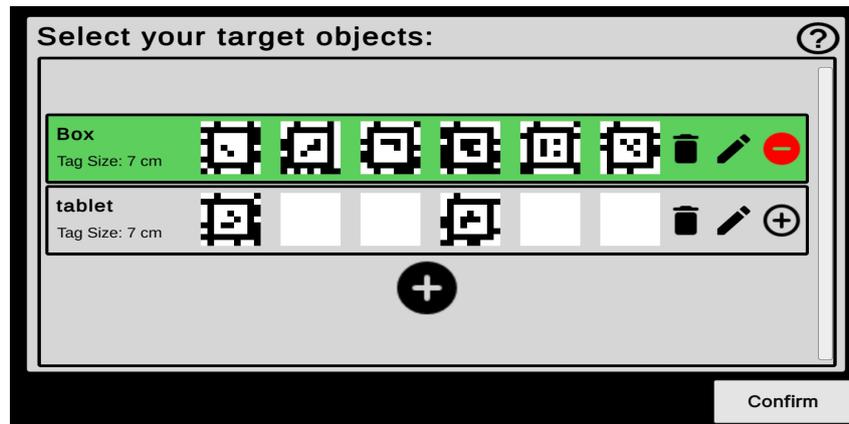


Abbildung 4.6.: In der Target Auswahl sieht man alle kalibrierten Tracking Targets mit ihren Markern in einer erweiterbaren Liste. Aktuell ausgewählte Targets werden grün markiert.

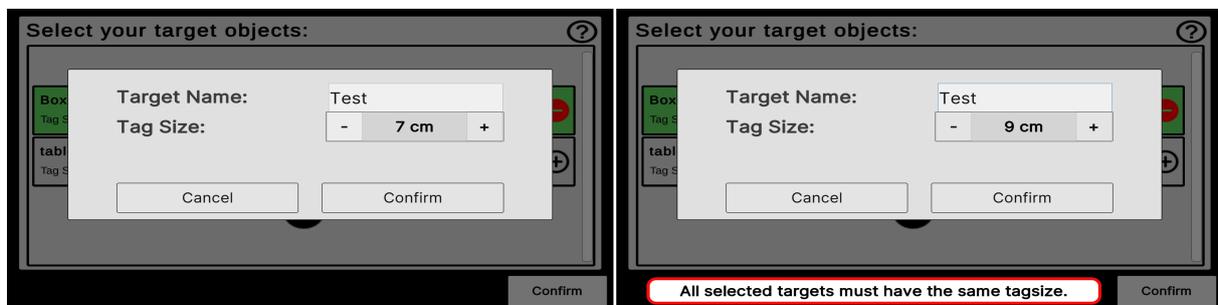


Abbildung 4.7.: (Links) Tracking Targets benötigen einen einzigartigen Namen und eine Tagsize, die der Tagsize der bereits ausgewählten Targets entspricht. (Rechts) Bei einer fehlerhaften Einstellung wird ein Hinweis eingeblendet.

wie zum Beispiel für das Tablet in Abbildung 4.9, deren Seiten zu schmal sind um Marker daran zu befestigen. Ein „Back“-Button ermöglicht es, die letzte Auswahl rückgängig zu machen um Fehler korrigieren zu können. Nach der Kalibrierung aller Seiten erfolgt eine letzte Bestätigung. Daraufhin kehrt man zur Target Auswahl zurück und das neu erstellte Tracking Target erscheint am unteren Ende der Liste und ist bereits ausgewählt. Über den „Confirm“-Button unten rechts kann man die Auswahl der Tracking Targets bestätigen und gelangt zur Aufnahme-Szene.

Die Aufnahme-Szene (zu sehen in Abbildung 4.10) ist ebenfalls eine AR Umgebung in der erkannte Marker mit Indikatoren überlagert werden. Diese sind nicht interaktiv und dienen lediglich als visuelles Feedback und als Möglichkeit zu prüfen, ob die richtigen Tracking Targets ausgewählt sind: Indikatoren der Marker von ausgewählten Tracking Targets sind grün, während Marker von nicht ausgewählten Tracking Targets in Gelb angezeigt werden. Links werden Informationen der aktuellen Aufnahme angezeigt. Darunter ist der Projektname, die Nummer der Aufnahmesession und die Dauer der Aufnahme. Beim Start der Aufnahme durch betätigen des „Start Session“ Button am rechten Rand, erscheint ein roter „Recording“ Indikator am oberen Rand (zu sehen auf der rechten Seite von Abbildung 4.10) und die Positionen der erkannten Marker werden jede Sekunde gespeichert, bis die Session durch einen Klick auf den „End Session“ Button beendet wird. Das Trackingintervall wurde willkürlich auf eine Sekunde eingestellt, lässt sich aber ohne merkliche Performanceeinbuße reduzieren. Zur Projektauswahl gelangt man über das „Exit“-Icon in der oberen linken Ecke. Zur Target Auswahl gelangt man über das „QR-Code“-Icon links von der Mitte am oberen Rand. Das Kamera-Symbol oben in der Mitte ist

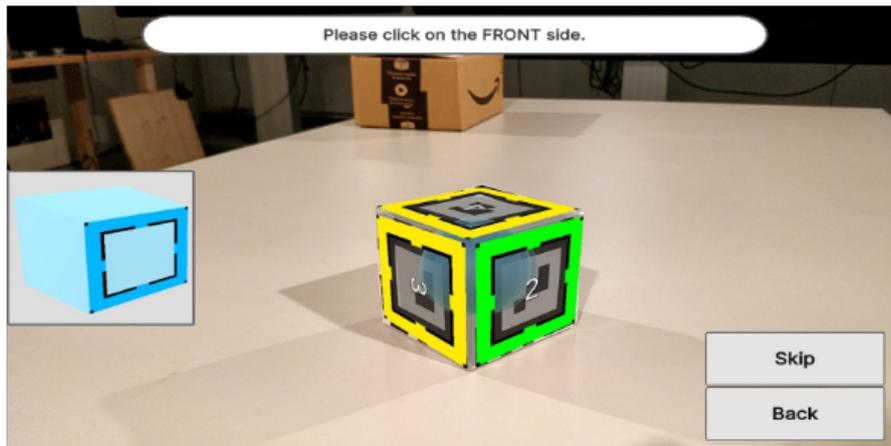


Abbildung 4.8.: Ein Würfel aus Markern im Kalibrierungsprozess. Der Prozess behandelt alle sechs Seiten des Objekts. Jeder Seite kann ein Marker zugewiesen werden. Die Auswahl der Marker erfolgt über einen Klick auf die gelben Indikatoren. Grüne Indikatoren zeigen bereits kalibrierte Marker an.



Abbildung 4.9.: Ein Tablet, das mit Markern zum Tracking Target gemacht wurde. Außer der Vorder- und Rückseite sind die Seiten zu schmal um Marker daran anzubringen. *Übernommen aus [4]*

ein Platzhalter für eine nicht implementierte, geplante Funktion, die es erlaubt, mehrere Kameras zum Tracken zu verwenden.

Das Ankersymbol rechts der Mitte am oberen Rand wird zum Setzen des Ankerpunkts verwendet. Zum Setzen des Ankerpunkts sollte das Gerät bereits an einem Stativ fixiert sein und nicht mehr bewegt werden. Das AprilTag mit der ID 0 (violetter Indikator) dient als Marker für den Ankerpunkt. Dieser hat, unabhängig von den anderen verwendeten Markern, eine Größe von 10cm. Wenn dieses erfasst wird und das Anker-Symbol geklickt wird, wird dessen Position gespeichert und der Ankerpunkt gesetzt. Wird ein Ankerpunkt gesetzt, wird das Anker-Symbol violett gefärbt und eine Bestätigungsnachricht wird angezeigt (zu sehen in Abbildung 4.11). Nach dem Setzen des Ankerpunkts, wird der Marker nicht mehr benötigt und kann auch überdeckt werden. Zum Entfernen des Ankerpunkts betätigt man das Anker-Symbol erneut, wenn das AprilTag 0 nicht im Kamerabild zu sehen ist.

Die ausgewählten Tracking Targets, aufgenommenen Sessions und Ankerpunkte werden für jedes Projekt einzeln gespeichert. Tracking Targets werden allerdings in einer gemeinsamen Sammlung gelistet, sodass es nicht nötig

4. Prototyp: SPOT

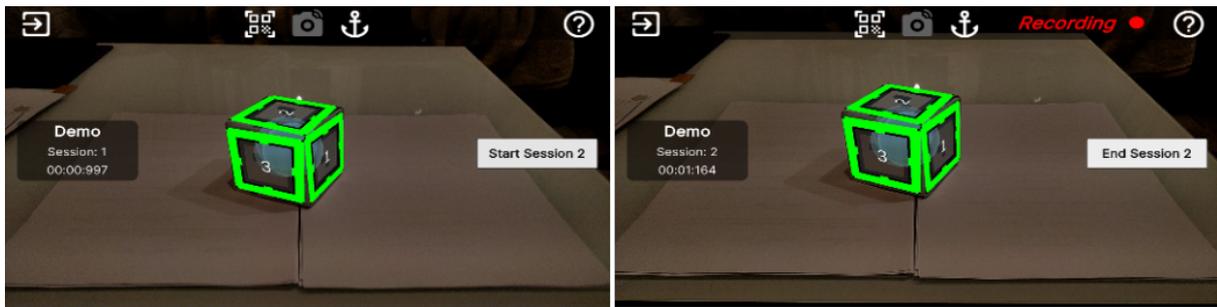


Abbildung 4.10.: Links: Die Aufnahme-Szene mit einem ausgewählten Tracking Target im Sichtfeld (ohne laufende Aufnahme). Rechts: Eine laufende Aufnahme wird mit einem Indikator am oberen Bildschirmrand signalisiert.



Abbildung 4.11.: Der Ankerpunkt Marker mit der ID 0 hat einen violetten Indikator um ihn unterscheiden zu können. Beim setzen, verschieben und entfernen des Ankerpunkts erhält der Nutzer Feedback in Form einer Benachrichtigung auf dem Bildschirm. *Übernommen von [4]*

ist, ein bereits kalibriertes Tracking Target für ein anderes Projekt erneut zu kalibrieren und diese lediglich aus der Liste ausgewählt werden müssen.

In der Projektauswahl, der Target Auswahl und der Aufnahme-Szene kann der Nutzer über den Fragezeichen-Button in der oberen-rechten Ecke ein Hilfenfenster öffnen, in dem Begriffe wie „Tracking Target“ und „Anchor-Point“ erklärt werden.

Die Möglichkeit, eine zusätzliche Kamera anzubinden wurde geplant, jedoch nicht in dieser Version von SPOT umgesetzt. Die aktuelle Version unterstützt nur die Verwendung einer einzelnen Kamera: Der Hauptkamera des Smartphones.

5. Evaluation

Dieses Kapitel präsentiert das Studiendesign und die Ergebnisse der Expertenstudie zur Usability von SPOT sowie dem dahinter liegenden Konzept.

5.1. Gegenstand der Untersuchung

Diese Arbeit untersucht SPOT sowie das zugrundeliegende Konzept auf dessen Tauglichkeit für Studien und inwiefern es das Tracking in Studien erleichtert.

Der Forschungsschwerpunkt ist Usability:

- Wie kommen die Nutzer mit der Handhabung von SPOT zurecht?
- Für welche Anwendungsfälle ist SPOT geeignet?
- In welcher Hinsicht erleichtert SPOT die Durchführung von Studien?
- Welche Vor- und Nachteile hat SPOT im Vergleich mit anderen Trackingsystemen?
- Wie lässt sich die Handhabung von SPOT angenehmer gestalten?

5.2. Studiendesign

Zur Evaluation des Konzepts wurde eine Usability-Studie mit SPOT durchgeführt. Dabei sollte untersucht werden, wie benutzerfreundlich das System ist und wie gut es seinen Zweck, einfaches Tracking von physischen Objekten zu ermöglichen, erfüllt. In diesem Abschnitt wird der Aufbau der Studie beschrieben, wer daran teilgenommen hat und wie diese durchgeführt wurde.

5.2.1. Aufgaben

Die Teilnehmer schlüpfen in der Studie in die Rolle eines Studienleiters, der SPOT verwenden möchte um eine Box und ein Tablet für seine Studie zu tracken. Sie erhielten kurz vor Beginn der Aufgaben eine Präsentation zur Erklärung der Grundfunktionen der App. Diese enthielt alle nötigen Informationen, um die Aufgaben durchführen zu können. Die Teilnehmer erhielten die nächsten Aufgaben erst nach Abschluss der vorherigen.

Die Teilnehmer erhielten folgende Aufgaben:

Aufgabe 1 Für Ihre Studie möchten Sie die Position einer Box verfolgen und aufzeichnen.

Erstellen Sie ein neues Projekt in SPOT mit dem Namen *01A* und fügen Sie die Box als Target Object hinzu. Dafür müssen Sie je einen Marker an jede der sechs Seiten der Box anbringen.

Aufgabe 2 Zusätzlich zur Box möchten Sie für Ihre Studie auch ein Tablet tracken.

Fügen Sie das Tablet der Liste von Target Objects hinzu. Dafür müssen Sie Marker an das Tablet anbringen. Hinweis: Bei flachen Objekten können auch weniger als sechs Marker verwendet werden.

Aufgabe 3 Nun möchten Sie mit der Durchführung der Studie und ihrer Aufzeichnung beginnen.

Fixieren Sie das Smartphone auf dem Stativ und richten Sie es so aus, dass der Tisch in der Mitte des Raums sowie etwas Raum um diesen herum von der Kamera erfasst wird (etwa 3m x 3m). Starten Sie nun die Studie und zeichnen dafür zwei Sessions auf. Die Rolle des Studienteilnehmers wird von Ihrem Studienleiter übernommen. Dabei wird dieser die Objekte bewegen und Ihnen das Ende der jeweiligen Session mitteilen. Währenddessen können Sie die Tracking-Performance auf dem Smartphone Display beobachten.

Aufgabe 4 Ihre erste Studie ist abgeschlossen. Sie möchten eine zweite Studie durchführen, bei der zusätzlich ein Vive Tracker System verwendet wird. Damit die Koordinatensysteme der Trackingsysteme synchronisiert werden können, verwenden Sie einen Ankerpunkt (Anchorpoint).

Erstellen Sie ein neues Projekt mit dem Namen *01B* und wählen Sie die Box und das Tablet als Targets aus. Platzieren Sie den Ankerpunkt Marker (Lila/violetter Rahmen) an eine von der Kamera gut sichtbare Position und kalibrieren sie diesen mit der App. Platzieren Sie anschließend den Vive Tracker auf den Ankerpunkt. Der Vive Tracker dient als Referenz Tracker für das Vive Tracking System.

Zeichnen Sie (wie in **Aufgabe 3**) zwei Sessions auf.

5.2.2. Teilnehmer

Die Studie wurde mit sechs wissenschaftlichen Mitarbeitern und Hilfskräften der HCI Arbeitsgruppe der Universität Konstanz durchgeführt. Die Hauptzielgruppe des Systems stellt Experten dar, die MR Studien vorbereiten und durchführen; dementsprechend wurde explizit nach Teilnehmern mit Vorerfahrungen auf diesem Gebiet gesucht. Die Teilnehmer waren zwischen 25 und 35 Jahre alt und alle männlich. Bei vier Teilnehmern handelte es sich um Doktoranden, die übrigen zwei waren Hilfskräfte im Masterstudium. Nur ein Teilnehmer (T3) war Linkshänder, alle anderen waren Rechtshänder. Ein Teilnehmer (T5) hatte eine Farbsehschwäche in Form einer Rot-Grün-Schwäche, alle anderen Teilnehmer gaben keine Farbsehschwäche an. Alle Teilnehmer hatten Erfahrung im Umgang mit Smartphones und schätzten ihren Kenntnisgrad mittels einer fünf-stufigen Likert-Skala ein (1 (Unerfahren) - 5 (Sehr erfahren)) ($M = 4.67, SD = 0.82$). Ein Teilnehmer (T6) hatte keine Erfahrung im Umgang mit Tablets, die übrigen Teilnehmer schätzten ihren Kenntnisgrad ebenfalls auf einer fünf-stufigen Likert-Skala ein (1 (Unerfahren) - 5 (Sehr erfahren)) ($M = 4.8, SD = 0.45$). Alle Teilnehmer hatten Erfahrung mit MR Anwendungen und wurden nach ihrem Kenntnisgrad auf einer fünf-stufigen Likert-Skala gefragt (1 (Unerfahren) - 5 (Sehr erfahren)) ($M = 4.17, SD = 0.75$), sowie die MR Anwendungen zu benennen (Forschungsprototypen ($n = 3$), Unity ($n = 2$), Beat Saber ($n = 2$), Hololens ($n = 1$), Varjo ($n = 1$)). Alle Teilnehmer hatten ebenfalls Erfahrungen mit Trackingsystemen und sollten ihren Kenntnisgrad auf einer fünf-stufigen Likert-Skala bewerten (1 (Unerfahren) - 5 (Sehr erfahren)) ($M = 3.67, SD = 1.03$) und die Trackingsysteme benennen (Vuforia ($n = 4$), SteamVR ($n = 4$), Optitrack ($n = 3$), Kinect ($n = 1$), ARKit & ARCore ($n = 1$), Leap Motion ($n = 1$), Sonstige Marker ($n = 1$)). Alle Teilnehmer hatten Erfahrung mit der Durchführung von MR Studien und schätzten ihre Kenntnis auf einer fünf-stufigen Likert-Skala ein (1 (Unerfahren) - 5 (Sehr erfahren)) ($M = 4, SD = 0.89$).

5.2.3. Ablauf

Jeder Teilnehmer erhielt nach Betreten des Mediarooms, in dem die Studie durchgeführt wurde, eine kurze Einweisung in die Gefährdungsbeurteilung zum Infektionsschutz und einen Begrüßungsbrief, in dem die Rahmenbedingungen und der Gegenstand der Studie zusammengefasst wurden. Nach dem Unterschreiben der Einverständniserklärung wurden die Teilnehmer gebeten einen demografischen Fragebogen auszufüllen. Die Teilnehmer wurden gebeten, die „Thinking out loud“ Technik zu verwenden, was bedeutet, dass sie während der Durchführung der Aufgaben ihre Gedanken und Intentionen laut aussprechen sollen. Da alle Teilnehmer mit dieser Technik vertraut waren, war eine genauere Einweisung nicht von Nöten. Anschließend erfolgte eine kurze Einweisung in die Funktionsweise der App in Form einer Bildschirmpräsentation. Wenn zu diesem Zeitpunkt keine Fragen offen waren, erhielten die Teilnehmer das Papier mit den Anweisungen für die erste Aufgabe. Nach dem Abschluss jeder Aufgabe, erhielten die Teilnehmer die nächste. Nach Abschluss der letzten Aufgabe wurden die Teilnehmer gebeten den Fragebogen zur System-Gebrauchstauglichkeit (SUS) auszufüllen. Schließlich erfolgte noch ein Interview mit den Teilnehmern. Ein Durchgang der Studie dauerte bis zu einer Stunde. Der Studienablauf wurde vorab in einer Pilotstudie getestet und optimiert.

5.2.4. Aufbau



Abbildung 5.1.: An diesem Tisch wurden die Aufgaben drei und vier durchgeführt. Das Stativ ist bereits in einer geeigneten Position bereitgestellt.

Die Studie wurde im Mediaroom der HCI Arbeitsgruppe der Universität Konstanz durchgeführt. Im Eingangsbereich wurde ein Tisch und eine Sitzgelegenheit für die Teilnehmer bereitgestellt. Dort erfolgten die Begrüßung, die Gefährdungsbeurteilung zum Infektionsschutz, die Einverständniserklärung, das Ausfüllen des demografischen Fragebogens, die Präsentation der Anwendung, das Ausfüllen des SUS Fragebogens und das Interview. Ein Teil dieses Tisches ist am linken Rand von Abbildung 5.1 zu erkennen. Auf diesem Tisch waren auch die AprilTags, das Smartphone mit SPOT sowie die Box und das Tablet zu finden. Das Tablet erhielt zudem eine seitlich angebrachte Fläche aus Pappe, die das Anbringen eines Tags erleichtern soll. Abbildung 5.2 zeigt die Box

und das Tablet mit angebrachten Markern, sowie das Stativ mit dem Smartphone. Es standen zwei Sets mit je 13 AprilTags in den Größen 7cm und 9cm zur Verfügung. Ihre Größe und ID war auf den Rückseiten notiert. Um diese an die Objekte anbringen zu können, waren alle Tags bereits mit wiederverwendbarer Poster-Klebmasse versehen. In der Mitte des Raums wurden ein Tisch und ein Stativ bereitgestellt. Die Teilnehmer erhielten keine Vorgabe, wo die Aufgaben eins und zwei durchgeführt werden sollen. Die Durchführung der Aufgaben drei und vier sollte am Tisch in der Mitte erfolgen. Abbildung 5.1 zeigt das Stativ für das Smartphone neben dem Tisch in der Mitte des Raums in einer geeigneten Position für die Aufgaben drei und vier. Beim Smartphone handelte es sich um ein Oneplus 5t mit einem 6 Zoll Full HD (1920 x 1080 Pixel) Display und beim Tablet um ein iPad Pro (260 x 190 x 15mm mit Schutzhülle). Das Smartphone verfügte über genug Rechenleistung, damit die App mit einem „Decimation“ Wert von 2 flüssig funktioniert. Der Studienleiter nahm gegenüber dem Teilnehmer Platz und verwendete einen Laptop und einen zusätzlichen 23 Zoll Monitor für die Präsentation zur Funktionsweise der App. Die Audioaufnahmen wurden am Laptop durchgeführt.



Abbildung 5.2.: In den Aufgaben eins und zwei werden die Box (links) und das Tablet (Mitte) mit Markern versehen und kalibriert. In den Aufgaben drei und vier wird das Smartphone an einem Stativ fixiert (rechts).

5.3. Datenerhebung und Auswertung

Um die Usability von „SPOT“ zu untersuchen wurden unterschiedliche Methoden zur Erhebung von Daten verwendet. Neben Fragebögen wurden auch Interviews durchgeführt und Video- und Audioaufzeichnungen verwendet. Im Folgenden werden die verwendeten Methoden beschrieben.

5.3.1. Fragebögen

Zur Datenerhebung kamen zwei Fragebögen zum Einsatz. Beim ersten handelte es sich um einen demografischen Fragebogen in dem nach allgemeinen Informationen wie Alter, Geschlecht, momentane Tätigkeit und auch nach spezifischen Dingen wie, ob der Teilnehmer Links- oder Rechtshänder ist, wie viel Erfahrung der Teilnehmer in der Handhabung von Smartphones, Tablets, MR Anwendungen, Trackingsystemen und Studien hat, sowie nach den verwendeten MR Anwendungen und Trackingsystemen gefragt wurde.

Zur Erhebung der Gebrauchstauglichkeit des Systems wurde eine deutsche Version des System Usability Scale (SUS) [35] Fragebogens verwendet. Dieser besteht aus zehn abwechselnden positiven und negativen Aussagen zur Gebrauchstauglichkeit, die mit einer fünf-stufigen Likert-Skala bewertet wurden. Aus den Ergebnissen lässt sich ein „SUS Score“ berechnen, der zum Vergleich ähnlicher Systeme verwendet werden kann. Dieser reicht von 0 bis 100, wobei 0 das schlechteste und 100 das bestmögliche Ergebnis ist.

5.3.2. Interview

Zum Ende der Studie wurde ein Semi-Structured Interview durchgeführt, mit dem Ziel, genauere Einblicke in die Gedanken und Eindrücke der Teilnehmer zu erhalten. Dieser beginnt mit vier allgemeinen Fragen zu den Vor- und Nachteilen des Systems, auch im Vergleich zu anderen Trackingsystemen, sowie über den ersten Eindruck der Teilnehmer. Es folgen fünf Fragen zu den verwendeten Markern und der Trackingperformance des Systems. Der letzte Abschnitt beinhaltet acht Fragen zur Einschätzung der Benutzeroberfläche, der Handhabung der App, einzelnen Funktionen der App sowie den Fragen, ob der Teilnehmer das System in einer seiner Studien verwenden würde und welche zusätzlichen Features eine gute Ergänzung der App sein könnten. Die Antworten wurden während dem Interview stichwortartig durch den Studienleiter aufgeschrieben und zusätzlich mit einer Audioaufnahme aufgezeichnet. Zur Auswertung wurde ein Affinity Diagramm erstellt, das mit Hilfe der Notizen und Audioaufnahmen mit den Aussagen der Teilnehmer gefüllt und anschließend thematisch gruppiert wurde.

5.3.3. Audio- und Videoaufzeichnungen

Während den Aufgaben und dem Interview wurden Audioaufzeichnungen aufgenommen, sodass die „Thinking out loud“-Kommentare und Interview-Antworten der Teilnehmer untersucht werden können. Die Aufgaben wurden zusätzlich auf Video aufgenommen, um besondere Geschehnisse oder interessante Verhaltensweisen der Teilnehmer zu erfassen.

5. Evaluation

Der SUS Fragebogen bewertet die Gebrauchstauglichkeit des Systems auf einer Skala von 0 bis 100. SPOT erzielte im Durchschnitt eine Wertung von 80.83. Die Verteilung der erzielten SUS Scores sind in Abbildung 5.4 als Boxplot visualisiert. Dieser Wert wird aus den Bewertungen auf den fünf-stufigen Likert-Skalen zu den zehn Aussagen zum System errechnet. Da die Aussagen abwechselnd positiv und negativ sind, werden die Bewertungen der negativen Aussagen invertiert zum SUS Score verrechnet.

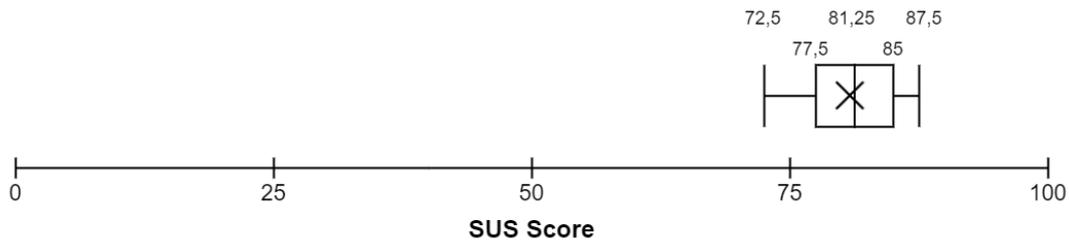


Abbildung 5.4.: Die SUS Score Ergebnisse als Boxplot. Der Durchschnittswert ist mit einem Kreuz markiert.

Eine Bewertung von 3 ist neutral, bedeutet also weder Zustimmung noch Ablehnung der Aussage. Die genaue Verteilung und die Mittelwerte sind in Abbildung 5.3 als Boxplots veranschaulicht. Die positiven Aussagen erhielten im Schnitt eine Zustimmung von 3.67 bis 4.5, also mittlere bis starke Zustimmung. Die negativen Aussagen erhielten im Schnitt eine Zustimmung von 1.33 bis 1.83, also starke Ablehnung. Die schlechtesten Werte traten bei den Aussagen 5, 6 und 9 auf: Aussage 5 - „Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem System waren gut integriert.“ erhielt mittlere Zustimmung mit einer durchschnittlichen Zustimmung von 3.83.

Aussage 6 - „Ich denke, das System enthielt zu viele Inkonsistenzen.“ erhielt mittlere Ablehnung mit einer durchschnittlichen Zustimmung von 1.83.

Aussage 9 - „Ich fühlte mich bei der Benutzung des Systems sehr sicher.“ erhielt mittlere Zustimmung mit einer durchschnittlichen Zustimmung von 3.67.

Die Aussagen 3 und 8 betreffen direkte Kern-Aspekte von SPOT, die eine zentrale Rolle beim Design und der Entwicklung spielten. Diese erzielten auch die besten Ergebnisse:

Aussage 3 - „Ich fand das System einfach zu benutzen.“ erhielt hohe Zustimmung mit einer durchschnittlichen Zustimmung von 4.5, dem höchsten Wert unter den positiven Aussagen.

Aussage 8 - „Ich fand das System sehr umständlich zu nutzen.“ erhielt sehr hohe Ablehnung mit einer durchschnittlichen Zustimmung von 1.33, dem niedrigsten Wert unter den negativen Aussagen.

5.4.2. Interview und Audioaufnahmen

Die Interview-Antworten und „Thinking out loud“-Kommentare wurden vom Transkript und den Audioaufnahmen in ein Affinity Diagramm aufgenommen. Längere und komplexe Aussagen wurden dabei in einzelne Aussagen aufgeteilt. Im Affinity Diagramm wurden die Aussagen farblich nach Teilnehmer eingeordnet (T1: Gelb, T2: Grün, T3: Cyan, T4: Rosa, T5: Orange, T6: Blau), zu sehen in Abbildung 5.5), und anschließend nach Themen gruppiert. Die Themen wurden unter den Kategorien „Nutzbarkeit“ (Abbildung 5.6), „UI“ (Abbildung 5.7), „Konzept Eigenschaften“ (Abbildung 5.8), „Einsatz in Studien“ (Abbildung 5.9), „Umgang mit Markern“ (Abbildung 5.10), „Hilfenfenster“ (Abbildung 5.11), „Technische Eigenschaften“ (Abbildung 5.12) und „Gewünschte & Vermisste Features“ (Abbildung 5.13) zusammengefasst.

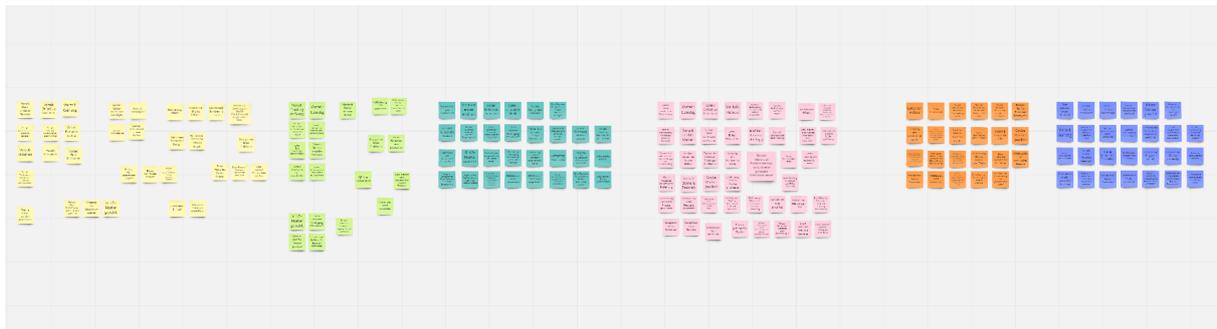


Abbildung 5.5.: Affinity Diagramm: Zuerst wurden alle Aussagen der Teilnehmer aus den Audioaufnahmen und dem Transkript der Interviews gesammelt. Jedem Teilnehmer wurde eine Farbe zugeordnet, um ihre Aussagen auseinander halten zu können.

Nutzbarkeit und UI

Zwei Teilnehmer (T3 & T6) hatten einen sehr positiven und positiven ersten Eindruck vom System. Vier Teilnehmern empfanden, dass das System einfach zu benutzen sei und sahen dies als einen Vorteil. Ein Teilnehmer (T1) sagte, dass das System auf Grund der Einfachheit auch für „nicht-Experten“ geeignet sei. Drei Teilnehmer meinten, die Struktur bzw. der Aufbau der App ist einfach oder klar. Fünf der sechs Teilnehmer hatten keine Probleme mit der Navigation innerhalb der App. Dem übrigen Teilnehmer (T3) fehlte eine direkte Übergangsmöglichkeit von der Target Auswahl zur Projekt Auswahl.

Ein Teilnehmer (T3) meinte das UI sei „sehr direkt und nicht cluttered“ und sah dies als einen Vorteil, beschrieb es aber auch als „funktional aber nicht wahnsinnig schön anzusehen“. Drei Teilnehmer äußerten sich positiv zum Design der Aufnahme-Szene. Ein Teilnehmer (T2) war vom Icon zum Wechseln von der Aufnahme-Szene zur Target Auswahl verwirrt, bei dem es sich um ein QR-Code Icon handelte, während ein anderer Teilnehmer (T3) diese Icons als klar verständlich empfand, jedoch das Icon zum Wechseln von der Aufnahme-Szene zur Projekt-Auswahl als Haus symbolisiert hätte, anstatt dem verwendeten „Exit“ bzw. „Logout“ Symbol. Vier Teilnehmer äußerten sich positiv zum visuellen Feedback der App, wobei sich einer davon (T4) mehr Feedback im Kalibrierungsprozess der Tracking Targets gewünscht hat.

Den Kalibrierungsprozess zum Hinzufügen eines neuen Tracking Target empfanden drei der Teilnehmer als einfach, angenehm oder intuitiv. Einer davon (T6) merkte noch an, dass dieser sehr schnell ging. Die Möglichkeit eine oder mehrere Seiten des Objekts unmarkiert zu lassen und zu „skippen“ empfanden alle Teilnehmer als sinnvoll, hilfreich oder praktisch. Zwei der Teilnehmer (T4 & T6) meinten, dass diese Funktion notwendig sei. Zwei Teilnehmer (T1 & T5) hatten Schwierigkeiten mit den Begriffen „Top & Bottom“ und „Front & Back“ im Zusammenhang mit dem Tablet. Einem davon (T1) war auch nicht von Anfang an bewusst, dass der „Back“-Button die vorherige Aktion rückgängig macht: „Ich dachte, ich gehe nur einen Schritt zurück und es merkt sich meine

5. Evaluation

(bisherige) Eingabe“. Zwei andere Teilnehmer (T3 & T4) wünschten sich einen flexibleren Prozess, bei dem man „gleich über einen Klick auf die Vorschau auswählen kann, welche Seite man jetzt auswählen möchte.“

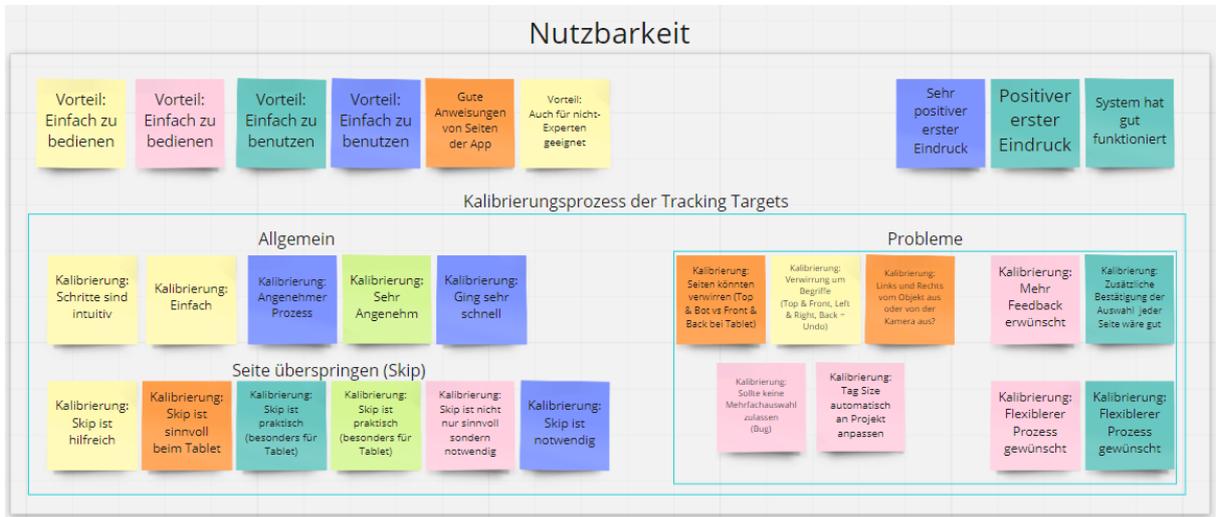


Abbildung 5.6.: Affinity Diagramm: Diese Aussagen wurden der Gruppe *Nutzbarkeit* zugeordnet.

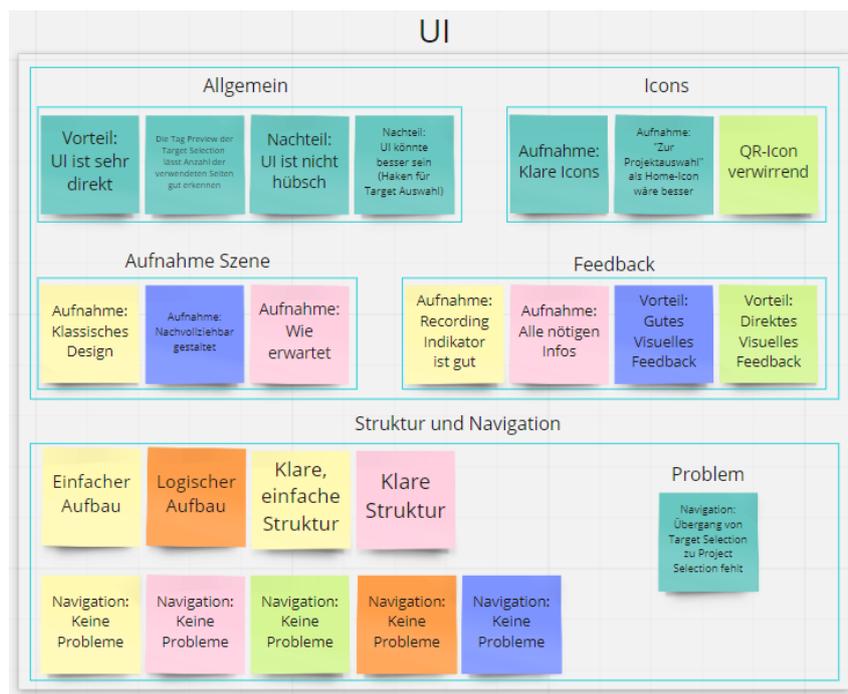


Abbildung 5.7.: Affinity Diagramm: Diese Aussagen wurden der Gruppe *UI* zugeordnet.

Konzept Eigenschaften

Fünf Teilnehmer sahen es als Vorteil, dass das System preiswert verwendet werden kann. Zwei Teilnehmer (T3 & T4) empfanden, dass das System keinen großen Aufwand braucht und einfach einzurichten sei als einen Vorteil. Ein Teilnehmer (T6) meinte, dass das System eine „Low-Tech“ Lösung sei im Vergleich zu Vive Trackern, was zwei

5. Evaluation

andere Teilnehmer (T2 & T4) als Vorteil sahen, da keine zusätzlichen Kameras, Sensoren oder andere Technik benötigt wird. Ein Teilnehmer (T1) sah einen Vorteil in der Mobilität des Systems und fügte hinzu, dass es sich dadurch gut für „studentische Projekte“ und „Projekte von Zuhause“ eignen könnte. Zwei Teilnehmer (T1 & T5) empfanden die Möglichkeit verschiedene Arten von Objekten, egal ob aktiv oder inaktiv, tracken zu können als einen Vorteil des Systems.



Abbildung 5.8.: Affinity Diagramm: Diese Aussagen wurden der Gruppe *Konzept Eigenschaften* zugeordnet.

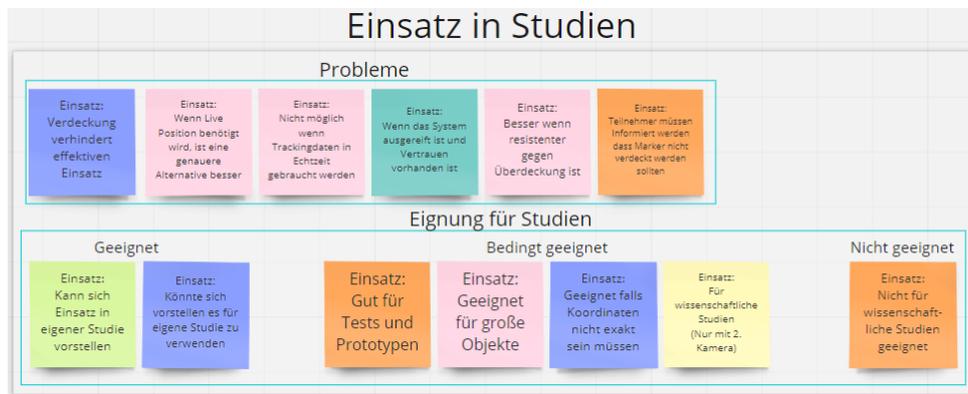


Abbildung 5.9.: Affinity Diagramm: Diese Aussagen wurden der Gruppe *Einsatz in Studien* zugeordnet.

Einsatz in Studien

Zwei Teilnehmer (T2 & T6) könnten sich den Einsatz des Systems in einer ihrer eigenen Studien vorstellen, einer davon (T6) allerdings nur, falls die Studie keine sehr präzisen Koordinaten erfordert. Drei weitere Teilnehmer knüpften zusätzliche Bedingungen an den Einsatz: Ein Teilnehmer (T5) würde das System nicht für eine wissenschaftliche Studie verwenden, könnte sich aber eine Verwendung für Tests und Prototypen gut vorstellen. Ein Teilnehmer würde es nur Verwenden, falls die zu trackenden Objekte groß genug sind, sodass große Marker verwendet werden können, um bessere Trackingergebnisse zu erzielen. Ein anderer Teilnehmer (T1) könnte sich einen Einsatz in wissenschaftlichen Studien vorstellen unter der Bedingung, dass das System weiterentwickelt wird und mindestens eine weitere Kamera verwendet, um stabilere und verlässlichere Trackingergebnisse zu liefern. Diese Bedingungen werden mit den Problemen begründet, die die Teilnehmer sahen: T4 sagte, ein Einsatz des Systems sei nicht für Studien geeignet, die sehr präzise oder in Echtzeit übertragene Trackingdaten erfordern.

5. Evaluation



Abbildung 5.10.: Affinity Diagramm: Diese Aussagen wurden der Gruppe *Umgang mit Markern* zugeordnet.

Weiterhin meinte T4, dass das System besser für Studien geeignet wäre, wenn es resistenter gegen Überdeckungen der Marker wäre als zum Zeitpunkt der Studie. T3 sagte, er würde das System verwenden wenn es ausgereift ist und „Vertrauen in das System vorhanden ist“.

Umgang mit Markern

Der Umgang mit den Markern fiel vier von sechs Teilnehmern (T1, T4, T5 & T6) leicht; die übrigen zwei (T2 & T3) berichteten, dass sie keine Probleme im Umgang mit ihnen feststellten. Vier Teilnehmer (T1, T2, T4 & T5) äußerten Bedenken, dass die Marker die Handhabung der Objekte, an denen sie angebracht sind beeinflussen oder sogar stören könnten. Zwei Teilnehmer (T4 & T6) meinten, dass es schwierig sein könnte, Marker an unförmigen oder kleinen Objekten anzubringen. T3 sagte, dass der Einsatz der Marker problematisch wird, falls diese häufig verdeckt werden könnten. Fünf Teilnehmer hatten sich für die großen Marker (9cm) entschieden, lediglich T6 wählte die kleinen Marker (7cm). Ein Teilnehmer (T4) entschied sich für die großen Marker mit der Begründung, dass er Erfahrung mit Markern hat und daher weiß, dass größere Marker in der Regel bessere Ergebnisse liefern. Ein anderer Teilnehmer (T3) begründete seine Wahl damit, dass er die größten Marker auswählte, die an die Objekte passen würden. T6 wählte die kleinen Marker mit der Begründung, mit ihnen über mehr Flexibilität darüber zu verfügen, wie und woran diese angebracht werden sollen. T4 wies darauf hin, dass die Marker in einer echten Studie mit stärkerem Klebstoff an die Objekte befestigt werden würden, was die Handhabung für den Studienteilnehmer wahrscheinlich erleichtern würde. Zusätzlich merkte T4 an, dass die zusätzlich angebrachte Fläche an der Seite des Tablets hilfreich war, da es unangenehm gewesen wäre, den Marker auf den Bildschirm des Tablets zu kleben. Zwei Teilnehmer (T1 & T5) sprachen sich für einen Hinweis in der App aus, der erklärt, dass große Tracker bessere Ergebnisse ermöglichen. Zwei andere Teilnehmer (T2 & T4) meinten, ein solcher Hinweis sei für Experten in diesem Gebiet nicht nötig.



Abbildung 5.11.: Affinity Diagramm: Diese Aussagen wurden der Gruppe *Hilfefenster* zugeordnet.

Hilfefenster

Keiner der Teilnehmer hat die Hilfefenster gebraucht. T1 hat sich einige der Hilfefenster aus reiner Neugier angeschaut und befand diese als sinnvoll. Zwei Teilnehmer (T1 & T3) sagten, sie probieren generell lieber erst selbst zum Ziel zu gelangen, bevor sie Hilfefenster verwenden. T3 begründete dies mit „[...] weil ich so was generell ignoriere, weil ich annehme dass da sowieso nichts hilfreiches steht.“

Technische Eigenschaften

Alle Teilnehmer äußerten sich positiv zur Geschwindigkeit, mit der die App die Marker erkennt. T2 merkte zusätzlich an, dass das Tracking flüssig ist. Drei Teilnehmer äußerten sich positiv über die Erkennungsreichweite: T1 nannte sie allgemein „gut“, T3 sagte, die Reichweite war für den gewünschten Trackingraum ausreichend und T4 sagte, dass die Reichweite besser sei als die Reichweite von Vuforia. T2 hatte keine Probleme mit der Reichweite, T4 erlebte einige Aussetzer bei größerer Entfernung. T5 sagte, dass das Tracking des Tablets auf Distanz nicht stabil funktionierte und die Erkennung ab einer Entfernung von 3m schwächer wird. T6 teilte mit, dass die Erkennung der kleinen Marker nur auf geringer Reichweite funktionierte. Zwei Teilnehmer meinten, die „recovery“ des Trackings sei schnell und nannten es als einen Vorteil des Systems. T1 empfand das Tracking auch als „Erstaunlich stabil“ und „robust“. T2 meinte, die Redundanz durch das Verwenden mehrerer Marker für ein einzelnes Objekt stelle einen Vorteil des Systems dar. T1 nannte „Tracking-Abbrüche durch Tracking mit nur einer Kamera“ und die „geringe Winkelstabilität“ als Schwächen des Systems. T4 und T6 meinten, dass Überdeckungen das Tracking stören und die mangelnde Verdeckungsresistenz eine Schwäche darstellt. Weiterhin werteten T1 und T4 die Tracking-Genauigkeit des Systems als schwächer als die von anderen Systemen, T4 nannte dabei Optitrack als Beispiel. T4 merkte an, dass das geringe Gewicht der Marker einen Vorteil gegenüber Vive Trackern darstellt.

Gewünschte & Vermisste Features

Vier Teilnehmer (T1, T3, T4 & T5) wünschten sich Möglichkeiten zur Synchronisation des Systems mit anderen Geräten oder Systemen: Zwei Teilnehmer wünschten sich die Möglichkeit eine (T1) oder mehrere (T4) zusätzliche Kameras zum Tracking verwenden zu können. Ein Teilnehmer (T5) wünschte sich eine Möglichkeit den Start der Aufnahme über ein anderes Gerät fern-starten zu können. T3 sprach sich für eine Echtzeit Synchronisation der Trackingdaten mit anderen Systemen aus. Zwei Teilnehmer (T3 & T4) schlugen die Darstellung von zusätzlichen Informationen im UI vor: T3 sagte, er fände es gut, wenn Informationen über das derzeit ausgewählte Projekt in der Target Auswahl zu sehen wären und die Vorschau der AprilTags eines Tracking Target in der Target Aus-

5. Evaluation

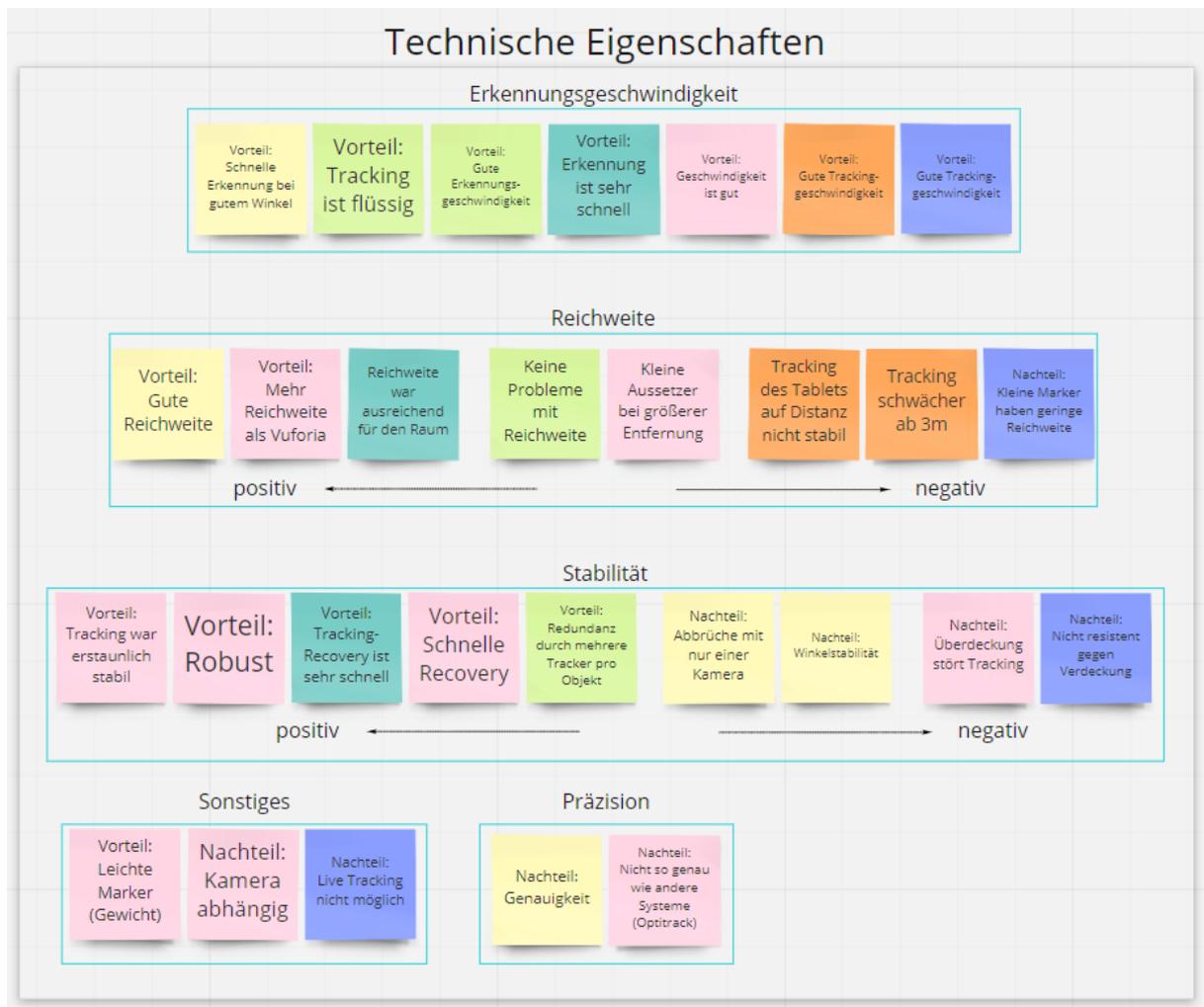


Abbildung 5.12.: Affinity Diagramm: Diese Aussagen wurden der Gruppe *Technische Eigenschaften* zugeordnet.

wahl mit den dazugehörigen Seiten beschriftet wäre. T4 würde gerne „Statistiken über die Tracking Performance“ einsehen können. Zwei Teilnehmer (T3 & T4) wünschten sich die Möglichkeit unterschiedlich große Marker gleichzeitig verwenden zu können. Zwei Teilnehmer (T1 & T4) wünschten sich auch die Möglichkeit mehr als nur einen Marker für eine Seite des Tracking Targets kalibrieren zu können. Zusätzliche Erweiterungsvorschläge waren eine Druckvorlage aus der App heraus erstellen zu können (T1), zusätzliche Optionen für visuelles Feedback (T2), Tracking Targets importieren und exportieren zu können (T4), eine Visualisierung der gesammelten Trackingdaten (T5) und das System zu einem universellen „Studien-Framework“ zu erweitern (T6).

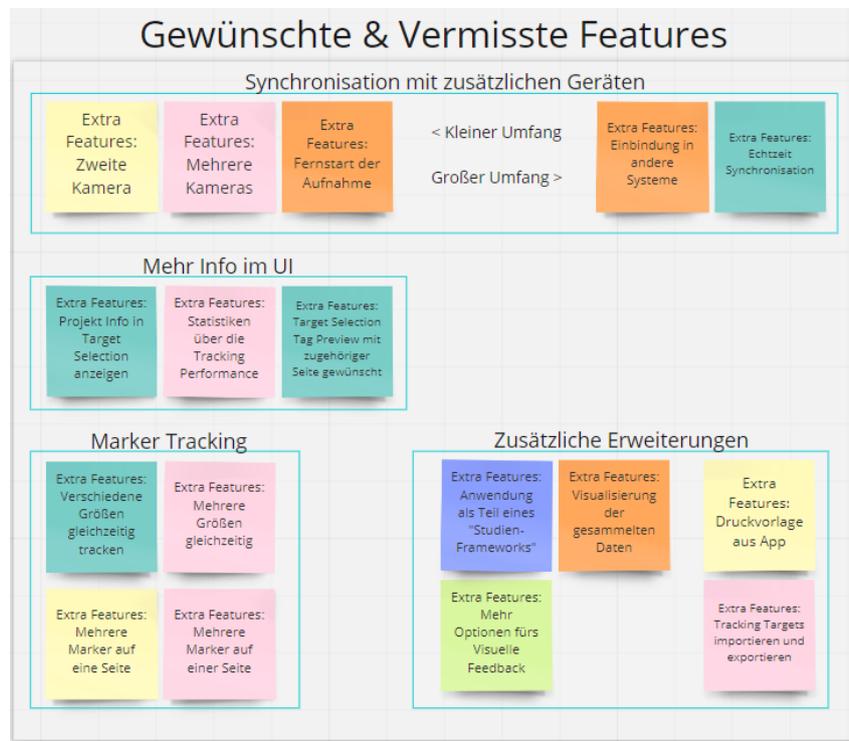


Abbildung 5.13.: Affinity Diagramm: Diese Aussagen wurden der Gruppe *Gewünschte & Vermisste Features* zugeordnet.

5.4.3. Zusammenfassung

Der Prototyp erzielte einen durchschnittlichen SUS Score von 80.83. Die besten Bewertungen erhielt das System dabei in den Punkten einfache (Aussage 3) und nicht umständliche (Aussage 8) Benutzbarkeit. Alle positiven Aussagen erhielten mindestens eine neutrale Bewertung (Zustimmung von 3), aber überwiegend Zustimmung (Zustimmung von 4 oder 5). Alle negativen Aussagen erhielten mindestens eine neutrale Bewertung (Zustimmung von 3), aber überwiegend Ablehnung (Zustimmung von 1 oder 2), mit Ausnahme eines Ausreißers. In den Interviews empfanden die Teilnehmer die Verwendung des Systems ebenfalls als einfach. Die Hälfte der Teilnehmer fand den Kalibrierungsprozess der Tracking Targets einfach oder angenehm, fünf von sechs Teilnehmern hatten jedoch Verbesserungsvorschläge dazu. Das Konzept erhielt ausschließlich positive Kommentare, Schwächen waren vor allem bei den technischen Aspekten wie der geringen Winkelstabilität einer einzelnen Kamera und der begrenzten Reichweite zu finden.

5.5. Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse in Hinsicht auf die Forschungsfragen diskutiert. Des Weiteren werden mögliche Verbesserungen für kommende Versionen des Prototyps und mögliche Gegenstände künftiger Arbeiten erwähnt.

Wie kommen die Nutzer mit der Handhabung von SPOT zurecht?

Alle Teilnehmer kamen nach der Erklärung der Grundlagen ohne zusätzliche Hilfe mit der App zurecht und konnten alle Aufgaben erfolgreich absolvieren. Dies spiegelt sich auch in den guten Bewertungen im SUS Fragebogen wider. Ein Teilnehmer bezeichnete es als „einfache, alleinstehende, quasi Plug-and-play Lösung fürs Tracking“(T4).

Nur ein Teilnehmer hatte geringfügige Probleme mit der Navigation und die Hälfte der Teilnehmer empfand den Aufbau der App als klar und nachvollziehbar. Die meisten Unsicherheiten ließen sich auf die technischen Aspekte des Systems, wie der kritisierten Winkelstabilität, der Verdeckung der Marker und der begrenzten Reichweite, zurückführen.

Der Umgang mit den Markern fiel den meisten Teilnehmern leicht und die übrigen Teilnehmer stellten keine Probleme damit fest. Ein Teilnehmer stellte fest, dass das Anbringen von großen Markern je nach Objekt eine Herausforderung darstellen könnte, dies Problem betrifft jedoch eher Marker im Allgemeinen und weniger das System.

Für welche Anwendungsfälle ist SPOT geeignet?

Während das System einige Schwächen aufwies, die gegen einen Einsatz in anspruchsvollen wissenschaftlichen MR Studien sprechen, stellte sich SPOT als brauchbare Lösung für konventionelle Studien und MR Studien ohne den Anspruch von millimetergenauem Tracking oder Echtzeit-Tracking heraus. Ein Teilnehmer beschrieb Studien aus dem Fachbereich der Psychologie, in denen Essverhalten untersucht werden und die Teller eine wichtige Rolle für die Auswertung spielen. SPOT würde sich, laut diesem Teilnehmer, dazu eignen, markierte Teller zu tracken, um so die Auswertung der Daten zu erleichtern. Möglicherweise müssen die Studienteilnehmer darüber in Kenntnis gesetzt werden, die Verdeckung der Marker möglichst zu vermeiden. Auf Grund der Mobilität, dem einfachen Aufbau und dem geringen Kostenfaktor, wurde das System auch für Projekte von Studenten und für Projekte, die von Zuhause aus durchgeführt werden empfohlen. Ein Teilnehmer betonte auch, dass er das System sehr gerne für Tests und zum Prototyping verwenden würde und es für diesen Zweck sogar besser geeignet sein könnte als für Studien.

In welcher Hinsicht erleichtert SPOT die Durchführung von Studien?

Das System wurde für die einfache Bedienung und den geringen Aufwand gelobt. Ein Teilnehmer sagte „Es ist eine einfache Möglichkeit etwas zu tracken, ohne groß etwas aufzusetzen“(T3) und „Ich muss nicht erst etwas in Unity basteln, Vive Tracker in Unity konfigurieren und mir überlegen wie ich die anbringen soll“(T3). Demnach spart SPOT viel Zeit und Arbeitsaufwand, vor allem falls das Tracking lediglich eine Nebenrolle spielt und nicht im Fokus der Studie liegt. Auf Grund der Mobilen Plattform ist SPOT auch mit einer Vielzahl an Geräten kompatibel und reduziert mit seinen kostengünstigen ausdruckbaren Markern die Einstiegshürde, besonders für kleinere Projekte mit begrenztem Budget.

Welche Vor- und Nachteile hat SPOT im Vergleich zu anderen Trackingsystemen?

Die am häufigsten genannte Vorteile gegenüber anderen Systemen sind die Einfachheit der Benutzung, der geringe Aufwand und der geringe Kostenpunkt des Systems. Das Tracking ist nicht so präzise wie das von Optitrack oder Vive Trackern, die Tracker selbst sind jedoch leichter und einfacher zu handhaben als bei diesen Systemen. Große Nachteile gegenüber Optitrack und Vive Trackern sind auch die fehlende Möglichkeit für Echtzeit-Tracking und die Tracking-Ausfälle bei Verdeckung der Marker. Da keine zusätzliche Hardware, wie aktive Tracker, Kameras oder Sensoren benötigt werden und auch keine Konfiguration in externer Software wie Unity nötig ist, lässt sich SPOT schneller einsatzfähig machen als die meisten anderen Systeme. Auch die Mobilität, die es ermöglicht den Standort einer Studie flexibel von einem Raum in einen anderen zu verlegen, ist ein Vorteil gegenüber den anderen Systemen. Die Stabilität, Erkennungsgeschwindigkeit und Reichweite wurden als besser bewertet als bei Vuforia.

Wie lässt sich die Handhabung von SPOT angenehmer gestalten?

Viele Teilnehmer äußerten sich mit Verbesserungsvorschlägen. Einen Teilnehmer störte es, dass zwar die AprilTags eines Tracking Targets in der Target Auswahl gelistet werden, diese jedoch nicht beschriftet sind, sodass man raten müsste, welches Tag zu welcher Seite gehört. Zudem war nicht sofort ersichtlich, dass es sich bei den derzeit ausgewählten Tracking Targets um die handelt, die in der Target Auswahl grün eingefärbt sind. Er schlug vor, eine Checkbox einzufügen, sodass ein Haken in dieser die Auswahl symbolisiert. Es wurden vereinzelt geringfügige Änderungen der UI Icons gewünscht.

Die meisten Verbesserungsvorschläge richteten sich aber an den Kalibrierungsprozess der Tracking Targets: Einige Teilnehmer wünschten sich einen flexibleren Ansatz, in dem der Nutzer selbst bestimmt, welche Seite zu welchem Zeitpunkt kalibriert wird. Einige Teilnehmer würden es auch hilfreich finden, mehrere Marker für eine einzelne Seite verwenden zu können, zum Beispiel zwei oder drei Marker für verschiedene Ecken der Rückseite eines Tablets. Die Umsetzung dieser Vorschläge wäre mit einer vollständigen Überarbeitung des Kalibrierungsprozesses möglich und könnte eine freiere und flexiblere Bedienung gewährleisten. Dabei müsste die Datenstruktur der Tracking Targets dementsprechend angepasst werden, sodass die Tracking Targets auch mehr als sechs Marker unterstützen. Ein Teilnehmer hoffte er könnte über die 3D Vorschau am linken Rand auswählen, welche Seite als nächstes kalibriert werden soll. Führt man diese Idee weiter, kann die Vorschau als interaktives Element eine zentrale Rolle erhalten oder zumindest als zusätzliche Steueroption in einem überarbeiteten Kalibrierungsprozess ihren Platz finden. Das könnte auch dabei helfen, die Verwirrungen aufzuklären, die mit den Begriffen „Top“, „Bottom“, „Front“ und „Back“ bei der Verwendung des Tablets entstanden: Den Teilnehmern war unklar, ob die Display-Seite als „Front“ oder „Top“ bezeichnet werden sollte. Das System forderte den Teilnehmer direkt dazu auf, die jeweilige Seite zuzuweisen. Ein Prozess, in dem der Nutzer selbst eine Seite wählt und diese anschließend einem Marker zuweist, könnte die Unsicherheit des Nutzers reduzieren, indem diesem mehr Kontrolle überlassen wird.

Ein Teilnehmer hätte es bevorzugt, wenn jede Seite nach Auswahl des zugehörigen Markers zunächst eine Bestätigung erfordert, bevor das System nach der Wahl des nächsten Markers verlangt. Diese Interaktion war in einer frühen Iteration des Systems vorhanden, wurde nach einem internen Test jedoch zu Gunsten eines schnelleren Prozesses verworfen. Für ein Objekt mit sechs Markern hätten diese jeweils ein Mal ausgewählt und ein Mal bestätigt werden müssen, was in 12 bis 13 Interaktionen resultiert (Abhängig davon, ob nach der Bestätigung des letzten Markers eine weitere Bestätigung für das Ende des Prozesses verlangt wird), anstatt den sieben Interaktionen der Version, die in der Studie zum Einsatz kam. Andererseits wäre es dadurch möglich, eine inkorrekte Marker-Wahl einfacher zu korrigieren, indem im Anschluss an die Fehl-Auswahl lediglich der korrekte Marker ausgewählt wird, anstatt den Fehltritt zuerst rückgängig machen zu müssen, um danach den korrekten Marker zu wählen.

Dass Matrix Marker wie AprilTags nicht sehr ästhetisch ansprechend sind, stellten bereits Getschmann und Ehtler bei ihrem Vergleich visueller Marker für Seedmarkers [23] fest. Zudem äußerten zwei Teilnehmer auch den Wunsch, unterschiedlich große Marker gleichzeitig verwenden zu können, sodass man beispielsweise große

Marker für große Objekte und kleine Marker für kleinere Objekte in einer Session verwenden könnte. Zur Lösung beider Probleme ist die Verwendung eines anderen Markertyps am naheliegendsten. Seedmarker weichen in ihrer Verwendung zu sehr vom Konzept von SPOT ab, um eine einfache Integration zu gewährleisten. Eine aufwändige, aber elegante Lösung könnte die Verwendung oder Neuentwicklung eines Markers sein, der kodierte Informationen tragen kann, die vom System ausgelesen werden können. So könnten nicht nur die IDs, sondern auch die Namen, Markergrößen, Objektseiten und sonstige Informationen direkt auf den Markern liegen. Die Ausarbeitung dieses Konzepts liegt jedoch außerhalb des Rahmens dieser Arbeit.

Ein Teilnehmer sagte, er würde das System für eine eigene Studie verwenden, wenn er unter anderem „mehr Vertrauen in das System“(T4) hätte. Zusätzliche Optionen für visuelles Feedback und eine Visualisierung der Trackingperformance-Werte, wie beispielsweise eine Angabe, in wie vielen Frames kein einziger Marker eines Tracking Targets erfasst wurde, was auch von anderen Teilnehmern gewünscht wurde, könnten dazu beitragen zusätzliches Vertrauen aufzubauen.

Ein Teilnehmer schlug eine Erweiterung vor, die eine Druckvorlage der Marker direkt aus der App heraus erstellt. Da das korrekte Skalieren der Marker mit einfacher Bildbearbeitungssoftware wie GIMP [36] umständlich sein kann, ist eine Automatisierung dieses Prozesses durchaus sinnvoll. Es betrifft zwar nicht das System direkt, würde den damit verbundenen Aufwand jedoch erheblich reduzieren.

Viele der technischen Schwächen lassen sich auf das Single-Camera Setup des Systems zurückführen. Das betrifft vor allem die kritisierte Winkelstabilität und die Tracking-Aussetzer durch Verdeckung der Marker. Die Anbindung einer oder mehrerer zusätzlicher Kameras ist seit der frühen Konzipierung des Systems geplant und würde diese Probleme mit hoher Sicherheit stark reduzieren. Eine zusätzliche Kamera könnte auch die Reichweite geringfügig erhöhen, da die Marker in der Regel in einem günstigen Winkel aus einer größeren Distanz erkannt werden können. Die Synchronisation der Positionen könnte über den gemeinsamen Ankerpunkt erfolgen und die Projekt- und Target-Informationen könnten über eine Drahtlos-Verbindung wie Wifi oder Bluetooth übermittelt werden. Am einfachsten wäre dies, wenn es sich bei der zusätzlichen Kamera ebenfalls um ein Smartphone oder Tablet handelte.

Da kein Teilnehmer die Hilfenfenster benötigte, einige sie aber als sinnvoll erachteten und sie von keinem Teilnehmer als störend empfunden wurden, bleiben sie zunächst unverändert. Da einige Teilnehmer jedoch sagten, dass sie im Zweifel zuerst „Rumprobieren“ bevor sie ein Hilfenfenster öffnen, sollte in Zukunft darauf geachtet werden, kritische, unumkehrbare Funktionen so zu gestalten, dass sie nicht aus Versehen beim Probieren ausgelöst werden.

5.6. Limitierungen der Studie

Die Usability-Studie unterlag einigen Limitierungen. Eine Voraussetzung für die Teilnahme war Erfahrung mit der Durchführung von MR Studien, sodass Teilnehmer mit technischem Interesse aber mangelnder Erfahrung, die ebenfalls eine potenzielle Zielgruppe für das System darstellen, möglicherweise andere Erfahrungen gemacht hätten. Was die Demographie betrifft, stellen lediglich sechs Teilnehmer eine sehr kleine Stichprobengröße dar. Zudem waren alle Teilnehmer männlich, da zu dem Zeitpunkt keine weibliche oder diverse Person der HCI Arbeitsgruppe für die Studie verfügbar war, die die vorausgesetzte Erfahrung mit MR Studien vorweisen konnte. Unter den Teilnehmern befand sich nur ein Linkshänder und nur eine Person mit Farbsehschwäche in Form einer Rot-Grün-Schwäche. Die Studie wurde nur mit einer Box und einem Tablet durchgeführt. Mit anderen Objekten könnten die Ergebnisse anders aussehen. Damit jeder Teilnehmer die Marker selbst an die Objekte anbringen kann, wurde leicht lösbare, wiederverwendbare Klebmasse verwendet, die sich gelegentlich ablöste. In einem realen Einsatz würde wahrscheinlich stärkerer Klebstoff oder eine andere, stabilere Anbringungsmethode

5. Evaluation

verwendet werden. Den Teilnehmern wurden bereits fertige Marker zur Verfügung gestellt, sodass sie diese nicht selbst ausdrucken und ausschneiden mussten.

6. Fazit

In Mixed Reality Studien ist es meistens erwünscht oder sogar notwendig physische Objekte zu tracken. Die Auswahl, der Aufbau und die Konfiguration eines bestehenden Trackingsystems ist häufig mit hohem Zeit- und Arbeitsaufwand verbunden, da in der Regel neue Software für die individuellen Studien geschrieben wird, damit die Trackingsysteme eingebunden und verwendet werden können. Ansonsten würden Videoaufzeichnungen manuell ausgewertet werden müssen, um physische Objekte in den Studiendaten zu erfassen. SPOT wurde konzipiert, um einen einfachen und schnellen Einstieg ins Tracking zu ermöglichen. Als mobile Anwendung, die ausdrückbare Marker zum Tracking verwendet, stellt SPOT eine flexible und zugängliche Trackinglösung dar. Das System unterstützt den Nutzer dabei, die physischen Objekte in einem angeleiteten Kalibrierungsprozess zum Tracking zu präparieren, und erlaubt die Wiederverwendung bereits präparierter Objekte. Die Usability von SPOT wurde in einer Experten-Studie untersucht. Das Ergebnis zeigt eine einfache Handhabung und gute Usability des Konzepts. Die integrierte „Ankerpunkt“-Funktion wurde von allen Teilnehmern als nützliches Feature wahrgenommen und dient dazu die von SPOT erfassten Trackingdaten mit dem Koordinatensystem eines anderen Systems wie Optitrack oder SteamVR (Vive) zu synchronisieren. Die größten Kritikpunkte betrafen die technischen Limitierungen des Detektors: SPOT kann zum jetzigen Zeitpunkt mit nur einer Kamera verwendet werden und leidet so unter den Problemen anderer Marker-basierter Systeme. Dabei handelt es sich um begrenzte Reichweite, abhängig von der Größe der verwendeten Marker, schwache Erkennung bei ungünstigem Winkel zur Kamera und Abbrechen des Trackings bei Verdeckung der Marker. Aus diesen Gründen eignet sich diese Version von SPOT nur bedingt für den Einsatz in Studien mit hohen Ansprüchen an Präzision und Stabilität. Jedoch stellte sich heraus, dass SPOT ein nützliches Tool für Projekte und Tests von Prototypen sein kann, die nicht in einem Labor durchgeführt werden können.

Ziel der Studie war auch, Möglichkeiten zu finden, das System in den Bereichen Performance und Usability weiter zu verbessern. Künftige Arbeiten könnten von einer weiter entwickelten Iteration von SPOT handeln, in die die in dieser Arbeit beschriebenen Verbesserungen und die neuen Konzepte integriert sind. Bei den Verbesserungen handelt es sich um eine überarbeitete, flexiblere Kalibrierung der Tracking Targets sowie die Möglichkeit mehrere Kameras zu verwenden, um den Schwächen des Systems entgegenzuwirken. Bei den neuen Konzepten handelt es sich unter anderem um kodierte Marker, die für die Objekte generiert werden und Informationen über diese in ihrem Muster abgebildet haben.

Referenzen

- [1] Akira Utsumi und Fumio Kishino Paul Milgram Haruo Takemura. „Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum“. In: *Telem manipulator and Telepresence Technologies*. Hrsg. von Hari Das. Bd. 2351. International Society for Optics und Photonics. SPIE, 1995, S. 282 –292. DOI: 10.1117/12.197321. URL: <https://doi.org/10.1117/12.197321>.
- [2] Michael Nebeling u. a. „MRAT: The Mixed Reality Analytics Toolkit“. In: *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '20. Honolulu, HI, USA: Association for Computing Machinery, 2020, 1–12. ISBN: 9781450367080. DOI: 10.1145/3313831.3376330. URL: <https://doi.org/10.1145/3313831.3376330>.
- [3] Aziz Khashimov. *Seminar: Tracking Physical Objects during Mixed Reality Studies*. 2021.
- [4] Aziz Khashimov. *Projektbericht: Tracking Physical Objects during Mixed Reality Studies*. 2021.
- [5] University of Michigan APRIL Robotics Laboratory. *AprilTag*. <https://april.eecs.umich.edu/software/apriltag>. (Besucht am 29.03.2021).
- [6] NaturalPoint Corporation. *Optitrack*. <https://www.optitrack.com/>. (Besucht am 18.03.2021).
- [7] HTC Corporation. *Vive Tracker*. <https://www.vive.com/de/accessory/vive-tracker/>. (Besucht am 29.03.2021).
- [8] Wolfgang Büschel, Anke Lehmann und Raimund Dachsel. „MIRIA: A Mixed Reality Toolkit for the In-Situ Visualization and Analysis of Spatio-Temporal Interaction Data“. In: *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. ISBN: 9781450380966. URL: <https://doi.org/10.1145/3411764.3445651>.
- [9] Ronald T. Azuma. „A Survey of Augmented Reality“. In: *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 6.4 (Aug. 1997), 355–385. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/pres.1997.6.4.355. URL: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>.
- [10] Sebastian Hubenschmid u. a. „STREAM : Exploring the Combination of Spatially-Aware Tablets with Augmented Reality Head-Mounted Displays for Immersive Analytics“. In: *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2021)*. New York: ACM, 2021. ISBN: 978-1-4503-8096-6. DOI: 10.1145/3411764.3445298.
- [11] PTC Inc. *Vuforia Engine*. <https://developer.vuforia.com/>. (Besucht am 29.03.2021).
- [12] Apple Inc. *ARKit 4*. <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>. (Besucht am 28.03.2021).
- [13] Thomas Muender u. a. „Does It Feel Real? Using Tangibles with Different Fidelities to Build and Explore Scenes in Virtual Reality“. In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '19. Glasgow, Scotland Uk: Association for Computing Machinery, 2019, 1–12. ISBN: 9781450359702. DOI: 10.1145/3290605.3300903. URL: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300903>.
- [14] Valve Corporation. *SteamVR*. <https://www.steamvr.com/de/>. (Besucht am 29.03.2021).
- [15] Apple Inc. *iPad Pro 2020*. <https://www.apple.com/de/ipad-pro/>. (Besucht am 28.03.2021).
- [16] Apple Inc. *ARKit Scanner Dokumentation*. https://developer.apple.com/documentation/arkit/content_anchors/scanning_and_detecting_3d_objects. (Besucht am 28.03.2021).

- [17] PTC Inc. *Best Practices for Designing and Developing Image-Based Targets*. <https://library.vuforia.com/features/images/image-targets/best-practices-for-designing-and-developing-image-based-targets.html>. (Besucht am 29. 03. 2021).
- [18] Edwin Olson. „AprilTag: A robust and flexible visual fiducial system“. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, 2011, S. 3400–3407.
- [19] Keijiro Takahashi. *AprilTag Detector Unity Package*. <https://github.com/keijiro/jp.keijiro.apriltag>. (Besucht am 30. 06. 2021).
- [20] J. Wang und E. Olson. „AprilTag 2: Efficient and robust fiducial detection“. In: *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. 2016, S. 4193–4198. DOI: 10.1109/IROS.2016.7759617.
- [21] University of Michigan APRIL Robotics Laboratory. *AprilTags in Space*. <https://april.eecs.umich.edu/updates/2015/07/01/april-tags-space.html>. (Besucht am 29. 03. 2021).
- [22] R. A. Newcombe u. a. „KinectFusion: Real-time dense surface mapping and tracking“. In: *2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. 2011, S. 127–136. DOI: 10.1109/ISMAR.2011.6092378.
- [23] Christopher Getschmann und Florian Echtler. „Seedmarkers: Embeddable Markers for Physical Objects“. In: *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. TEI '21. Salzburg, Austria: Association for Computing Machinery, 2021. ISBN: 9781450382137. DOI: 10.1145/3430524.3440645. URL: <https://doi.org/10.1145/3430524.3440645>.
- [24] A.C. Rice, A.R. Beresford und R.K. Harle. „Cantag: an open source software toolkit for designing and deploying marker-based vision systems“. In: *Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PERCOM'06)*. 2006, 10 pp.–21. DOI: 10.1109/PERCOM.2006.13.
- [25] Francisco J. Romero-Ramirez, Rafael Muñoz-Salinas und Rafael Medina-Carnicer. „Speeded up detection of squared fiducial markers“. In: *Image and Vision Computing* 76 (2018), S. 38–47. ISSN: 0262-8856. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2018.05.004>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262885618300799>.
- [26] Hiroki Nishino. „A 6DoF Fiducial Tracking Method Based on Topological Region Adjacency and Angle Information for Tangible Interaction“. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. TEI '10. Cambridge, Massachusetts, USA: Association for Computing Machinery, 2010, 253–256. ISBN: 9781605588414. DOI: 10.1145/1709886.1709937. URL: <https://doi.org/10.1145/1709886.1709937>.
- [27] Filippo Bergamasco u. a. „RUNE-Tag: A high accuracy fiducial marker with strong occlusion resilience“. In: *CVPR 2011*. 2011, S. 113–120. DOI: 10.1109/CVPR.2011.5995544.
- [28] Filippo Bergamasco, Andrea Albarelli und Andrea Torsello. „Pi-Tag: a fast image-space marker design based on projective invariants“. In: *Machine Vision and Applications* 24.6 (2013), S. 1295–1310. ISSN: 1432-1769. DOI: 10.1007/s00138-012-0469-6. URL: <https://doi.org/10.1007/s00138-012-0469-6>.
- [29] Joseph DeGol, Timothy Bretl und Derek Hoiem. „ChromaTag: A Colored Marker and Fast Detection Algorithm“. In: *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. 2017, S. 1481–1490. DOI: 10.1109/ICCV.2017.164.
- [30] Ehsan Azimi u. a. *Alignment of the Virtual Scene to the Tracking Space of a Mixed Reality Head-Mounted Display*. 2019. arXiv: 1703.05834 [cs.HC].
- [31] Microsoft Corporation. *Microsoft HoloLens 2*. <https://microsoft.com/de/holoLens-2/>. (Besucht am 28. 03. 2021).
- [32] Seiko Epson Corporation. *Moverio BT-300*. <https://www.epson.de/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300>. (Besucht am 27. 03. 2021).
- [33] Atracsys LLC. *fusionTrack 500*. <https://www.atracsys-measurement.com/products/fusiontrack-500/>. (Besucht am 27. 03. 2021).

6. Fazit

- [34] Unity Technologies. *Unity3D Engine*. <https://unity.com/>. (Besucht am 30.06.2021).
- [35] John Brooke. „SUS: A quick and dirty usability scale“. In: *Usability Eval. Ind.* 189 (Nov. 1995).
- [36] *GIMP - GNU Image Manipulation Program*. <https://www.gimp.org/>. (Besucht am 30.06.2021).

A. Appendix

Studiendokumente

Die folgenden Dokumente wurden für die Durchführung der Studie verwendet.

Begrüßung

Herzlich willkommen!

Vielen Dank, dass Sie sich dazu bereit erklärt haben, an unserer Studie teilzunehmen. Sie unterstützen damit unsere Forschung maßgeblich! Bevor es losgeht, möchten wir Ihnen kurz vermitteln, um was es bei der Untersuchung geht und welche Rolle Sie dabei spielen.

Im Rahmen der Studie untersuchen wir, inwiefern sich die verwendete Anwendung für das Tracken physischer Objekte in Mixed Reality Studien eignet. Sie werden die Rolle eines Studienleiters einnehmen und die Vorbereitung und Durchführung einer hypothetischen Mixed Reality Studie übernehmen.

Nach einer Einführung in das System erhalten Sie einige Aufgaben, die Sie bei Ihrer Studie anleiten werden. Sollten Sie Fragen zum Ablauf oder zum System haben, können Sie diese während der Einführung stellen. Bitte haben Sie jedoch Verständnis dafür, dass wir während der eigentlichen Aufgabe keine Fragen beantworten können, um eine Verzerrung der Daten zu verhindern.

Um einen detaillierteren Einblick zu erhalten, bitten wir Sie, Ihre Gedanken und Intentionen während der Durchführung der Aufgaben laut auszusprechen.

Im Anschluss an die eigentliche Aufgabe bitten wir Sie, uns einige Fragen zu Ihren Eindrücken und Erfahrungen zu beantworten.

Um möglichst umfassende Erkenntnisse zu erhalten, zeichnen wir die Studie zusätzlich in Bild und Ton auf. Für diese Aufzeichnungen ist Ihr Einverständnis erforderlich. Im Gegenzug verpflichten wir uns dazu, das Material pseudonymisiert und lediglich zu Auswertungszwecken zu verwenden. In diesem Zusammenhang haben wir eine Einverständniserklärung vorbereitet, die diesem Schreiben beiliegt. An dieser Stelle möchten wir darauf hinweisen, dass wir nicht Sie oder Ihre Leistung bewerten, sondern ausschließlich an der Tauglichkeit der Anwendung interessiert sind.

Zeitraumen

Die Dauer der Studie beträgt insgesamt ca. 1 Stunde. Falls Sie sich zu irgendeinem Zeitpunkt unwohl fühlen und Ihre Teilnahme beenden möchten, ist das selbstverständlich auch ohne Angabe von Gründen möglich. Bitte wenden Sie sich dann an den Versuchsleiter.

Aziz Khashimov

Einverständniserklärung

Participant ID: _____

Einverständniserklärung

Informationen zur Studienleitung

Studienleiter: Aziz Khashimov

Institution: Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion, Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft, Universität Konstanz

Erklärung

Über das Ziel, den Inhalt und die Dauer der Studie wurde ich informiert. Im Rahmen dieser Studie werden in Fragebögen personenbezogene Daten erhoben. Zusätzlich wird die Studie auf Video aufgezeichnet, es werden Audioaufnahmen gemacht und Bewegungsdaten erfasst.

Hiermit bin ich darüber aufgeklärt, dass die personenbezogenen Daten vertraulich behandelt werden. Die Ergebnisse der Analyse der Video-, Audio- und Bewegungsdaten werden eventuell in späteren Publikationen pseudonymisiert veröffentlicht. Wir garantieren dabei absolute Diskretion. Es wird zu keinem Zeitpunkt Rückschluss auf Sie als Person möglich sein.

Ich wurde in die Gefährdungsbeurteilung zum Infektionsschutz sowie in die Evakuierungsvorschriften bei Brand- und Notfällen eingewiesen und habe diese zur Kenntnis genommen.

Optional

Ich bin damit einverstanden, dass meine Videodaten zusätzlich zu internen Präsentationszwecken genutzt werden können.

Hiermit erkläre ich mich mit den unter „Erklärung“ genannten Punkten und den angekreuzten optionalen Punkten einverstanden:

(Name)

Konstanz, _____ .2021
(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Hiermit verpflichtet sich die Studienleitung, die Video- und Audioaufzeichnung sowie sämtliche sonstigen gewonnenen Daten lediglich zu Auswertungszwecken im Rahmen dieser Untersuchung zu verwenden:

Aziz Khashimov
(Name)

Konstanz, _____ .2021
(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Demographischer Fragebogen

Participant ID: ____

Vorab Fragebogen

Herzlichen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben an dieser Untersuchung teilzunehmen. Bevor wir anfangen, benötigen wir von Ihnen noch einige Angaben zu Ihrer Person. Wir möchten Ihnen hiermit noch einmal mitteilen, dass alle Daten vertraulich behandelt werden.

Alter: _____

Geschlecht: weiblich männlich sonstiges keine Angabe

Ihre momentane Tätigkeit: _____

1) Sind Sie Links- oder Rechtshänder?

- Linkshänder
 Rechtshänder

2) Leiden Sie unter einer Farbsehschwäche (z.B. Rot-Grün-Sehschwäche)?

- nein
 ja, unter _____

3) Besitzen Sie physische Einschränkungen, die Sie bei der Bewegung behindern?

- nein
 ja

Participant ID: ____

4) Nutzen Sie im Alltag ein Smartphone?

nein

ja, ich schätze mich in der Benutzung damit ein als:

unerfahren sehr erfahren

5) Nutzen Sie im Alltag ein Tablet?

nein

ja, ich schätze mich in der Benutzung damit ein als:

unerfahren sehr erfahren

6) Haben Sie bereits Erfahrung mit „Mixed Reality“ (MR) Technologien/Apps?

nein

ja, ich schätze mich in der Benutzung damit ein als:

unerfahren sehr erfahren

Ich habe Erfahrung mit folgenden MR Anwendungen:

7) Haben Sie bereits Erfahrung mit Tracking-Systemen? (Wie z.B. Vuforia, Optitrack,...)

nein

ja, ich schätze mich in der Benutzung damit ein als:

unerfahren sehr erfahren

Ich habe Erfahrung mit folgenden Systemen:

Participant ID: ____

8) Haben Sie bereits Erfahrung mit der Durchführung von Mixed Reality Studien?

nein

ja, ich schätze mich in der Durchführung damit ein als:

unerfahren sehr erfahren

Aufgabe

Ihre Aufgabe

Im Folgenden werden Sie die Rolle eines Studienleiters einnehmen und eine Mixed Reality Studie vorbereiten und durchführen. Sie werden SPOT einsetzen um physische Objekte (Box und Tablet) zu präparieren und zu tracken.

Ihnen wird ein Smartphone mit SPOT, ein Stativ und Marker ("AprilTags") in verschiedenen Größen bereitgestellt. Die Größen und IDs der Marker sind auf den Rückseiten vermerkt.

Aufgabe 1: Für Ihre Studie möchten Sie die Position einer Box verfolgen und aufzeichnen. Erstellen Sie ein neues Projekt in SPOT mit dem Namen _____ und fügen Sie die Box als Target Object hinzu. Dafür müssen Sie je einen Marker an jede der sechs Seiten der Box anbringen.

Aufgabe 2: Zusätzlich zur Box möchten Sie für Ihre Studie auch ein Tablet tracken. Fügen Sie das Tablet der Liste von Target Objects hinzu. Dafür müssen Sie Marker an das Tablet anbringen.
Hinweis: Bei flachen Objekten können auch weniger als sechs Marker verwendet werden.

Aufgabe 3: Nun möchten Sie mit der Durchführung der Studie und ihrer Aufzeichnung beginnen.
Fixieren Sie das Smartphone auf dem Stativ und richten Sie es so aus, dass der Tisch in der Mitte des Raums sowie etwas Raum um diesen herum von der Kamera erfasst wird (etwa 3m x 3m). Starten Sie nun die Studie und zeichnen dafür zwei Sessions auf. Die Rolle des Studienteilnehmers wird von Ihrem Studienleiter übernommen. Dabei wird dieser die Objekte bewegen und Ihnen das Ende der jeweiligen Session mitteilen. Währenddessen können Sie die Tracking-Performance auf dem Smartphone Display beobachten.

Aufgabe 4: Ihre erste Studie ist abgeschlossen. Sie möchten eine zweite Studie durchführen, bei der zusätzlich ein Vive Tracker System verwendet wird. Damit die Koordinatensysteme der Trackingsysteme synchronisiert werden können, verwenden Sie einen Ankerpunkt (Anchorpoint).
Erstellen Sie ein neues Projekt mit dem Namen _____ und wählen Sie die Box und das Tablet als Targets aus. Platzieren Sie den Ankerpunkt Marker (Lila/violetter Rahmen) an eine von der Kamera gut sichtbare Position und kalibrieren sie diesen mit der App. Platzieren Sie anschließend den Vive Tracker auf den Ankerpunkt. Der Vive Tracker dient als Referenz Tracker für das Vive Tracking System.
Zeichnen Sie (wie in **Aufgabe 3**) zwei Sessions auf.

System Usability Scale (SUS) (Deutsche Version)

Fragebogen zur System-Gebrauchstauglichkeit

1. Ich denke, dass ich das System gerne häufig benutzen würde.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Ich fand das System unnötig komplex.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Ich fand das System einfach zu benutzen.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Ich glaube, ich würde die Hilfe einer technisch versierten Person benötigen, um das System benutzen zu können.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem System waren gut integriert.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Ich denke, das System enthielt zu viele Inkonsistenzen.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Menschen den Umgang mit diesem System sehr schnell lernen.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Ich fand das System sehr umständlich zu nutzen.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Ich fühlte mich bei der Benutzung des Systems sehr sicher.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. Ich musste eine Menge lernen, bevor ich anfangen konnte das System zu verwenden.

Stimme überhaupt nicht zu 1	2	3	4	Stimme voll zu 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Semi-Structured Interview

Participant ID: ____

Semi-Structured Interview

Allgemein:

Was ist Ihr erster Eindruck des Systems?

Worin sehen Sie die Stärken des Systems?

Worin sehen Sie die Schwächen des Systems?

Wenn Sie das System mit anderen gängigen Trackingsystem vergleichen, wo sind die Stärken und Schwächen des Systems?

Participant ID: _____

Visuelle Marker:

Wie schwer/leicht fiel Ihnen der Umgang mit den visuellen Markern? Warum?

Sind visuelle Marker Ihrer Einschätzung nach für das Tracking in Studien geeignet? Warum?

Ist die Geschwindigkeit mit der die App die Marker erkennt positiv/negativ aufgefallen?

Ist die Reichweite mit der die App die Marker erkennt positiv/negativ aufgefallen?

Warum wurde die verwendete Tag Size gewählt? Sollte das System den Nutzer bei der Entscheidung zusätzlich unterstützen?

Participant ID: _____

App:

Fiel Ihnen der Prozess zum Kalibrieren eines Tracking Targets (Tags des Objekts auswählen) schwer/leicht?

Finden Sie die Option, ein Tracking Target auch mit weniger als sechs Markern kalibrieren zu können, hilfreich?

Ist Ihnen in der Aufnahme-Szene etwas positiv/negativ aufgefallen?

Finden Sie die Ankerpunkt-Funktion der App hilfreich?

Gab es Probleme mit der Navigation innerhalb der App?

A. Appendix

Participant ID: _____

Haben Sie die Hilfenfenster verwendet? Wie hilfreich waren diese?

Können Sie sich vorstellen, SPOT für eine Ihrer Studien zu verwenden?

Gibt es Features die vermisst wurden oder hilfreich gewesen wären?

SD Karte

Die beiliegende SD Karte enthält eine digitale Kopie dieser Arbeit.