



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Usability von Augmented Reality bei der Indoor-Navigation

Ein Vergleich zwischen einer Augmented Reality-Applikation und einer analogen Karte

verfasst von / submitted by
Marcel Rönisch, B.Sc.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2021 / Vienna 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Kartographie und
Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Inhalt

Inhalt.....	ii
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	viii
Abkürzungsverzeichnis	ix
Kurzfassung.....	x
Abstract.....	xi
Danksagung.....	xii
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation	1
1.2 Relevanz	1
1.3 Augmented Reality und Usability.....	2
1.4 Problemstellung und Zielsetzung.....	4
1.5 Forschungsfrage und Arbeitshypothese	5
1.6 Aufbau der Arbeit.....	5
2 Grundlagen	7
2.1 Navigation	7
2.1.1 Orientierung & Referenzsysteme	9
2.1.2 Räumliches Wissen & Raumrepräsentation	10
2.1.3 Navigation mit verschiedenen Repräsentationsformen & Hilfsmitteln.....	11
2.1.4 Aufmerksamkeits-Ressourcen bei der Navigation	14
2.2 Technologie bei der Indoor-Navigation.....	15
2.2.1 Indoor-Positionierungs-Methoden	16
2.3 Augmented Reality	19
2.3.1 Augmented Reality als Navigationswerkzeug und Ausblick.....	23
2.4 Human Computer Interaction (HCI), Software Ergonomie, Usability Engineering & der historische Kontext.....	30
2.4.1 Usability	31

2.4.2	User Experience & Usability	38
2.4.3	Usability und Kartographie.....	41
3	Methodik	46
3.1	Überblick und generelle Überlegungen	46
3.2	Nutzungskontext.....	48
3.2.1	Teilnehmer / Benutzer	48
3.2.2	Testumgebung & Ressourcen	49
3.2.3	Ablauf, Aufgaben & Ziele	50
3.2.4	Das analoge System.....	51
3.2.5	AR-Applikation	54
3.3	Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung	57
3.3.1	Subjektive Usability.....	58
3.3.2	Orientierungssinn.....	59
3.3.3	Arbeitslast	61
3.3.4	Qualitative Daten	63
4	Ergebnis.....	65
4.1	Teilnehmer / Benutzer	66
4.2	SBSOD	67
4.3	NASA-TLX.....	68
4.4	Usability	70
4.4.1	Effektivität	70
4.4.2	Effizienz	71
4.4.3	Zufriedenstellung	72
4.5	Auswertung der Beobachtungen und Aussagen.....	73
4.5.1	Beobachtungen und Aussagen für das analoge System	73
4.5.2	Beobachtungen und Aussagen für die AR-Applikation GuideBOT	75
4.6	Gegenseitige Einflüsse	77
5	Diskussion	79

5.1 Effektivität.....	81
5.2 Effizienz.....	82
5.3 Zufriedenstellung.....	83
6 Zusammenfassung.....	86
6.1 Zielsetzung und Methodik.....	86
6.2 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	87
6.3 Schlussfolgerungen.....	88
6.4 Ausblick.....	89
7 Literatur.....	91
Anhang.....	i
Anhang A: Stammdaten.....	i
Anhang B: Fragebogen – Santa Barbara Sense of Direction.....	ii
Anhang C: Fragebogen – System Usability Scale.....	iii
Anhang D: Fragebogen – NASA Task-Load-Index.....	iv
Anhang E: Die analoge Karte für die MAP-Gruppe.....	vii
Anhang F: Aufgabeninformationsschilder.....	viii
Erklärung.....	viii

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Umgekehrte Ausrichtung von YAH-Karten sorgen für Ausrichtungsprobleme Quelle: Levine u. a. (1984)	12
Abbildung 2: Verschiedene Darstellungsformen aktueller digitaler Navigationssysteme, Quelle: Münzer (2015, online).....	13
Abbildung 3: Hauptkomponenten eines Smartphone Navigationssystems, Quelle: Konhoth u. a. (2020)	16
Abbildung 4: Grundprinzipien zur Positionsbestimmung mit signalbasierten Systemen. Quelle: Blankenbach (2017)	17
Abbildung 6: I. Sutherlands head-mounted 3D-Display. Quelle: Sutherland (1968)	19
Abbildung 5: Komponenten des „HUDset“ von Caudell & Mizell. Quelle: Caudell und Mizell (1992).....	20
Abbildung 7: Reality-Virtuality Continuum nach Milgram und Kishimo (1994). Quelle: Selbst erstellt nach Grafiken von Höllerer und Schmalstieg (2016) und Muršić (o.J., online).....	21
Abbildung 8: Kreislauf eines AR-Systems. Wechselwirkung zwischen Benutzer und Computersystem. Quelle: Eigene Darstellung nach einer Grafik von Schmalstieg und Höllerer (2016, S. 37).....	22
Abbildung 9: Touring Machine, a) getragene Hardware, b) Benutzer Ansicht mit virtuellen POI's und Kompassnadel, c) Restaurant Guide einer neueren Version, Quelle: a) & b) Feiner u. a. (1997), c) Höllerer und Feiner (2004)	23
Abbildung 10: Bekannte AR Applikationen. Links: Virtueller Pikachu in Pokémon Go, Mitte: Digitale Brille und virtuell gefärbte Haare bei Snapchat, Rechts: Digitaler Sessel in der Ikea Place App, Quelle: IKEA Möbelvertrieb OHG (2020); Niantic Inc. (2020a); Snap Inc. (2020)	24
Abbildung 11: Indoor-Navigations-System auf einem PDA. a) Kameraansicht mit AR-Inhalten, b) Drahtgittermodell des Gebäudes, c) Auto-basiertes Navigationssystem. Quelle: a) & b) Wagner und Schmalstieg (2003), c) Narzt u. a. (2006)	24
Abbildung 12: AR-Navigationslösungen. a) AR im Bordcomputer in einem Mercedes, b) AR im HUD eines VW, c) Aktivitäts-basierte Indoor-AR-Lösung mit Live-Anweisungen und world in miniature-Ansicht auf Codemarker, d) Google maps <i>Live-View</i> . Quelle: a) Autohaus Anders	

GmbH (2019), b) Volkswagen (2020), c) Mulloni, Seichter und Schmalstieg (2011), d) Etherington (2019).....	25
Abbildung 13: links: Globale Lokalisierung durch SLAM mit roten erkannten Feature-Punkten und einer virtuellen gelben Fassade aus einem Stadtmodell, rechts: Durch SLAM rekonstruierte akkumulierte Punktwolke und visualisiertem Kamerapfad. Quelle: a) Ventura <i>u. a.</i> (2014), b) Engel, Sturm und Cremers (2013)	26
Abbildung 14: Verbesserung der Umwelterkennung durch Tiefenerkennung, a) & b) Mit Hilfe der Google Depth API für Shopping Apps & Navigation, c) Immersive Darstellung und Nutzung der Tiefe durch LiDAR-Sensor auf dem iPad Pro. Quelle: a) & b) Valentin <i>u. a.</i> (2018), c) Apple Inc. (2020)	29
Abbildung 15: Das Modell der System Acceptability. Quelle: Nielsen (1993, S. 25), eigene Darstellung	32
Abbildung 16: Usability als Ergebnis der Nutzung, Quelle: ISO 9241-11 (2018, S.15), eigene Darstellung.....	34
Abbildung 17: Einordnung von Usability und User Experience nach Thomas Geis, Quelle: ProContext Consulting GmbH von Geis (2010).....	40
Abbildung 18: Ein simples Kommunikationsmodell von Robinson und Petchenik (1976). Quelle: Montello (2002), Eigene Darstellung	41
Abbildung 19: Kartographisches Kommunikationsmodell nach Koláčný (1969). Quelle: Montello (2002), Eigene Darstellung	42
Abbildung 20: Wechselseitige Abhängigkeit menschenzentrierter Gestaltungsaktivitäten. Quelle: ISO 9241-210 (2010, S. 15)	44
Abbildung 21: 90% (blau) und 50% (rot) Konfidenzintervall in Abhängigkeit von Fehlertoleranz vom Mittelwert unter Berücksichtigung der Anzahl getesteter Nutzer. Quelle: Nielsen (2006).....	49
Abbildung 22: Verschiedene Hinweisschilder in der Albertina (eigene Aufnahmen)	50
Abbildung 23: Die analoge Karte. Inklusive nummerierter Abfolge der gesuchten Bilder und Räume	53
Abbildung 24: Google VPS. a) Vor der visuellen Positionserkennung b) Nach der visuellen Positionserkennung mit virtuellem Inhalt. Quelle: Screenshots bearbeitet von Google AI Blog (2019)	54
Abbildung 25: AR-Indoor-Navigation Demonstrationsfallstudien von a) Dent Reality Ltd, b) Visualix GmbH, c) Pointr Ltd, d) INS Insider Navigation	

Systems GmbH, Quelle: Dent Reality, Visualix, Pointr, Insider Navigation (online).....	55
Abbildung 26: GuideBot App-Ansicht. Links: Begrüßung & Auswahlmenü, Mitte: Wegführung, Rechts: Anzeige des Ziels.....	56
Abbildung 27: Kategorien des NASA-TLX in der Online Version von Keith Vertanen (o.J.)	61
Abbildung 28: Boxplot der SBSOD Ergebnisse. Die Gruppen im Vergleich.....	67
Abbildung 29: Boxplot der gewichteten NASA-TLX Ergebnisse. Die Gruppen im Vergleich	68
Abbildung 30: Boxplot der ungewichteten NASA-TLX Ergebnisse pro Dimension. Die Gruppen im Vergleich. Die Breite der Boxplots ist abhängig von der durchschnittlichen Gewichtung (maximal 5)	69
Abbildung 31: Anzahl der Irrtümer pro Gruppe.....	70
Abbildung 32: Boxplot der Irrtümer. Die Gruppen im Vergleich.	70
Abbildung 33: Boxplot der Navigationszeiten. Die Gruppen im Vergleich.....	71
Abbildung 34: Boxplot der SUS Ergebnisse. Die Gruppen im Vergleich.....	72
Abbildung 35: Relation zwischen der durchschnittlichen SUS-Punktzahl und Perzentil-Rang einer Datenbank von 446 SUS-Studien. Als Vergleich ist eine Schulnoten-Skala dargestellt und die durchschnittlichen SUS-Punktzahlen der MAP- sowie APP-Gruppe wurden mit dem Konfidenzintervall eingezeichnet. Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von Sauro und Lewis (2016)	83
Abbildung 36: Vergleich von der SUS-Punktzahl-Skala mit anderen Skalen. Quelle: Bangor <i>u. a.</i> (2009)	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Komponenten des Nutzungskontextes Teil 1, Quelle: ISO 9241-11 (2018)	36
Tabelle 2: Komponenten des Nutzungskontextes Teil 2, Quelle: ISO 9241-11 (2018)	37
Tabelle 3: Teilnehmerzusammensetzung: Geschlecht, Alter, AR Bekanntheit, Kenntnis der Albertina	66
Tabelle 4: Mittelwerte der beiden Gruppen für die Fehler, Navigationszeiten und SUS. Jeweils für die Bekanntheit von AR und der Albertina sowie für das Geschlecht. Für die jeweiligen Kombinationen sind die Ergebnisse eines Zweistichproben-t-Test angegeben.	78
Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten (r) von Orientierungsvermögen, Arbeitslast sowie Alter korreliert mit Fehler, Navigationszeiten sowie Zufriedenstellung nach dem SUS	78
Tabelle 6: Korrelationskoeffizienten (r) der Usability-Metriken für Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung	80

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
AV	Augmented Virtuality
CTA	Concurrent Think Aloud
GNSS	Global Navigation(al) Satellite System
HCI	Human Computer Interaction
HMD	Head-mounted-Display
HUD	Heads-up-Display
IMU	Inertial Measurement Unit
ISO	International Organization for Standardization
LiDAR	Light Detection and Ranging
MR	Mixed Reality
NASA-TLX	National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index
PDA	Personal Digital Assistant
POI	Point of Interest
QR-Codes	Quick Response-Codes
RFID	Radio Frequency Identification
RSSI	Received Signal Strength indication
SBSOD	Santa Babara Sense of Direction
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
SUS	System Usability Scale
ToF	Time of Flight
UCD	User Centered Design
UWB	Ultra Wide Band
UX	User Experience
VPS	Visual Positioning Service
VR	Virtual Reality
WLAN	Wireless Local Area Network
YAH-Karten	You are here - Karten

Kurzfassung

Heutzutage gibt es diverse Hilfsmittel bei der Navigation im Outdoor-Bereich, welche überwiegend auf der Satellitennavigation aufbauen. Im Indoor-Bereich gibt es derzeit keine so weit verbreitete sowie allgemeingültige Technologie. Dennoch gibt es zahlreiche Ansätze, die beispielsweise auf Funksignale setzen, dabei allerdings für die Positionierung zusätzliche Infrastruktur benötigen oder andere Nachteile mit sich bringen. Augmented Reality ist einerseits eine Technologie, welche die reale Umgebung um virtuelle Inhalte erweitert, andererseits aber auch Indoor-Navigation ermöglicht. Hierbei kann nicht nur die praktische Darstellung von Navigationsanweisungen genutzt werden, sondern über Lokalisierung anhand eines 3D-Modells das *Wayfinding* von der Positionierung bis zur Zielerreichung durchgeführt werden. Diese Art der Navigation findet allerdings im Indoor-Bereich noch wenig Verwendung. Der Erfolg solch einer Technologie wird überwiegend durch den technischen Fortschritt getrieben, jedoch sind die nicht technischen Einflüsse, wie die soziale Akzeptanz sowie die menschlichen und kommerziellen Faktoren nicht zu marginalisieren. Aus diesem Grund liegt der Fokus dieser Arbeit auf den menschlichen Faktoren. In diesem Zusammenhang ist Usability ein abstraktes Konstrukt, welches allgemein als Erfolgsfaktor für interaktive Produkte steht und dabei die menschlichen Bedürfnisse als zentrales Element sieht. In dieser Arbeit wird die Nutzersicht der Problematik der Indoor-Navigation mit AR evaluiert, indem eine AR-Navigations-Applikation (*GuideBOT* von ViewAR) auf Usability untersucht wird. Des Weiteren wird sie der noch oft benutzten Navigation mit Hilfe eines analogen Systems (Karte + Informationsschilder) gegenübergestellt. Hierzu wurde eine Usability-Evaluierung durchgeführt, welche die Effizienz, Effektivität und Zufriedenstellung erfasst, indem die Zeiten (Time on Task) sowie die Fehlerrate (Error-rate) einer Navigationsaufgabe im Albertina Museum in Wien aufgenommen und eine Befragung zur wahrgenommenen Usability durchgeführt wurde. Dabei stellte sich heraus, dass die AR-Applikation effektiver sowie effizienter ist und von den Teilnehmern sowohl zufriedenstellender und nützlicher beurteilt wurde.

Abstract

Nowadays, there are various tools for navigation outdoors, which are mainly based on satellite navigation. Indoors, there is currently no such widespread and universal technology. Nevertheless, there are numerous approaches that rely for instance on radio signals but require additional infrastructure for positioning or have other disadvantages. Augmented reality is on the one hand a technology that expands the real environment with virtual content, but on the other hand also enables indoor navigation. Not only can the practical representation of navigation instructions be used, but the entire process of wayfinding from positioning to reaching the goal can be carried out via localization using a 3D model. However, this type of navigation is still rarely used indoors. The success of such a technology is driven mainly by technical progress, but the non-technical influences, such as social acceptance, human as well as commercial factors cannot be marginalized. For this reason, the focus of this work is on human factors. In this context, usability is an abstract construct that generally stands as a success factor for interactive products, seeing human needs as a central element. In this work, the user view of the problem of indoor navigation with AR is evaluated by examining an AR navigation application (*GuideBOT* from ViewAR) for usability. Furthermore, it is juxtaposed to the still frequently used navigation with the help of an analogue system (map + information signs). For this purpose, a usability evaluation was carried out, which records the efficiency, effectiveness and satisfaction by recording the times (time on task) as well as the error rate of a navigation task in the Albertina Museum in Vienna and conducting a survey on perceived usability. It turned out that the AR application is more effective, efficient and has been judged both more satisfactorily and useful by the participants.

Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gebührt Herrn Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl, welcher mir mit seiner fachlichen Expertise und kompetenten Beratung sowie Unterstützung stets zur Seite gestanden ist.

Ebenso möchte ich mich herzlich bei den Mitarbeitern des Albertina Museums in Wien bedanken, die mir bei der praktischen Umsetzung meiner Arbeit äußerst entgegengekommen sind. Insbesondere möchte ich Frau Verena Dahlitz und Frau Ivana Novoselac-Binder für die gute und unkomplizierte Zusammenarbeit danke sagen.

Des Weiteren bedanke ich mich bei der Firma ViewAR, für das zur Verfügung stellen der AR-Navigations-Applikation in den Räumlichkeiten des Albertina Museums. Mein besonderer Dank gilt hierbei Herrn Markus Meixner und Herrn Andreas Schreiner, welche mit mir sämtliche Details abgesprochen und auf meine Fragen sowie Anregungen stets rasch reagiert haben.

Zu großem Dank bin ich vor allem auch all jenen Freunden, Verwandten, Bekannten sowie Freiwilligen verpflichtet, welche an meiner Untersuchung teilgenommen haben und somit die Grundlage für sämtliche Erkenntnisse, die im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit gezogen werden, bilden.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Freundin Lisa für all die Geduld, Verständnis und Motivation bedanken. Ohne dich würde diese Arbeit immer noch nicht fertig sein und vor allem haben deine Korrekturen sie erst lesbar gemacht.

Eine weitere, tatkräftige Unterstützung war auch meine Familie, auf welche ich mich während meines Studiums immer verlassen konnte und die mir stets meinen Rücken gestärkt hat.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Wer kennt es nicht? Während man gemütlich durch die Gassen spaziert, kommt plötzlich eine Person auf einen zu und erkundigt sich nach dem Weg. In manchen Fällen reicht die mentale Karte aus, um dem Ortsunkundigen weiterhelfen zu können. Oftmals greifen viele jedoch mittlerweile zu ihren Smartphones, öffnen die Karten- beziehungsweise Navigationsapplikation ihrer Wahl und erklären anhand dieser den Weg.

Dieselbe Situation sieht allerdings ganz anders in größeren Gebäudekomplexen aus. Wenn man sich hier selbst nicht auskennt, muss man die fragende Person entweder vertrösten, an wen anderen verweisen oder gemeinsam die nächste Übersichtskarte suchen. Im Rahmen meines beruflichen Werdegangs habe ich in einem Museum gearbeitet, das zu einen der größeren Museen in Wien zählt. Dieses besitzt neben den Schildern, Übersichtskarten und Faltprospekten allerdings keine weiteren Systeme, welche den Besuchern dabei helfen, einfacher an ihr Ziel zu kommen. Da ich als Angestellter leicht zu erkennen war, verging selten ein Tag, an dem ich von Besuchern nicht danach gefragt wurde, wo sich zum Beispiel ein bestimmtes Exponat, eine gesuchte Ausstellung oder die nächste Toilette befindet.

Angesichts der heutigen Technologien habe ich mir die Frage gestellt, wieso es hier noch keine allgemein gültige Lösung gibt. Im Zuge dieser Arbeit möchte ich einen kleinen Teil dazu beitragen, dass solche Fälle in Zukunft vielleicht besser gelöst werden können.

1.2 Relevanz

Bei der Erkundung neuer, unbekannter Gebiete greifen heutzutage immer mehr Menschen zu ihren Smartphones. Im Outdoor-Bereich gibt es viele Techniken und Applikationen, die in den meisten Fällen das Global Navigation(al) Satellite System (GNSS) nutzen, da dieses sehr genau, präzise und effektiv arbeitet (Enge und Misra, 1999). Bei der Verwendung dieser Technologie muss allerdings eine freie Sicht vom Empfänger zum Satelliten vorhanden sein. Diese Voraussetzung ist für den Indoor-Bereich jedoch oftmals nicht gegeben. Hinzu kommen Hindernisse, wie beispielsweise infrastrukturelle Barrieren, Datenschutzerfordernungen oder Signalabschwächungen, welche ebenfalls überwunden werden müssen. Hierfür gibt es keine allgemein anerkannte beziehungsweise weit verbreitete und geeignete Lösung (Joshi u. a., 2020).

Die Indoor-Navigation gewinnt zunehmend an Bedeutung und ist vor allem für Gebäude mit großen sowie komplexen Strukturen interessant, wie beispielsweise Flughäfen, Bahnhöfe, Einkaufszentren, Krankenhäuser, Großraumbüros oder Museen. In solchen Bauwerken kann eine Indoor-Navigationslösung die Erfahrung eines Besuchers sowie die Arbeit eines Angestellten verbessern beziehungsweise vereinfachen. (Sakpere, Adeyeye-Oshin und Mlitwa, 2017)

Es gibt diverse Technologien, die sowohl zur Positionsfindung als auch zur Navigation im Indoor-Bereich genutzt werden können. Jede dieser Technologien hat ihre Vorteile, aber auch Nachteile und dies führt dazu, dass sich bis jetzt noch keine Technologie als dominant herausgestellt hat. Augmented Reality (AR) könnte bei einigen Nachteilen anderer Technologien Abhilfe schaffen. Die neusten AR-Anwendungen sind mittlerweile nicht mehr abhängig von zusätzlicher Infrastruktur für die Positionierung und basieren dabei weder auf Sendung noch auf Empfang von störungsanfälligen Signalen (Joshi *u. a.*, 2020). Aus diesen Gründen ist AR unter anderen Gegenstand dieser Arbeit.

Bei AR werden zusätzliche Informationen mit der realen Außenwelt unmittelbar in Verbindung gebracht. Diese meist virtuellen Informationen werden anhand der Gegebenheiten der Außenwelt ausgerichtet, angepasst und gemeinsam auf einem Display visualisiert, damit eine möglichst immersive Einheit aus virtueller und realer Welt entsteht. Ein sehr wichtiger Punkt für die vorliegende Arbeit ist allerdings nicht nur die Möglichkeit der Erweiterung um virtuelle Inhalte, sondern speziell das Verständnis der Umwelt von AR.

Während AR im Bereich Entertainment häufig genutzt wird, ist es im Bereich der Indoor-Navigation noch nicht etabliert. Dabei ist AR nicht nur ein System, welches von der Infrastruktur unabhängig ist. So besitzen die heutigen Smartphones größtenteils schon sehr zufriedenstellende Kameras, Softwarelösungen werden durch die gängigen Betriebssysteme unterstützt und die Rechenleistung der Smartphones ist ausreichend, um die Aufgabe der Indoor-Navigation mittels AR zu bewältigen (Joshi *u. a.*, 2020).

1.3 Augmented Reality und Usability

Geht man einen Schritt zurück und betrachtet Location Based Services (LBS), zu denen unter anderen die Indoor-Navigation zählt, wird klar, dass diese immer öfter genutzt und populärer werden. Im Indoor-Bereich mangelt es noch an der Qualität der Services. Die Verfügbarkeit, die Genauigkeit und die Kostenfaktoren sind hier Anforderungen, die in den meisten Fällen nicht komplett erfüllt werden (Basiri *u. a.*, 2017). Bei der Verbreitung beziehungsweise beim Erfolg von LBS spielen neben diesen überwiegend technischen, auch die nicht technischen Einflüsse eine große Rolle. Dazu zählen unter anderem die kulturellen Unterschiede, die soziale Akzeptanz sowie die menschlichen und kommerziellen Faktoren (Basiri *u. a.*, 2016). Der technische Fortschritt, wie zum Beispiel die Miniaturisierung oder die bessere

Rechenleistung, verbessert zwar die Akzeptanz, allerdings macht die Haltung eines mobilen AR Systems beispielsweise deutlich, dass die Interaktivität mit diesen Systemen noch nicht in einem natürlichen Rahmen funktioniert (Chatzopoulos *u. a.*, 2017). Bei konventionellen Navigationssystemen werden Navigationsanweisungen abstrahiert und meist in einer Vogelperspektive wiedergegeben. Diese Technik hat einerseits zwar Effizienz bewiesen, allerdings ist sie in Bezug auf die User Experience noch verbesserungsfähig. Um die abstrakte Darstellungsweise beispielsweise zu verstehen, bedarf es Erfahrung und vor allem auch mentale Arbeit. Da bei der AR die reale Welt mit Hilfe von virtuellen Informationen erweitert wird und zusätzlich kontextspezifische Informationen dargestellt werden können, kann AR Abhilfe schaffen. Indem kein umständliches perspektivisches Umdenken mehr stattfindet oder viel Aufwand betrieben werden muss, um Informationen auf die reale Welt zu übertragen, wird dem Nutzer viel Arbeit abgenommen. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist das Interface Design, bei welchem darauf geachtet werden muss, dass der Benutzer nicht mit Informationen überladen wird oder die virtuellen Informationen die Wahrnehmung der Realität verdecken (Bhorkar, 2017). Des Weiteren kann das aktive Filmen der Umgebung Probleme bezüglich der sozialen Akzeptanz hervorrufen. Andere Menschen können sich in ihrer Privatsphäre gestört fühlen, was wiederum bedeuten würde, dass neben der technischen Entwicklung auch die allgemeine Akzeptanz von AR optimiert werden muss (Bhorkar, 2017; Chatzopoulos *u. a.*, 2017).

Trotzdem verbessert AR die User Experience beziehungsweise Usability, indem beispielsweise die kognitive Belastung, der Aufmerksamkeitswechsel und die Interaktionskosten reduziert werden. So wird einem die Wahrnehmung der eigenen Position abgenommen oder erleichtert. Zusätzlich findet kein Umdenken von exozentrischer Aufsicht bei Karten zu egozentrischer Ansicht bei AR statt, weshalb die Nutzer die Anweisungen hauptsächlich passiv befolgen müssen (Huang, Schmidt und Gartner, 2012; Li und Fessenden, 2016).

Laut Kim *u. a.*, (2018) ist bei einer Überprüfung aller Paper von dem internationalen Symposium für Mixed and Augmented Reality herausgekommen, dass Nutzerbewertungen und -feedbacks zentrale Inhalte in der Periode von 2008-2017 waren. Je mehr AR somit in den Vordergrund rückt, desto wichtiger wird das Überprüfen anhand von realen Benutzern. Um von den Endnutzern weithin akzeptiert zu werden, müssen die Usability und die User Experience von AR weiter überprüft und verbessert werden (Dey *u. a.*, 2018; Kim *u. a.*, 2018). Die vorliegende Arbeit setzt sich mit dieser Thematik auseinander und möchte einen Teil zur Erforschung dieses Feldes beitragen. Im Folgenden soll die Problemstellung sowie die Zielsetzung nochmals etwas hervorgehoben und die Arbeitshypothesen festgelegt werden.

1.4 Problemstellung und Zielsetzung

Die AR-Navigationsmethode ist infrastrukturell kostengünstig und umgeht Probleme der Signaleigenschaften bisheriger etablierter Indoor-Navigationsmethoden. Anhand von durchgeführten Machbarkeitsstudien lässt sich erkennen, dass AR bereits zur Indoor-Navigation sowie als Positionierungswerkzeug genutzt werden kann. Dennoch ist diese Art der Indoor-Positionierung und -Navigation nicht weit verbreitet. So liegt der Fokus der meisten Forschungen im Bereich der AR-Indoor-Navigation hauptsächlich auf der Implementierung der Technologie selbst. Aspekte der Usability werden für den Indoor-Raum weniger berücksichtigt und die Akzeptanz des Endnutzers wird weniger beachtet (Mulloni, Seichter und Schmalstieg, 2011). Brown und Pinchin (2013) stellten fest, dass es im Bereich der Navigation einige Untersuchungen gibt, welche sich mit den menschlichen Faktoren beschäftigen haben. Von diesen haben sich jedoch nur wenige Fälle mit der Navigation im Indoor-Raum befasst. Wenn man beispielsweise die Indoor-Besucherführung in Wiener Kulturstätten betrachtet, fällt auf, dass dort hauptsächlich noch analoge Übersichtskarten oder sogenannte „You are here – Karten“ (YAH-Karten) zum Einsatz kommen. Auf den Webseiten oder in den Smartphone Applikationen dieser Kulturstätten sind meist nur digitalisierte Formen dieser analogen Karten und keine Positionsermittlung bzw. Routenführung zu finden. Vereinzelt gibt es bereits AR-Applikationen, welche allerdings nicht die Positionierungs- beziehungsweise Navigationsmöglichkeiten nutzen, sondern lediglich zusätzliche virtuelle Inhalte über Marker bereitstellen. Bisherige Usability-Studien mit Handheld AR-Applikationen sind zu dem Ergebnis gekommen, dass Probleme sowohl aufgrund der unnatürlichen Haltung während der aktiven Nutzung als auch aufgrund von ungenauen Positionierungen von virtuellen Inhalten, entstehen können. Schwierigkeiten können allerdings auch dann auftreten, wenn sich Personen zu sehr auf den Handybildschirm fokussieren und dadurch eine eingeschränkte Wahrnehmung haben (Santos *u. a.*, 2014). Diese Arbeit möchte die Nutzersicht der Problematik der Indoor-Navigation mit AR bewerten und in Relation zu implementierten Methoden setzen. Dazu soll eine AR-Navigations-Applikation auf Usability sowie empfundene Arbeitslast untersucht und einer Navigation mit Hilfe einer analogen Karte gegenübergestellt werden.

Als AR-Applikation sollte eine Anwendung genutzt werden, welche einerseits potenzielle Kosten für Infrastruktur, die beispielsweise bei vielen Anwendungen für die Positionierung genutzt wird, vermeidet und andererseits verhältnismäßig schnell für eine Lokation eingerichtet werden kann. Die Lokation sollte dabei groß und komplex genug sein, dass eine Navigationsaufgabe nicht zu einfach ist. Eine vorherige Recherche aktueller AR-Anwendungen (genauer beschrieben in Kapitel 3.2.5) hat ergeben, dass es zu diesem Zeitpunkt keine frei verfügbare AR-Anwendung mit diesem Leistungsumfang gibt. Aus einer Liste von Entwicklern proprietärer Software wurde ViewAR GmbH, hauptsächlich durch ihre Ansiedlung in Wien und wegen ihrer Bereitschaft eine Einrichtung einer Demoversion für ein Wiener Museum zu unterstützen, ausgewählt. ViewAR bietet hierfür eine Template-

basierte Software zur Programmierung von AR-Applikationen an. Ein vorgefertigtes Template ist der *GuideBOT*, welcher den Nutzer mit Hilfe eines virtuellen AR-Charakters zu definierten Points of Interest (POI) führt. Die Tests fanden in dem Albertina Museum in Wien statt, welches Interesse für eine Demoversion einer Navigations-Applikation zeigte, einen großen sowie komplexen Innenraum verfügt und für die Gästeführung lediglich ein System aus Schildern nutzt.

1.5 Forschungsfrage und Arbeitshypothese

Aus der Problemstellung und der Zielsetzung ergibt sich die folgende Forschungsfrage:

Ist eine AR-Applikation, als Werkzeug zur Indoor-Navigation effektiver beziehungsweise effizienter als eine analoge Karte und wird die AR-Lösung von Nutzern als nützlicher und zufriedenstellender befunden?

Dabei lassen sich folgende Arbeitshypothesen ableiten:

Die AR-Lösung für die Indoor-Navigation führt die Nutzer

- *schneller*
- *genauer*
- *zufriedenstellender*

an ihr Ziel als die Navigation mit der analogen Karte.

Die AR-Lösung für die Indoor-Navigation ist für die Nutzer kognitiv weniger belastend als die Navigation mit der analogen Karte.

1.6 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit besteht grundsätzlich aus einem theoretischen Teil und einem praktischen Teil.

In Kapitel 2 werden sämtliche relevanten Grundlagen für diese Arbeit beschrieben. Die gewählte Aufgabenstellung behandelt die Arten der Navigation durch den Indoor-Raum und setzt den Vergleich von einer AR-Navigation zu den heutzutage meistens implementierten Methoden, wie beispielsweise die analoge Karte. Aus diesem Grund wird im Theorieteil auf die Prinzipien der räumlichen Kognition beziehungsweise des Wayfindings eingegangen. Außerdem wird ein Überblick über die aktuelle Situation von Indoor-Navigation- beziehungsweise Positionierungsmethoden gegeben. AR bietet sich hierbei als eine aussichtsreiche Technologie an, welche ebenfalls zur Indoor-Positionierung sowie -Navigation verwendet werden kann und wird genauer in Kapitel 2.3 behandelt. Die Art der

späteren Nützlichkeitsbeurteilung soll nicht explizit aus technologischer Sicht erfolgen, sondern bezieht sich hauptsächlich auf die Nutzereinschätzung, weshalb im Grundlagenteil auf die Herkunft und das Konzept der Usability eingegangen wird. Neben der Usability, welches das Hauptthema dieser Arbeit ist, wird auch auf die User Experience eingegangen, da diese Begriffe oft miteinander verwechselt werden und die Abgrenzung nicht immer ganz eindeutig ist.

In Kapitel 3 werden die verwendeten Methoden und deren Auswahl behandelt. Des Weiteren wird auf die AR-Applikation und Konfigurierung der Demoversion eingegangen, der Ablauf der anschließenden Usability-Evaluierung definiert und die verwendeten Fragebögen werden erläutert.

Kapitel 4 zeigt die Auswertung des praktischen Teils dieser Arbeit. Es werden die Navigationszeiten, die Zusammenfassung der Ergebnisse der Fragebögen sowie die Beobachtungen der Usability-Evaluierung ausgewertet und anschaulich dargestellt.

In Kapitel 5 werden diese Ergebnisse in Relation zueinander, zu der Forschungsfrage beziehungsweise Arbeitshypothese und zu der recherchierten Literatur gesetzt.

Kapitel 6 gibt eine Zusammenfassung der gesamten Arbeit und eine Reflexion beziehungsweise Evaluation der Ergebnisse. Überlegungen zu weiterführender Forschung und ein genereller Ausblick beenden dieses Kapitel.

2 Grundlagen

2.1 Navigation

Wie finden sich Menschen in ihrer Umgebung zurecht? Was steckt hinter Navigation? Wie navigiert der Mensch? Wie erreicht jemand räumliches Wissen und wie sieht dieses aus? Dies sind einige Beispiele all jener Fragen, welche bei der Forschung von Navigation gestellt werden. Letztendlich fühlt sich das Gefühl verloren zu sein oder nicht zu wissen, wo es entlang geht, nicht gut an. Darken & Peterson (2001, S.1) zufolge wird das Ziel der Navigationsforschung oftmals als eine Situation wahrgenommen, in der jeder orientiert ist und immer genau weiß, wie man einen gewünschten Ort erreicht. Allerdings geht es dabei um viel mehr als nur um das reine Erlangen von räumlichem Wissen. Darken & Peterson (2001, S. 1) beschreiben dies folgendermaßen:

„The path of discovery rarely lies on a known road. The experience of serendipitous discovery is an important part of human navigation and should be preserved.“

Aus diesem Zitat geht hervor, dass sich die Navigation nicht nur aus der räumlichen Erkenntnis, sondern beispielsweise auch aus dem Entdecken zusammensetzt. Folglich wird die Navigation als Mittel zum Zweck und nicht als motivierender Sinn gesehen. Diese kann als ein notwendiger Prozess beschrieben werden, wenn wir uns über oder durch Räume bewegen. Die Suche nach Wegen und das Zurechtfinden im Raum gehören zu den grundlegenden beziehungsweise alltäglichen Aufgaben eines Menschen. Im Folgenden werden die Hintergründe und die Herkunft der Navigation beschrieben.

Navigation leitet sich aus dem lateinischen Wort *navigare ab*, welches in das Deutsche übersetzt fahren oder segeln bedeutet. Im weitesten Sinne gibt es bei der Navigation folgende drei Teilbereiche:



Bestimmung beziehungsweise Wahrnehmung der Position



Berechnung des Weges zu einem Ziel



Bewegung zu dem Ziel.

Das Wahrnehmen und das Planen sind dabei kognitive Prozesse, die unter dem Schlagwort Wegfindung (*Wayfinding*) zusammengefasst werden und der

physikalischen Bewegung, sprich der *Locomotion* (von lateinisch *locus* „Ort, Stelle“ und *motio* „Bewegung“), gegenüberstehen (Montello, 2005). Diese beiden Prozesse sind meist miteinander verbunden und bauen aufeinander auf. In den meisten Fällen wird eine Strategie ausgewählt (*Wayfinding*) und folglich auch in die Tat umgesetzt (*Locomotion*). Das *Wayfinding* und die *Locomotion* können jedoch auch gänzlich voneinander getrennt sein. Beispielsweise wird die Planung eines zukünftigen Trips, welchen eine andere Person bestreitet, auch zum *Wayfinding* gezählt, während die reine Durchführung oder das Erkunden ohne Wunschziel zu *Locomotion* gehört.

Locomotion ist ein verinnerlichter Prozess und beruht auf der unmittelbaren Wahrnehmung der Umgebung. *Wayfinding* hingegen, bedarf einer bewussten Planung und bedient sich dabei räumlichen Repräsentationen. Diese können entweder interner Herkunft, wie bei einer kognitiven Karte oder externer Herkunft, wie bei einer analogen Karte, sein. Die kognitive Karte ist dabei eine verinnerlichte Repräsentation des Raumes und wird in Kapitel 2.1.2 genauer beschrieben. Die Orientierung im Raum ist dabei eine essentielle Voraussetzung (Montello, 2005; Winter, 2019). Die beschriebenen Prozesse fallen unter den Bereich der Kognition, der wiederum ein Sammelbegriff für bewusste und unbewusste mentale Prozesse ist, wie beispielsweise Wahrnehmung, Nachdenken, Aufmerksamkeit oder Erinnerung. Ein Spezialbereich der Kognition ist die räumliche Kognition, sprich die Wahrnehmung, die Verarbeitung und die Repräsentation des Raumes.

Die Wissenschaft der Raumkognition hat ihren Ursprung in den 1950er- und 1960er-Jahren. Sie ist ein zunehmend interdisziplinäres Forschungsgebiet und umfasst Disziplinen wie Kartographie, Geographie, Philosophie, Linguistik, Informatik, Neurologie, Architektur oder Biologie. Die Raumkognition untersucht die räumliche Wahrnehmung und den Erhalt räumlichen Wissens beziehungsweise Prozesse und Strukturen der raum- und umweltbezogenen Informationsverarbeitung bei Menschen und Tieren (Montello, 2001). Geographen beziehungsweise Kartographen verfolgen unter anderem das Ziel, die Nutzung sowie das Design von Karten oder technischen Systemen, welche auf dem Verständnis von dargestellten räumlichen Relationen basieren, effizienter zu gestalten. Eine weitere Intention stellt die Verbesserung der Kommunikation zwischen Menschen und der Karte sowie kartenverwandte Darstellung dar (Montello, 2001; Winter, 2019). Die beschriebene Beziehung zwischen Menschen und (kartographischen) Produkt beziehungsweise Maschine, die dieses Produkt darstellt, ist wiederum zentraler Bestandteil der Wissenschaft der Human Computer Interaction (HCI), welches in Kapitel 2.4 aufgegriffen und genauer beschrieben wird. Vorher soll in den nächsten Abschnitten jedoch noch geklärt werden, wie sich Menschen im Raum orientieren, bewegen und wie der Raum wahrgenommen sowie abgespeichert wird.

2.1.1 Orientierung & Referenzsysteme

Die Orientierung im Raum setzt voraus, dass sich jemand in Relation zu etwas Abstraktem oder Konkretem befindet. Dieser Zusammenhang kann wiederum anhand von allozentrischen und egozentrischen Referenzsystemen beschrieben werden. Während die Positionen beim egozentrischen System relativ zum eigenen Körper gesehen werden, werden diese beim allozentrischen System zu etwas referenziert, was sich außerhalb des eigenen Körpers befindet. So kann man Positionen beispielsweise in Relation zu festen Landmarken sehen, wie das eigene Zuhause oder andere markante Punkte in der Umgebung. Zu den allozentrischen Systemen zählen unter anderem auch abstraktere Referenzsysteme, wie die geodätischen Bezugssysteme. Im Kontext der Navigation haben sich die egozentrischen Systeme vor allem bei kleineren Räumen als nützlich erwiesen. Diese verlieren jedoch aufgrund der zeitlichen Unbeständigkeit und mit zunehmender Größe des Raumes ihre Wirkung. Allozentrische Systeme hingegen gewähren auch über größere Räumlichkeiten einen Überblick und erweisen sich über große Distanzen daher oft als nützlich (Montello, 2005).

Essenziell für die Navigation ist die Orientierung. Dabei wird das Wissen über die eigene Position und die Ausrichtung im Raum vorausgesetzt. Bei der Orientierung während der Navigation gibt es zwei fundamentale Strategien. Bei der ersten werden bekannte Stellen, Objekte oder Landmarken erkannt. Diese dienen als Schlüsselpunkte zur Wiedererkennung von räumlichen Beziehungen, die beispielsweise in einer kognitiven Karte, einer kartographischen Karte oder auch bei anderen Repräsentationen zu finden sind. Bei der zweiten Strategie wird die Orientierung aktualisiert, indem das Bewusstsein der zurückgelegten Strecke aus der Richtung, Geschwindigkeit und Beschleunigung (Wegintegration oder *dead reckoning*-Strategie) integriert wird (Montello, 2001). Bei der landmarkenbasierten Orientierung ist es oft der Fall, dass der Bezug zum eigentlichen Ziel nicht sofort hergestellt werden kann. Aus diesem Grund wird in der näheren Umgebung nach Landmarken gesucht, welche einem helfen, die Position und die Richtung auf einer räumlichen Repräsentation (kognitiv oder anders) zu finden. Dadurch soll der Bezug zum Ziel hergestellt werden. Bei der *dead reckoning*-Strategie besteht immer ein Bezug zu einem Startort, wobei der Weg von diesem integriert wird (Montello, 2005). Menschen wenden diese beiden Strategien oftmals zusammen an, um sich im Raum zu orientieren. Deren Sinne aktualisieren dabei stets die eigene Orientierung im Bezug zur internen oder externen Raumrepräsentation (Wolbers u. a., 2008). Dieser Prozess wird auch als *cognitive mapping* bezeichnet (Downs und Stea, 1973).

2.1.2 Räumliches Wissen & Raumrepräsentation

Ein weit verbreitetes Modell, welches sich mit dem räumlichen Wissenserwerb von Menschen befasst, ist jenes von Siegel & White (1975). Dieses geht davon aus, dass sich das räumliche Wissen anhand von folgenden drei aufeinander aufbauenden Sequenzen entwickelt:

Modell des räumlichen Wissenserwerb nach Siegel und White (1975)

Landmarkenwissen (*landmark knowledge*)

In dieser Phase lernen die Menschen bestimmte, markante oder auffällige Eigenschaften sowie Objekte in ihrer Umgebung kennen. Sie können sich von diesen beziehungsweise zu diesen bewegen und diese auch zueinander in Beziehung setzen. Landmarken können beispielsweise Kreuzungen, markante Gebäude, wie der Eiffelturm in Paris oder auch bewusst angesteuerte Ziele, wie das Büro, zu dem navigiert wird, sein. Sie gelten dabei oft als Referenz oder Entscheidungspunkte.

Routenwissen (*route knowledge*)

Dieses Wissen beinhaltet sowohl die spezifischen Wege von einer Lokation zu einer anderen als auch Sequenzen von Landmarken und deren dazugehörigen Navigationsentscheidungen.

Überblickswissen (*survey knowledge*)

Bei dem Überblickswissen wird das Landmarkenwissen mit dem Routenwissen in ein gemeinsames Referenzsystem gebracht. Diese müssen jedoch nicht zwingend miteinander verbunden sein. Das Überblickswissen ist die fortgeschrittene Form des räumlichen Wissens und ermöglicht es räumliche Zusammenhänge zu verstehen und beispielsweise Umgehungen oder Abkürzungen zu finden.

Siegel & White (1975) zufolge sind diese Sequenzen streng aufeinander aufgebaut und können dementsprechend erst nacheinander gelernt werden. So müssen die Landmarken, beispielsweise durch das visuelle Erkennen oder Lesen von bestimmten Punkten in einem Reiseführer, zuerst erkannt werden. Durch das Begehen der Umgebung werden im Anschluss verschiedene Routen dazwischen erlebt oder erlernt. Erst danach kann ein Überblickswissen erlangt werden, bei welchem die Informationen verdichtet, integriert sowie in Relation zueinander gesetzt werden. In den darauffolgenden Jahren wurden die Elemente dieses Modells zwar oft aufgegriffen, allerdings wurde darauf hingewiesen, dass die strikte Reihenfolge dieser Sequenzen bei der Aneignung eines räumlichen Wissens nicht zwingend eingehalten werden muss. So können sich Menschen zum Beispiel auch durch das bloße Lesen einer Karte ein Überblickswissen aneignen (Ware, 2012; Winter, 2019).

Das erworbene räumliche Wissen, welches aus der wahrgenommenen Umgebung erkannt und kodiert wurde, wird in Form einer kognitiven Karte abgespeichert. Diese stellt eine interne Repräsentation des physischen Raumes sowie der räumlichen Beziehungen dar und wurde erstmals von Tolman & Honzik (1930) beschrieben. Die beiden Forscher haben verschiedene Experimente mit Ratten durchgeführt und unter anderem untersucht, wie sich diese in einem Labyrinth zurechtfinden. Dabei sind sie zu der Erkenntnis gekommen, dass die Ratten weder per Zufall einen Weg gewählt noch gelernt haben, an welchen Stellen sie eine bestimmte Abzweigung nehmen müssen. Stattdessen gingen die beiden davon aus, dass sich die Ratten eine kognitive Karte angeeignet und anhand dieser deren Entscheidungen getroffen haben. Neben den Richtungen, Routen, Distanzen und Landmarken werden bei der kognitiven Karte auch nicht räumliche Attribute sowie emotionale Assoziationen miteinander verknüpft und abgespeichert. Diese Repräsentation muss allerdings nicht zwingend einer detailgetreuen, analogen Karte gleichen. Stattdessen kann sie sowohl diskrete Rauminformation beinhalten als auch lückenhafte, nur teilweise miteinander verbundene Information. Dabei ist diese auch meistens nicht in einem perfekten euklidischen Raum lokalisiert. So können in den Gedanken die Kurven zu Geraden werden und manche Wege, welche in eine Richtung eine bestimmte Länge haben, auf dem Rückweg kürzer oder länger erscheinen (Montello, 2001).

2.1.3 Navigation mit verschiedenen Repräsentationsformen & Hilfsmitteln

Im Gegensatz zu der kognitiven Karte sind kartographische Karten oder kartenverwandte Ausdrucksformen ein gutes Beispiel für externe räumliche Repräsentationen. Neben dem Nutzen dieser Produkte und den vielen anderen Funktionen, wie beispielsweise die Wissensvermittlung, ist die Verwendung der Karte als Hilfsmittel bei der Navigation eine der zentralsten Eigenschaften von Karten sowie kartenverwandten Ausdrucksformen. Für die Navigation spielt die Orientierung einer Karte eine wichtige Rolle. Unserer gesellschaftlichen Konvention nach sind heutige Karten oft nach Norden ausgerichtet. Eine abweichende Darstellung wird oftmals als merkwürdig oder falsch empfunden. Des Weiteren ist die Ansicht einer Karte in den meisten Fällen aus der Vogelperspektive und befindet sich in einem allozentrischen Referenzsystem. Aus diesen Gründen braucht es wiederum kognitiven Ressourcen, um die Karte wiederzuerkennen oder zu nutzen. Dies kann in manchen Fällen auch zu einer Desorientierung führen. Die allozentrische Sicht kann aber auch vorteilhaft sein, da daraus ein gutes Überblickswissen und eine genauere kognitive Karte gewonnen werden kann, mit der wiederum die Navigation leichter fällt (Münzer, Zimmer und Baus, 2012). Für das Ziel der Navigation ist die Orientierung der Karte meist am hilfreichsten, wenn sie in Blick- oder Bewegungsrichtung, sprich „vorwärts“ orientiert ist.

Aus diesem Grund lässt sich häufig beobachten, dass einige Menschen deren Karte während der Navigation anhand der Blickrichtung ausrichten oder sie in diese drehen (Montello, 2005). Diese Tätigkeit kann entweder physikalisch erledigt oder

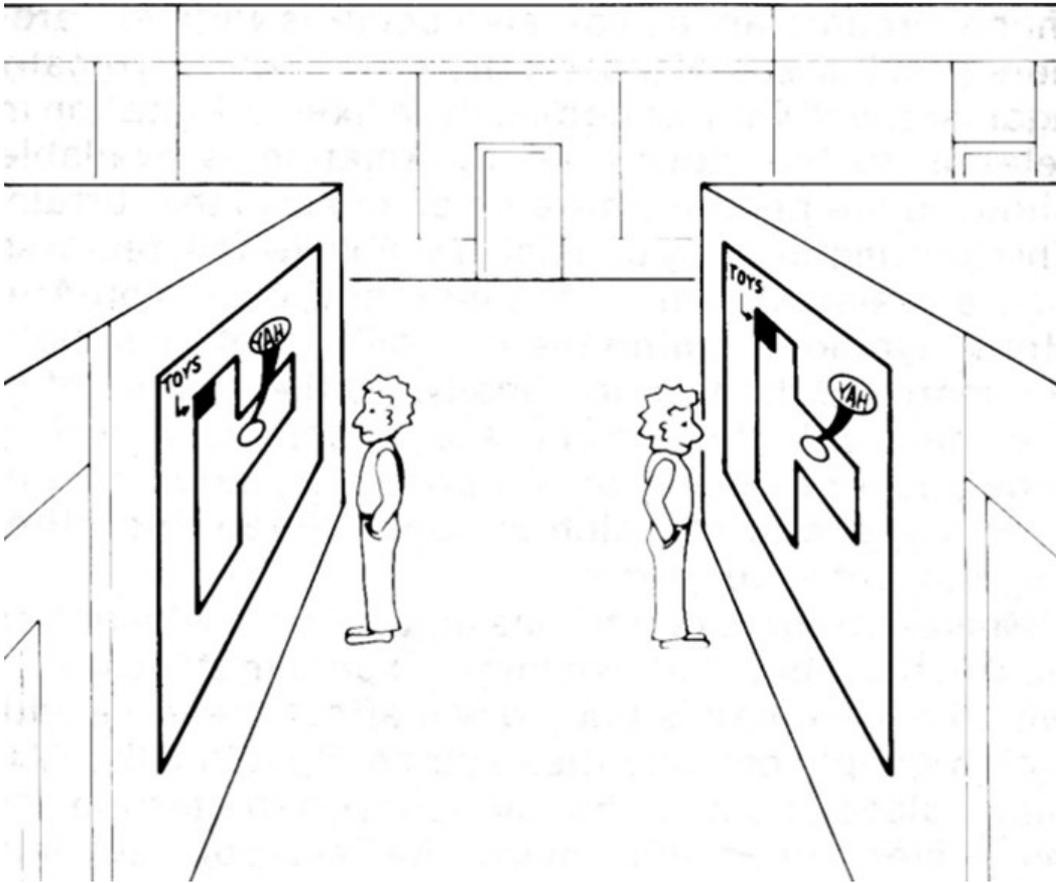


Abbildung 1: Umgekehrte Ausrichtung von YAH-Karten sorgen für Ausrichtungsprobleme Quelle: Levine u. a. (1984)

zu einem kognitiven Prozess werden. Zuletzt genannter ist jedoch mit einem höheren mentalen Aufwand verbunden, da die Ausrichtung der Karte mit der eigenen Perspektive gedanklich angeglichen werden muss. Levine, Marchon, & Hanley (1984) kamen zu dem Ergebnis, dass sogenannte *You-are-here* Karten, die nicht „vorwärts“ orientiert sind, zu langsameren Interpretationen und teilweise sogar zu fehlerhaften Ergebnissen bei der Navigation führen. Abbildung 1 soll diese Erkenntnis anhand einer beispielhaften Situation zeigen, bei welcher die rechte YAH-Karte „vorwärts“ und die linke andersherum dargestellt ist. Den Autoren zufolge muss die linke Person in solchen Fällen zumeist länger als die rechte überlegen, bis sie eine Entscheidung bezüglich der Wegauswahl getroffen hat. Zusätzlich merken sie an, dass jene Person, bei welcher die Karte nicht „vorwärts“ ausgerichtet ist, möglicherweise sogar in die falsche Richtung starten könnte.

Neben der Orientierung spielt bei der Navigation mit einer Karte auch deren generelles Design sowie die Legenden- und Symbolgestaltung eine Rolle. Außerdem kann der Grad der Generalisierung die Navigation unterstützen und die Erkenntnis über räumliche Strukturen vereinfachen. Speziell im Indoor Raum nimmt

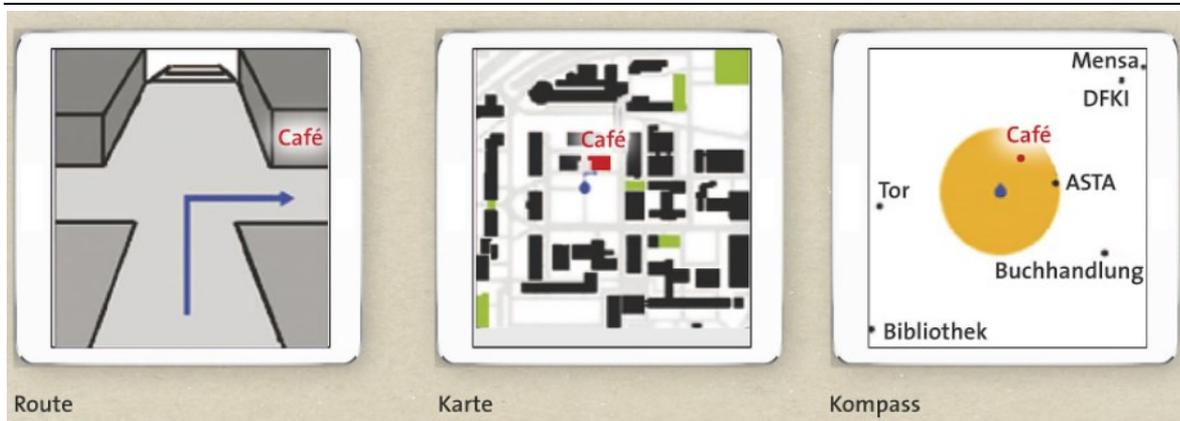


Abbildung 2: Verschiedene Darstellungsformen aktueller digitaler Navigationssysteme, Quelle: Münzer (2015, online)

die Notwendigkeit exakter metrischer Informationen ab, während die Bedeutung der Topologie, ähnlich wie bei einem sehr restriktiven Wegenetz, beispielsweise bei einem Netzwerk auf einer U-Bahn-Karte, zunimmt (Montello, 2005). So befinden sich in dem Indoor Raum meist auch enge beziehungsweise restriktive Gänge, bei den es nicht darauf ankommt wieviel Meter zurückgelegt werden müssen, sondern bis zu welchen Punkt und was von diesem Punkt zu erreichen ist.

Zahlreiche Karten werden zunehmend auch auf digitalen Medien wiedergegeben und dort mit anderen Systemen für die Navigation genutzt. Große Vorteile liegen in den vielfältigen Darstellungsmöglichkeiten der Karten. So wie die Möglichkeit, diverse Ausschnitte über verschiedene Zoomstufen und Räume zweidimensional sowie dreidimensional darzustellen. Wie in Abschnitt 2.1.1 erläutert spielt für die Navigation die Orientierung der Darstellung hierbei eine wesentliche Rolle. Abbildung 2 zeigt drei Darstellungsformen von aktuellen Navigationssystemen, bei denen die egozentrische (Abbildung 2, Route / Kompass) und die allozentrische (Abbildung 2, Karte) Sicht klar zu unterscheiden ist. Münzer, Zimmer und Baus (2012) erkennen, dass das *Wayfinding* durch die egozentrische Ansicht unterstützt und dabei zugleich das Routenwissen gefördert wird. Die allozentrische Sicht hingegen vermittelt eher ein Überblickswissen und stärkt das Verständnis räumlicher Relationen (Münzer, Zimmer und Baus, 2012).

Aktuelle Navigationshilfen können geistig anstrengende Prozesse beziehungsweise Berechnungen, wie die Positionierung, Routenplanung und Richtungsentscheidungen an Wegkreuzungen, übernehmen. Im Vergleich zu analogen Karten kann sich die Verwendung dieser Navigationshilfen allerdings negativ auf den Erwerb von räumlichen Wissen über die Umgebung auswirken (Ishikawa und Montello, 2006; Münzer u. a., 2006). Münzer u. a. (2006) vertreten diesbezüglich jedoch den Standpunkt, dass dies am *active encoding* -Prinzip begründet sei. So werden nur jene Informationen tatsächlich gelernt, die während des *Wayfinding*-Prozesses aktiv verarbeitet, sprich enkodiert, transformiert und abgespeichert werden.

2.1.4 Aufmerksamkeits-Ressourcen bei der Navigation

Bei dem *Wayfinding*-Prozess wird ein wesentlicher Teil des Gehirns beansprucht, da sowohl die menschliche Informationsverarbeitung als auch das kognitive Verhalten strapaziert werden (Chersi und Burgess, 2015; Epstein u. a., 2017). Bestimmte Prozesse, wie zum Beispiel das *dead reckoning* über kurze Distanzen, nutzen nur einen geringen Anteil an Arbeitsspeicherkapazität. Rieser u. a. (1986) konnte zeigen, dass Menschen mit verbundenen Augen ihre Position über kurze Distanzen aktualisieren und verorten konnten, ohne dass sie dabei viel denken mussten oder ihnen dies besonders schwerfiel. Weitere Aktivitäten, welche zur Navigation gehören, lassen sich automatisieren und verbrauchen dabei nur wenige Aufmerksamkeitsressourcen. Eine bekannte Route zu gehen, erlaubt es uns nebenbei Musik zu hören, zu telefonieren oder sogar etwas zu lesen. Anders ist es allerdings, wenn Menschen sich über größere unbekannte Distanzen oder komplexere unbekannte Räumlichkeiten bewegen. Hierbei wird Aufmerksamkeit benötigt. Die Orientierung oder genauer die Aktualisierung dieser ist bewusst, kontrolliert und mühsam (Montello, 2005). Passini (1992) stuft die notwendigen kognitiven Prozesse bei dem *Wayfinding* in folgende drei verschiedene Aktivitäten ein:

- räumlicher Wissenserwerb sowie Speicherung und Zugriff
- Entscheidungsfindung für die Planung der Aktionen
- Entscheidungsausführung

Speziell bei der Navigation mit externen Repräsentationen, wie zum Beispiel Karten, muss der Nutzer in der Lage sein, die Karte und den Umgebungsraum in Übereinstimmung zu bringen. Nur so ist es möglich, sich auf der Karte zu positionieren, eine geeignete Route zu finden und dieser auch zu folgen.

Die modernen Navigationshilfen unterstützen den Navigationsprozess und entlasten den Menschen, indem Teile des Prozesses automatisiert sowie übernommen werden. Die Position wird genau verortet, die Routenplanung wird übernommen und Routenanweisungen können visuell sowie akustisch vermittelt werden. Entscheidungsfehler werden minimiert, sodass der gesamte Prozess effektiver und effizienter durchgeführt werden kann. Dennoch zeigen die meisten Navigationshilfen die Anweisungen in abstrahierter Form, beispielsweise anhand von Pfeilen, die die Richtung oder die Karte inklusive des gewählten Weges aus der Vogelperspektive anzeigen. Um diese Information aufzunehmen und zu verarbeiten braucht es wiederum Aufmerksamkeitsressourcen, was während der Navigation gegebenenfalls auch zu Unfällen führen kann (Narzt u. a., 2006; Chung, Pagnini und Langer, 2016). AR als Navigationshilfe, kann hier Abhilfe schaffen, indem die Navigationsinformationen direkt in der realen Welt dargestellt werden und die Aufmerksamkeit auf die Umwelt erhalten bleibt (Narzt u. a., 2006). Durch die eher passive Teilhabe bei der Navigation mit aktuellen digitalen Hilfen kann es zu negativen Effekten für den räumlichen Wissenserwerb kommen. Für diese

Implikationen sei auf die Arbeiten von Münzer, Zimmer und Baus (2012) und Münzer, Lörch und Frankenstein (2019) verwiesen, welche dieses Thema unter anderem speziell untersuchen. In dieser Arbeit sind vor allem jene grundlegenden Prozesse wichtig, die bei der Navigation eine Rolle spielen und durch moderne Navigationssysteme unterstützt werden können. Unter der Berücksichtigung dieser soll der Fokus auf das Nutzerempfinden solcher Hilfsmittel gesetzt werden. Bevor allerdings die Nutzersicht in das Zentrum dieser Arbeit gesetzt wird, soll in dem nächsten Kapitel ein technologischer Überblick über verwendete digitale Hilfsmittel gegeben werden.

2.2 Technologie bei der Indoor-Navigation

Die Aufgabe der Navigation setzt sich aus den folgenden drei Punkten zusammen: die Position ermitteln, das Ziel festlegen und den Weg dorthin finden (Sakpere, Adeyeye-Oshin und Mlitwa, 2017; Joshi *u. a.*, 2020).

In der vorliegenden Arbeit wird eine vielversprechende Technologie der Positionsfindung, der Zielauswahl und der Zielführung angewandt und mit der momentan meistens implementierten Art der Navigation in Innenräumen verglichen. In der Einleitung wurde bereits dargelegt, dass es bis zum heutigen Zeitpunkt noch keine allgemein anerkannte Lösung für die Navigationsunterstützung im Indoor-Raum gibt. Die zurzeit häufig angewandten Technologien funktionieren durch infrastrukturelle Barrieren, Datenschutzerfordernungen oder Signalabschwächungen nur in einem eingeschränkten Maß. Neben der technologischen Herausforderung gibt es auch grundlegende strukturelle Unterschiede, die es erschweren den Weg im Indoor-Bereich zu finden. Fehlende markante Landmarken, eingeschränkte Sichtlinien, eintönige gleich gestaltete Korridore und komplexe dreidimensionale Raumstrukturen sind Hürden, denen man sich bei der Navigation im Innenraum stellen muss. Obwohl sich der Mensch größtenteils in Gebäuden aufhält, scheinen wir, was technologische Hilfen angeht, im Vergleich zum Outdoor-Bereich in den Kinderschuhen zu stecken.

Aufgrund ihrer Verbreitung, Allgegenwärtigkeit und Leistungsfähigkeit wurden in den letzten Jahren vor allem Smartphones verstärkt bei der Indoor-Navigation eingesetzt (Joshi *u. a.*, 2020). In den meisten Fällen arbeitet das Smartphone wie in Abbildung 3 dargestellt mit folgenden drei Komponenten nach Kunhoth *u. a.* (2020):

- Positionierungsmodul: Sender, Empfänger und Berechnungseinheit
- Navigationsmodul: Karte und Wegfindungsalgorithmus
- Human Computer Interaction Modul: Mensch-Computer Schnittstelle zur Kommunikation.

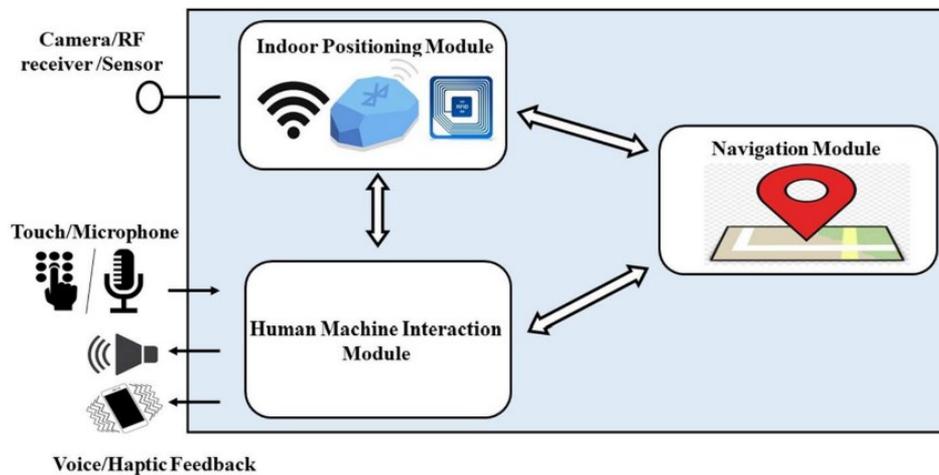


Abbildung 3: Hauptkomponenten eines Smartphone Navigationssystems, Quelle: Konhoth u. a. (2020)

Im folgenden Abschnitt soll ein Überblick über den Aspekt der Positionierung bei der Indoor-Navigation gegeben und AR im Allgemeinen sowie als Positionierungstechnologie vorgestellt werden.

2.2.1 Indoor-Positionierungs-Methoden

Die Positionserkennung ist die wichtigste Aufgabe der Indoor-Navigation, da die Weg- sowie Zielfindung nur dann möglich ist, wenn man den Standpunkt kennt.

Bei Indoor-Positionierungssystemen (IPS) werden meist geometrische Eigenschaften von Signalen genutzt, wie Winkel, Distanz und Stärke eines Signals, um mittels Triangulation, Trilateration, Proximity oder Scene Analysis / Fingerprinting die Position zu erkennen (Liu u. a., 2007; Blankenbach, 2017). In Abbildung 4 sind die Beziehungen dieser Eigenschaften und der Techniken abgebildet. Die Anwendung der zuvor genannten Techniken ist variabel und wird oft miteinander kombiniert. Die meisten Technologien basieren auf einem Sender, einem Empfänger und einer Berechnungseinheit. Dabei kann die Kommunikation über diverse Arten von Signalen ablaufen:

- Infrarot (Kemper und Linde, 2008; Hauschildt und Kirchhof, 2010)
- Ultraschall (Holm, 2012; Lindo u. a., 2015)
- Akustische Signale (Mandai u. a., 2005; Hoflinger u. a., 2012; Sertatil, Altinkaya und Raof, 2012)
- Magnetische Signale (Sheinker u. a., 2016; Gkoufas und Katrinis, 2018; Rajagopal u. a., 2019)
- Bluetooth (Kriz, Maly und Kozel, 2016; Ta u. a., 2018)

- Ultra Wide Band (UWB) (Farid, Nordin und Ismail, 2013; Garcia *u. a.*, 2015)
- Wireless Local Area Network (WLAN) (Navarro *u. a.*, 2010; Le Dortz, Gain und Zetterberg, 2012; Ta *u. a.*, 2018)
- Radio frequency Identification (RFID) (Li und Becerik-Gerber, 2011; Bai *u. a.*, 2012)

Eine genaue Beschreibung jedes dieser Signalarten würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen und es sei an dieser Stelle auf die einzelnen Quellen in der Auflistung verwiesen. Mit Hilfe von geometrischen Prinzipien werden diese Signale genutzt, um auf die Position im Raum zurückzuschließen. Die zur Positionsermittlung möglichen geometrischen Prinzipien und Verfahren sind in Abbildung 4 dargestellt. Dabei können unter Verwendung der zuvor aufgelisteten Signale folgende Eigenschaften aufgenommen werden, um mittels Schnittberechnungen die Position zu ermitteln (Blankenbach, 2017):

- Signallaufzeiten, Time of Arrival (ToA) oder Time of Flight (ToF)
- Laufzeitdifferenzen, Time Difference of Arrival (TDoA)
- Signaleinfallswinkel, Angle of Arrival (AoA)

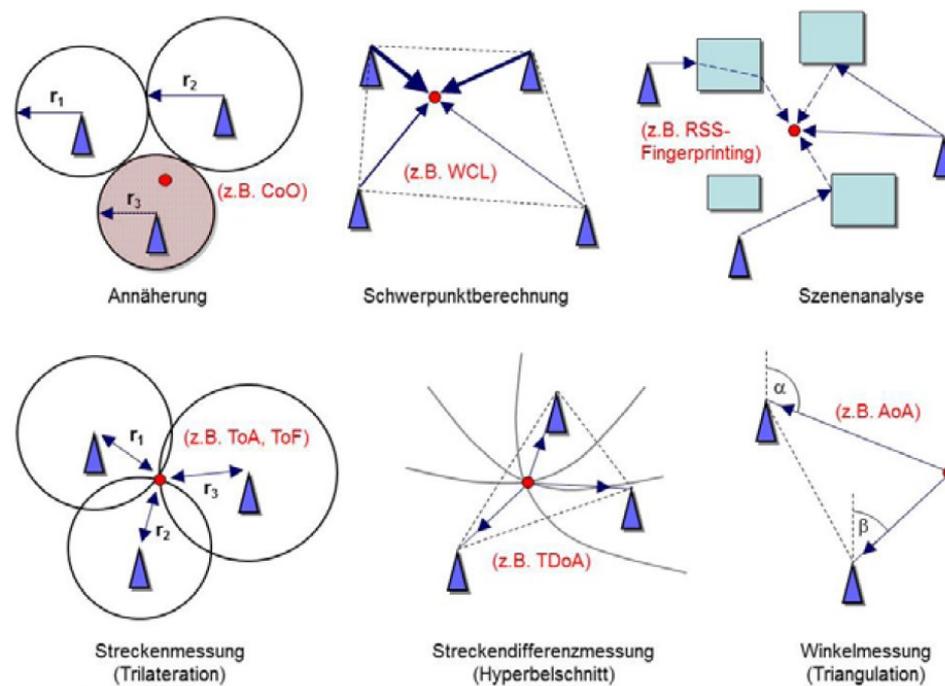


Abbildung 4: Grundprinzipien zur Positionsbestimmung mit signalbasierten Systemen. Quelle: Blankenbach (2017)

Bei der WLAN-Lokalisierung kann beispielsweise die *Received Signal Strength indication* (RSSI), also eine Größe, welche für die empfangene Signalstärke steht

und als Dezibel Milliwatt (dBm) gemessen wird, genutzt werden, um die Position mittels Triangulation oder *Fingerprinting* (Szenenanalyse siehe Abbildung 4) zu ermitteln. Einerseits kann der RSSI-Wert als Funktion zur Distanz gesetzt und somit über Triangulation aus den aktuellen RSSI-Werten eine Position ermittelt werden. Andererseits kann mit Hilfe einer zuvor aufgenommenen Radiokarte, also eine Karte mit allen RSSI-Werten mehrerer Zugangspunkte, durch *Fingerprinting* die Position bestimmt werden. Bei dieser Ermittlung werden aktuelle Werte, mit denen der Radiokarte verglichen und die nächstgelegene Übereinstimmung des RSSI-Musters gibt dabei Aufschluss über die Position (Navarro *u. a.*, 2010).

Die erwähnten Positionierungstechnologien, welche die Signaleigenschaften nutzen, haben jedoch nicht nur gewisse Vorteile, sondern auch markante Nachteile. Hauptsächlich liegt dies an der Art des verwendeten Signals. Die Signalstärke sowie die Reichweite beziehungsweise Abdeckung sind limitiert. Die meisten hier angeführten Signale sind anfällig für Störungen oder Verzerrungen, die durch Elektronik, Infrastruktur, organisches Material oder äußere Einflüsse, wie Stürme, verursacht werden. Beim Durchlaufen der Signale durch den Gebäudeinnenraum treten diverse Effekte auf, wie Absorption, Reflektion, Streuung, Refraktion, Interferenz, Mehrwegausbreitung und Signalabschwächung. Diese können dazu führen, dass die Leistungsfähigkeit oder die Genauigkeit der Positionierung beeinträchtigt werden (Sakpere, Adeyeye-Oshin und Mlitwa, 2017). Des Weiteren funktionieren viele Technologien auf Raumlevel gut und effizient. Wenn diese allerdings auf einem gesamten Gebäudekomplex angewandt oder hochskaliert werden, funktionieren sie teilweise jedoch nicht mehr oder weniger präzise. Dann müssen mehr Sender bzw. Sensoren installiert werden, was in weiterer Folge wiederum zu erhöhten Infrastrukturkosten sowie zu einer aufwendigeren Instandhaltung der Infrastruktur führt (Sakpere, Adeyeye-Oshin und Mlitwa, 2017).

Zusätzlich zu den von der Infrastruktur abhängigen Systemen gibt es auch einige unabhängige, wie zum Beispiel bildbasierte- oder Intertialmesssysteme. Bei den erstgenannten Systemen besteht eine der Hauptaufgaben darin, die Position und Orientierung der Kamera zu bestimmen. Dies geschieht durch die Erkennung von Referenzinformationen verschiedenster Art in den Kamerabildern (bekannte Objekte, Codemarken, Quick Response (QR)-Codes unter anderen). Die Nachteile dieser visuellen Verfahren liegen darin, dass meist ein aktiver Prozess involviert ist und eine direkte Sichtverbindung zu Referenzpunkten vorhanden sein sollte. Ebenfalls negativ kann sich die Beleuchtungsabhängigkeit auswirken. Bei den Intertialmesssystemen kommen Beschleunigungs-, Drehraten- oder Magnetfeldsensoren zum Einsatz, welche in einer Intertialmesseinheit kombiniert (Inertial Measurement Unit, IMU) werden. Mithilfe dieser Sensoren kann bei einer bekannten Startposition und Ausgangsorientierung die translatorische sowie rotatorische Bewegung der IMU abgeleitet sowie folglich auf die neue Position geschlossen werden. Die Intertialmesssysteme sind jedoch anfällig für kumulative Fehler und neigen zu großen Positionsabweichungen, wenn sie von keinen anderen Technologien unterstützt werden (Blankenbach, 2017).

Viele AR-Anwendungen greifen zur Positionierung und Abbildung von virtuellen Inhalten auf Inertial- sowie bildbasierte Messsysteme. Dadurch kombinieren sie die Vorteile dieser und bieten neben modernen Visualisierungsmöglichkeiten auch die Möglichkeit der Indoor-Navigation, ohne dabei abhängig von zusätzlicher Infrastruktur zur Positionierung zu sein.

Aus diesem Grund wird in den folgenden Kapiteln erst einmal die Herkunft, der Begriff sowie die Abgrenzung der AR erklärt, bevor danach auf die Eignung AR's als Navigationshilfsmittel eingegangen wird.

2.3 Augmented Reality

Bei AR werden zusätzliche Informationen mit der realen Außenwelt unmittelbar in Verbindung gebracht. Diese meist virtuellen Informationen werden anhand der Gegebenheiten der Außenwelt ausgerichtet, angepasst und gemeinsam auf einem Display visualisiert. Dadurch soll eine möglichst immersive Einheit aus virtueller und realer Welt entstehen. Seit der Etablierung der Mensch-Computer-Interaktion (eine ausführliche Beschreibung dazu folgt in Kapitel 2.4) in den 1960er Jahren, war es das Ziel, die Schnittstelle zwischen Menschen und Computer immer effektiver und natürlicher zu gestalten. Diese sollte sich beispielsweise kaum mehr von einer Interaktion mit der realen Welt unterscheiden. AR ist eine der ersten Technologien, welche solch eine Schnittstelle zur Wirklichkeit werden lassen, indem die Grenze zwischen physisch und digital immer mehr verschwimmt (Billinghurst, Clark und Lee, 2014).

Eine der ersten AR beziehungsweise Virtual Reality (VR)-Anwendungen ist bereits in den 1968-Jahren entstanden. So hat Ivan Sutherland einen von der Decke hängenden, optischen Durchsicht-Bildschirm entworfen (Abbildung 5), welcher am Kopf befestigt wurde. Dieser konnte nicht nur Drahtmodelle in Echtzeit darstellen, sondern auch einen Perspektivenwechsel durchführen, sobald sich der Nutzer bewegte (Sutherland, 1968). Erstmals betitelt wurde der AR-Begriff jedoch erst im Jahr 1992 von Tom Caudell und David Mizell. Diese nutzten AR, um den Flugzeugbau bei Boeing zu unterstützen, indem sie ein Durchsicht-Heads-up-Display (see-through-HUD) am Kopf der Nutzer befestigten, um computergenerierte Diagramme auf realen

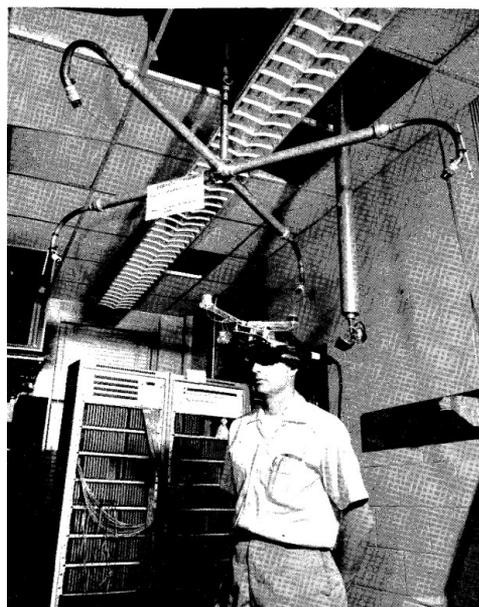


Abbildung 5: I. Sutherlands head-mounted 3D-Display. Quelle: Sutherland (1968)

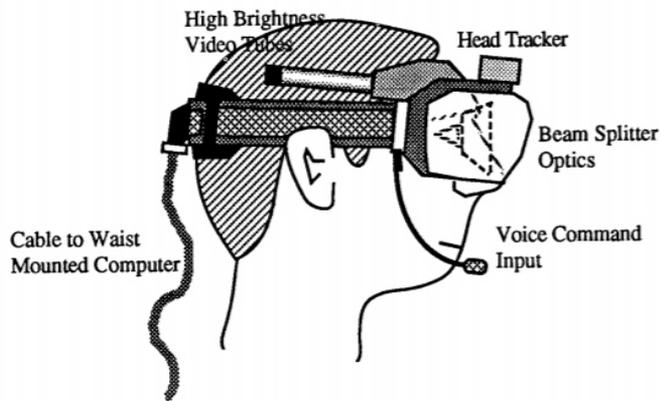


Abbildung 6: Komponenten des „HUDset“ von Caudell & Mizell. Quelle: Caudell und Mizell (1992)

Objekten zu überlagern (Caudell und Mizell, 1992). Mit der Begrifflichkeit wollten sie ihr System einerseits besser beschreiben, da die echte Welt um virtuelle Inhalte erweitert (augmented) wird. Andererseits wollten sie sich auch von der damals schon verwendeten vollständigen („full“) Virtual Reality differenzieren, da nur Teile des Sichtfeldes virtuell visualisiert

werden mussten und dies weniger Rechenleistung brauchte (Caudell und Mizell, 1992).

Die am meisten verwendete Definition für AR ist jene von Azuma (1997), bei welcher drei Hauptmerkmale von AR definiert werden:



Realität und Virtualität wird kombiniert

AR erweitert die Realität um virtuelle Inhalte.



Interaktivität in Echtzeit

Das AR System kann von einem Nutzer interaktiv und in Echtzeit gesteuert beziehungsweise beeinflusst werden.



Registriert im 3-dimensionalen Raum

Virtuelle Inhalte sind im realen Raum verortet und auch nach Interaktion des Nutzers weiterhin zu den korrespondierenden realen Referenzen verortet.

Bei dieser Definition wird klar, dass zum Beispiel Computeranimationen, wie sie heutzutage überall in Filmen vorkommen, nicht unter AR fallen, da hierbei die Interaktivität mit dem System fehlt. Wichtig ist laut Azuma (1997) außerdem, dass keine Limitierung der Technologie vorliegt sowie nicht ausschließlich visuelle Informationen eine Rolle spielen. So können manche AR-Systeme ebenfalls haptische, auditive oder olfaktorische Erlebnisse bieten (Höllerer und Schmalstieg, 2016).

AR kann jedoch auch mit Hilfe von ähnlichen Technologien eingegrenzt beziehungsweise abgegrenzt werden. Da bei AR oftmals ähnliche Technologien wie bei VR angewendet werden, kann es zu häufigen Verwechslungen oder Überschneidung kommen. Um die Begriffe abzugrenzen, führten Milgram und Kishimo (1994) den Begriff der *Mixed Reality* (gemischte Realitäten, MR) ein. Der Begriff beschreibt die Verschmelzung von Realität und Virtualität in einem *Reality-Virtuality Continuum*. Dieses wiederum ist eine Taxonomie, welche die Kombination

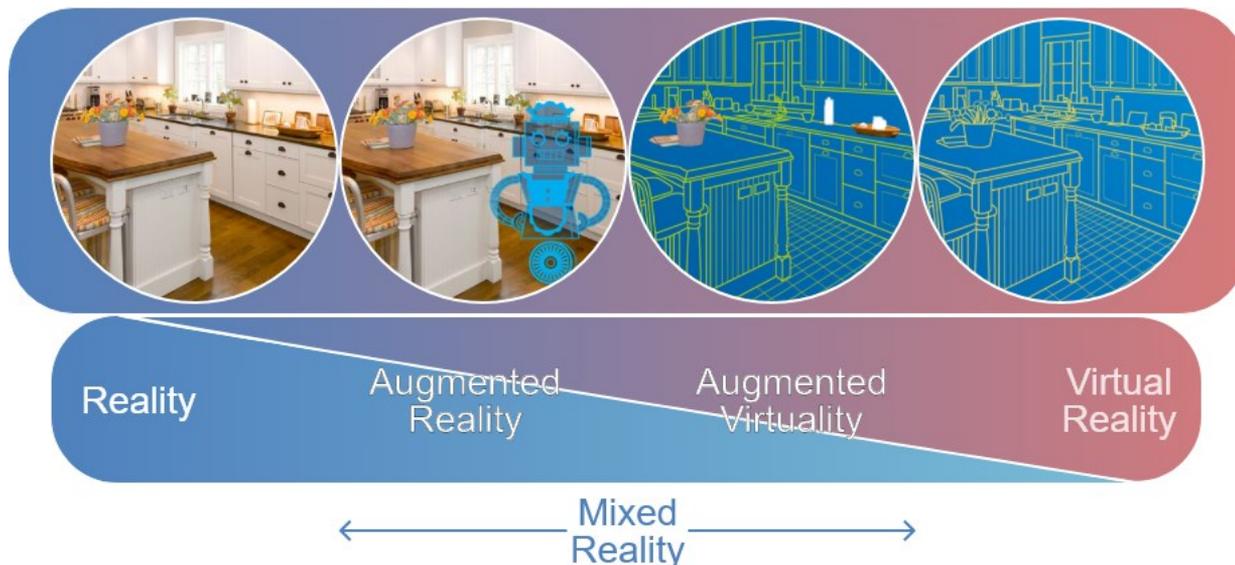


Abbildung 7: Reality-Virtuality Continuum nach Milgram und Kishimo (1994). Quelle: Selbst erstellt nach Grafiken von Höllerer und Schmalstieg (2016) und Muršić (o.J., online)

von den beiden genannten Begriffen beschreibt (Billinghurst, Clark und Lee, 2014). In Abbildung 7 ist das Kontinuum verdeutlicht, wobei an einem Ende die reale Welt und am anderen Ende die virtuelle Welt steht. Bei der virtuellen Welt wurde die reale Welt durch den computergenerierten Inhalt vollständig ersetzt. Die MR umfasst dabei jenen Bereich, der zwischen diesen beiden Welten liegt. AR befindet sich weiter auf der Seite der realen Welt, da bei AR die Wahrnehmung durch virtuellen Inhalt lediglich verstärkt oder verbessert wird. In Abbildung 7 ist dafür beispielhaft ein virtueller Roboter zu sehen, welcher sich in einer realen Küche aufhält. Bei einem vermehrten Einsatz von virtuellen Inhalten bewegt man sich auf der Skala des Kontinuums in Richtung virtuelle Welt zur Augmented Virtuality (AV). Bei AV wird die Ansicht zu einem großen Teil durch virtuelle Inhalte ersetzt, jedoch sind auch noch vereinzelt reale Elemente erkennbar. Abbildung 7 zeigt dies anhand einer schematisch dargestellten virtuellen Küche, in der vereinzelt Elemente aus der Wirklichkeit noch erkennbar sind. Das *Virtuality Continuum* gibt nicht nur eine gute Eingrenzung für die benutzten Begriffe, sondern verdeutlicht auch, dass ein Übergang zwischen diesen Technologien fließend sein kann.

In Anlehnung an die Definition von Azuma (1997) spielen laut Schmalstieg und Höllerer (2016) das Verfolgen bzw. das Tracking, die Kalibrierung und die Registrierung sowohl für die fehlerfreie, immersive Darstellung, als auch für die Vermessung und Ausrichtung von Objekten eine essentielle Rolle. Unter der Registrierung wird die Ausrichtung der räumlichen Eigenschaften verstanden. Dabei werden virtuelle und physikalische Objekte im Blickfeld des Benutzers zueinander ausgerichtet (siehe auch „*Realität und Virtualität wird kombiniert*“ laut Azuma (1997)).

Das Tracking beschreibt das dynamische Erfassen und Messen von AR. Während virtuelle sowie physikalische Objekte im dreidimensionalen Raum zueinander ausgerichtet sind, muss die Ausrichtung und Position des AR-Displays ebenfalls

erkannt werden (siehe auch „Registriert im 3-dimensionalen Raum“ laut Azuma (1997)).

Dieser Prozess erfolgt in Echtzeit, sobald sich entweder der Nutzer, die Kamera oder die erfasste Szene bewegt (siehe auch „Interaktivität in Echtzeit“ laut Azuma (1997)).

Die Kalibrierung hingegen befasst sich mit der statistischen Registrierung und erfolgt in den meisten Fällen bereits vorab. Dabei werden die Ist-Werte des AR-Systems mit Referenzwerten abgeglichen. In Abbildung 8 sind diese Komponenten in einem Kreislauf dargestellt, da sie mit dem Nutzer wechselwirken und bei jeder Bewegung oder bei jedem neuem Input iterativ ablaufen. Erweitert wird dieses System durch das räumliche Modell, welches Informationen über die reale Welt sowie die virtuelle Welt beinhaltet und beide in einem Koordinatensystem vereint. Während die virtuelle Welt die Informationen der zu überlagernden virtuellen Inhalte enthält, bildet die reale Welt die Referenz für die Erkennung und Ausrichtung der Nutzer- oder Geräteposition (Höllerer und Schmalstieg, 2016).



Abbildung 8: Kreislauf eines AR-Systems. Wechselwirkung zwischen Benutzer und Computersystem. Quelle: Eigene Darstellung nach einer Grafik von Schmalstieg und Höllerer (2016, S. 37)

Neben der Einordnung nach der Definition von Azuma (1997) und der Abgrenzung zu ähnlichen Technologien durch das *Reality-Virtuality Continuum*, kann AR noch nach der Initialisierungsmethode eingeteilt werden. Joshi u. a. (2020) unterscheiden hierbei zwischen drei verschiedenen Verfahren:

- **Markerbased AR** Hier werden visuelle Marker verwendet, welche im Kamerabild erkannt werden müssen, damit darauf ein digitales Objekt erzeugt werden kann. Diese Marker sind meist simpel und einzigartig, wie beispielsweise QR-Codes.
- **Markerless AR**

Bei diesem Verfahren werden im Zuge der Bilderkennung nicht einzelne Marker gesucht, sondern mit der Einbindung weiterer zur Verfügung stehenden Sensoren, beispielsweise Gyroskop, Beschleunigungs-, Geschwindigkeitssensoren oder Kompass, wird die reale 3D Umgebung erkannt. Hierbei werden markante Feature der Umgebung als Bezugspunkte genutzt.

- **Superimposition AR**

Hier werden reale Objekte im Kamerabild erkannt, identifiziert und anschließend durch ein digitales Bild überlagert

Ein sehr wichtiger Punkt für die vorliegende Arbeit ist allerdings nicht nur die Möglichkeit der Erweiterung um virtuelle Inhalte, sondern speziell das Verständnis der Umwelt von AR. Durch die Erkennung der Umwelt lässt sich nicht nur die relative Position vom Nutzer beziehungsweise vom Gerät zu dessen unmittelbar erkennbaren Umgebung sowie zu den virtuellen Inhalten erkennen. So kann auch die absolute Positionierung in einem 3D-Modell oder übergeordneten Koordinatensystem erkannt und eingeordnet werden. Demzufolge kann AR nicht nur durch praktische Visualisierung von virtuellen Inhalten dem *Wayfinding* helfen, sondern auch als Hauptmethode der Positionsfindung genutzt werden.

2.3.1 Augmented Reality als Navigationswerkzeug und Ausblick

AR ist mittlerweile weit verbreitet und wird bereits von verschiedenen Smartphone-Applikationen, wie beispielsweise Snapchat, Pokémon Go oder diversen Verkaufs-Applikationen aktiv genutzt (Abbildung 10).

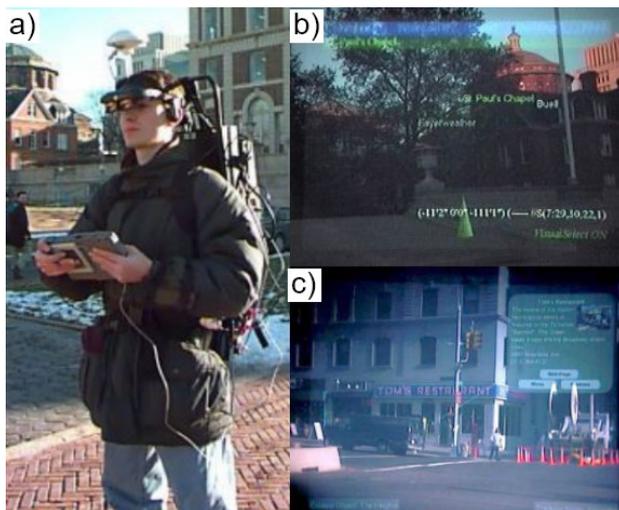


Abbildung 9: Touring Machine, a) getragene Hardware, b) Benutzer Ansicht mit virtuellen POI's und Kompassnadel, c) Restaurant Guide einer neueren Version, Quelle: a) & b) Feiner u. a. (1997), c) Höllner und Feiner (2004)

Eines der ersten mobilen AR-Systeme, welches im Sinne von Navigation verwendet werden konnte, ist die *Touring Machine*. Diese wurde von Feiner u. a. (1997) an der Columbia Universität entworfen und besteht aus einem Rucksack mit Computer, Differential-GPS sowie wireless web access, einer 2D-Anzeige zum Manipulieren von virtuellen Inhalten und der aufgesetzten HUD-Anzeige. Dessen Hardware sowie verschiedene Benutzeransichten sind in Abbildung 9 zu sehen (Feiner u. a., 1997). Im Jahr 2003 entwickelten Daniel Wagner und Dieter Schmalstieg ein

AR-Indoor-Navigationssystem, dass mit einem personal digital assistant (PDA) und visueller Erkennung von Codemarken funktioniert. Wie in Abbildung 11 zu erkennen ist, waren nicht nur Navigationshinweise eingeblendet, sondern auch eine Drahtgitter-Visualisierung des Gebäudes implementiert (Wagner und Schmalstieg, 2003). Ausgehend von einer schweren und unhandlichen Hardware (siehe Abbildung 9 als Beispiel), welche normalerweise für funktionierende AR-Navigationssysteme gebraucht wurde, fing man an, die Hardware in Autos zu verbauen. Narzt *u. a.* (2006) haben hierfür einen Prototyp



Abbildung 10: Bekannte AR Applikationen. Links: Virtueller Pikachu in Pokémon Go, Mitte: Digitale Brille und virtuell gefärbte Haare bei Snapchat, Rechts: Digitaler Sessel in der Ikea Place App, Quelle: IKEA Möbelvertrieb OHG (2020); Niantic Inc. (2020a); Snap Inc. (2020)

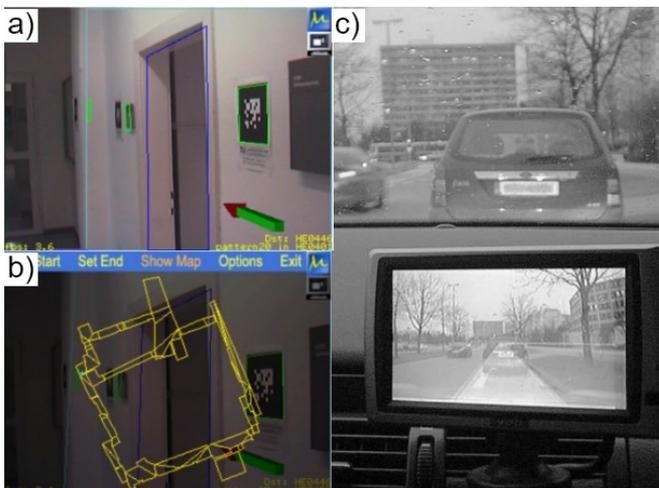


Abbildung 11: Indoor-Navigations-System auf einem PDA. a) Kameraansicht mit AR-Inhalten, b) Drahtgittermodell des Gebäudes, c) Auto-basiertes Navigationssystem. Quelle: a) & b) Wagner und Schmalstieg (2003), c) Narzt *u. a.* (2006)

auf einem PDA (siehe Abbildung 11) entworfen, und schlugen vor, die Navigationsanweisungen im HUD auf der Windschutzscheibe zu integrieren. Dies hätte den Vorteil, dass jeder Nutzer in seiner natürlichen Umgebung mit AR interagiert und sein normales Verhalten nicht anpassen muss, indem eine unhandliche Hardware mit sich geführt wird (Narzt *u. a.*, 2006). Diese Navigationssysteme sind mittlerweile so ausgereift, dass sie auch bei namenhaften Automarken im Sortiment angeboten werden (siehe Abbildung 12 a) & b)). Aufgrund der Fortschritte in der Autoindustrie und der Smartphone Technologie im Allgemeinen hat sich auch der Bereich der handheld (Hand

gehalten)-AR-Anwendungen weiter-entwickelt. Als erstes entwickelten sich AR-Browser, welche geolokalisierte sowie web-basierte Inhalte in Browsern über die Kamerabilder der Smartphones legten und so auch indirekt zur Navigation verwendet werden konnten (Grubert, Langlotz und Grasset, 2011; Billingham, Clark und Lee, 2014). Eine ähnliche funktionsweise wurde dann auch für Smartphone-Applikationen angewendet, wie beispielsweise bei einer Studie von Dünser *u. a.* (2012), bei der die AR-Navigation mit anderen gängigen Kartenapplikationen verglichen wurde. Für den Indoor-Raum testeten Mulloni,

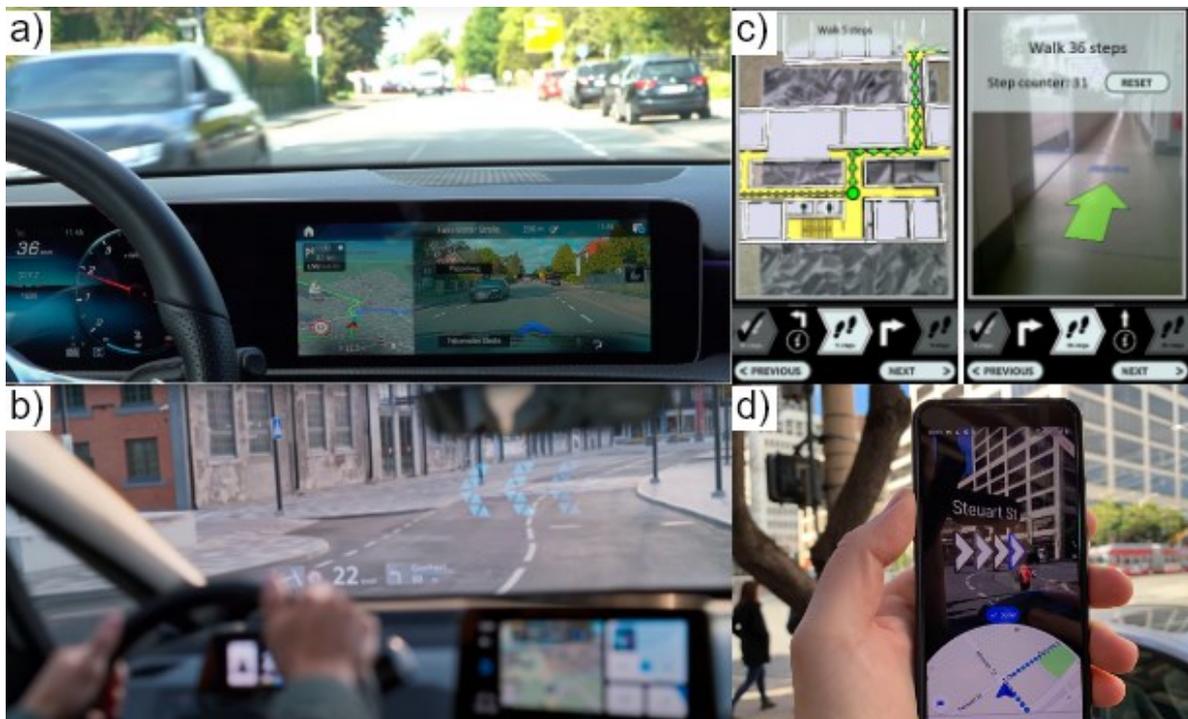


Abbildung 12: AR-Navigationslösungen. a) AR im Bordcomputer in einem Mercedes, b) AR im HUD eines VW, c) Aktivitäts-basierte Indoor-AR-Lösung mit Live-Anweisungen und world in miniature-Ansicht auf Codemarkern, d) Google maps *Live-View*. Quelle: a) Autohaus Anders GmbH (2019), b) Volkswagen (2020), c) Mulloni, Seichter und Schmalstieg (2011), d) Etherington (2019)

Seichter und Schmalstieg (2011) zum Beispiel ein aktivitätsbasiertes AR-System, dass mit AR-Anweisungen sowie mit Wegpunkten bestehend aus Codemarkern, gekoppelt war. Der Nutzer wurde zwischen diversen Wegpunkten mit Hilfe von AR-Anweisung geleitet (Abbildung 12 c)), wobei der Weg mittels dead-reckoning aufgenommen wurde (Mulloni, Seichter und Schmalstieg, 2011). Mittlerweile gibt es viele Navigationsapplikationen, welche auf AR zur Visualisierung zurückgreifen. Ein gutes Beispiel für die Reife solcher Applikationen zeigt der in dem Jahr 2019 veröffentlichte *Live-View* in Google maps, der für die Fußgängernavigation genutzt werden kann (Google AI Blog, 2019). Eine Beispiel Ansicht ist in Abbildung 12 d) zu sehen, eine genauere Beschreibung folgt in Kapitel 3.2.5. Die meisten der bis jetzt genannten und auch heutzutage gängigeren AR-Navigationssysteme nutzen zur initialen Positionierung allerdings noch signalbasierte Technologien, die im Indoor-Bereich noch nicht genau genug funktionieren oder zusätzliche Hardware für die Positionierung benötigen (siehe Kapitel 2.2.1).

Obwohl AR mittlerweile in unserem Alltag angekommen ist, ist es den meisten Nutzern jedoch noch nicht bewusst. Für die Indoor-Navigation ist die AR-Positionierung inklusive der Navigationsanweisungen noch nicht weit verbreitet, obwohl für den Betrieb der Positionierung sowie Navigation keine zusätzlich installierte Infrastruktur zwingend benötigt wird. Zusätzlich ist AR nicht nur ein von der Infrastruktur unabhängiges System, sondern die heutigen Smartphones besitzen größtenteils schon ausreichend gute Kameras, Softwarelösungen werden durch die gängigen Betriebssysteme unterstützt und die Rechenleistung der

Smartphones ist ausreichend, um die komplette Aufgabe der Indoor-Navigation mittels AR zu bewältigen. Zu den bekannten und weit verbreiteten mobilen Betriebssystemen zählen iOS von Apple sowie Android von Google. Beide Systeme bieten eine AR Programmierschnittstelle (API) an. Während iOS seit Juni 2017 *ARKit* verwendet, arbeitet Android seit März 2018 mit *ARCore*. Laut Google zählen unter anderem motion tracking, environmental understanding und light estimation zu den Konzepten, welche grundlegend für die Funktionsweise von *ARCore* sind. Während light estimation die umgebenden Lichtverhältnisse erkennt, um virtuellen Inhalt realistischer dazustellen, nutzt environmental understanding computergestützte Erkennung. Mit dieser wird es *ARCore* ermöglicht Feature-Punkte zu gruppieren, wodurch Oberflächen erkannt und deren Ausmaße abgeschätzt werden. Motion tracking erkennt, erfasst und verfolgt Punkte (features) im Kamerabild und kombiniert diese mit der eigenen Ausrichtung sowie Position.

Ein maßgebender Prozess für die Positionsbestimmung bei AR ist Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). SLAM benutzt die Kamera und die Daten der IMU, um die Position sowie Orientierung der Kamera zu berechnen, indem erkannte Eigenschaften der Umgebung (Feature) getrackt und gleichzeitig kartiert werden. In Abbildung 13 ist auf der linken Seite eine Hauswand zu sehen, die sowohl eine virtuelle gelbe Fassade hat als auch erkannte Feature-Punkte enthält. Auf der rechten Seite in Abbildung 13 ist eine durch SLAM akkumulierte Punktwolke sowie ein lokalisierter Kamerapfad abgebildet. Ursprünglich wurde SLAM für die unabhängige Roboternavigation in unbekanntem Umgebungen entworfen. Ihr Nutzen für AR wurde allerdings bald erkannt und daraufhin für AR angepasst (Billinghurst, Clark und Lee, 2014). Im Allgemeinen ist SLAM eine gute Methode, um eine präzise Positionsbestimmung in Echtzeit zu erhalten. Die Position ist jedoch in einem lokalen Referenzsystem oder nur relativ gesehen zu einem Initialisierungspunkt. In einem weiteren Verarbeitungsschritt ist es allerdings möglich diese Position mit einem globalen Referenzsystem zu matchen (Engel, Sturm und Cremers, 2013; Ventura *u. a.*, 2014; Cadena *u. a.*, 2016). Bei Googles *ARCore* wird diese Technologie *Concurrent Odometry and Mapping* (COM) genannt und bei Apples *ARKit* ist es unter dem Namen *Visual Inertial Odometry* (VIO) bekannt. Beide Technologien basieren dabei jedoch auf dem gleichen Prinzip wie SLAM, welches zusätzlich noch durch Machine Learning Algorithmen

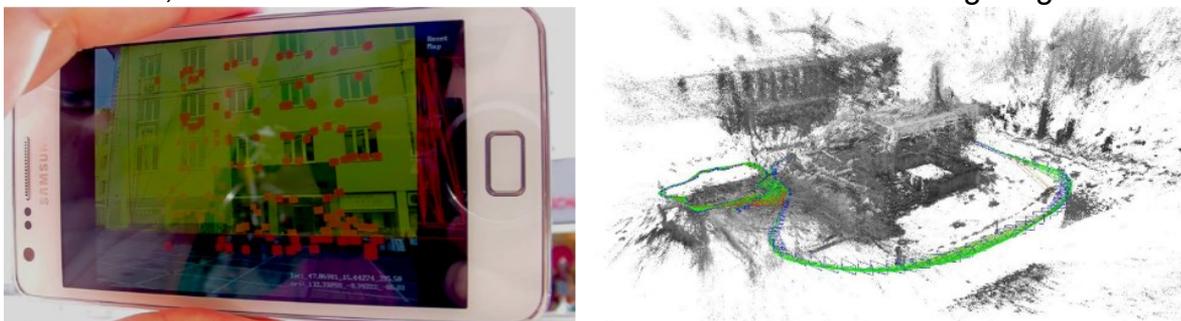


Abbildung 13: links: Globale Lokalisierung durch SLAM mit roten erkannten Feature-Punkten und einer virtuellen gelben Fassade aus einem Stadtmodell, rechts: Durch SLAM rekonstruierte akkumulierte Punktwolke und visualisiertem Kamerapfad. Quelle: a) Ventura *u. a.* (2014), b) Engel, Sturm und Cremers (2013)

unterstützt wird (Nerurkar, Lynen und Zhao, 2017; Naroditsky, Kuen-Han und Dimitrios, 2019). Die Initialisierung kann beispielsweise über Markerbased oder Markerless AR bewerkstelligt werden und durch das visuelle Tracking wird die Position in einem 3D-Modell weiter registriert.

Markerbased AR funktioniert solide, allerdings müssen hierbei Marker installiert werden, welche während der Navigation einerseits in kurzen Abständen auftauchen und andererseits möglichst nicht verdeckt sein sollten. Da sich künstliche Marker negativ auf die Ästhetik auswirken können, werden als Alternative oftmals auch natürliche Marker verwendet, die in der Umgebung zu finden sind, wie beispielsweise Hinweisschilder. Vor allem im Indoor-Bereich besteht hierbei jedoch das Problem, dass keine oder zu wenig natürliche Marker vorhanden sein könnten (Koch *u. a.*, 2014; Neges *u. a.*, 2017). Handrich und Vandenhouten (2019) haben ein kontinuierliches Positionsermittlungssystem vorgestellt. Dieses nutzt bei der Initialisierung ein marker-basiertes, optisches Ortungsverfahren und verwendet anschließend *ARCore*, um weitere Bewegungen zu registrieren sowie die Positionsermittlung fortzusetzen. Dieses System ist eine Kombination von absoluter Ortung durch das optische Verfahren und relativer Ortung durch *ARCore*. Probleme bestanden in der immer größer werdenden Abweichung bei SLAM-Verfahren, da zwischendurch keine Positionskorrektur durchgeführt werden konnte. Zu der Zeit konnte *ARCore* aus technischen Gründen nicht unterbrochen werden, um das optische Ortungsverfahren für die Positionskorrektur zu nutzen (Handrich und Vandenhouten, 2019). Weitere Markerbased AR Indoor-Navigationssysteme sind beispielsweise von Huey, Sebastian und Drieberg (2011), Delail, Weruaga und Zemerly (2012) oder Kasprzak, Komninos und Barrie (2013) entworfen und getestet worden.

Markerless AR ist eine fortgeschrittene Form des optischen Trackens und involviert die vorherige Aufnahme einer 3D Umgebung, in welcher sich das System lokalisiert und in weiterer Folge navigiert. Bestimmte Muster der Punktwolke werden in diesem Fall als Ankerpunkte verwendet (Engel, Sturm und Cremers, 2013; Ventura *u. a.*, 2014; Hua und Wijkmark, 2019).

Hua und Wijkmark (2019) haben dieses System genutzt, um ein Indoor-Navigations Tool für das tragbare Google Glass zu entwerfen. Dabei werden die Inertialsensoren genutzt, um das System und die dargestellten 3D-AR-Anweisungen in der Punktwolke zu tracken beziehungsweise richtig darzustellen.

Dong *u. a.* (2019) haben ein auf visueller Erkennung basierendes Indoor-Navigations-System, kurz *ViNav*, entworfen. Bei *ViNav* werden im Vorfeld 3D-Punktwolken durch structure-from-motion (SfM) erzeugt, welche wiederum über Crowdsourcing mit Smartphones generiert werden. Diese 3D-Punktwolken werden durch die Smartphone Sensordaten wie IMU-, Barometer-Daten und Wi-Fi fingerprints weiter angereichert. Die zusätzlichen Sensordaten dienen dazu, den Prozess der Lokalisierung zu beschleunigen. Ebenfalls zur Beschleunigung wird das 3D-Modell in mehrere kleine Modelle partitioniert. Eine erste Lokalisierung wird

anhand der Sensordaten sowie den Wi-Fi fingerprints durchgeführt, um danach eine detaillierte visuelle Positionierung anhand der relevanten 3D-Modell-Partition zu bewerkstelligen (Dong u. a., 2019).

Zhang u. a. (2019) haben ein Assistenz Navigationssystem für Blinde entworfen, welches auf *ARCore* basiert. Bei diesem System wird mit Hilfe von *ARCore* im Vorfeld ein Datensatz aufgenommen, dass mit spärlichen Features aus der Umgebung gefüllt ist. Dieser wird im Nachhinein zur Positionswiedererkennung bzw. Lokalisierung genutzt. Während der Navigation trackt *ARCore* zusätzlich die Kamerapose in der Umgebung.

Weitere AR-Applikationen, die momentan zunehmend auf den Markt kommen, werden in Kapitel 3.2.5 behandelt. Diese Beispiele zeigen, dass es mit AR nicht nur möglich ist, die Navigation durch praktische Visualisierung von virtuellen Inhalten zu unterstützen, sondern auch die Aufgabe der initialen Positionsfindung innerhalb eines 3D-Modells zu bewerkstelligen. AR als Technologie schreitet in großen Schritten voran und findet in unserer Gesellschaft immer mehr Verwendung. Die Darstellungsmöglichkeiten werden konstant verbessert, wie z.B. die Tiefenwahrnehmung durch Designelemente wie Belichtungs- und Schatteneffekte (Diaz u. a., 2017). Aber auch die Erkennung der Umwelt, die Lokalisierung in dieser sowie die Platzierung von virtuellen Inhalten wird zunehmend optimiert. Valentin u. a. (2018) nutzten die Fortschritte in der mobilen Computer Vision, um Tiefenkarten aus einer einzelnen sich bewegenden Kamera zu errechnen.

Mitte 2020 wurde diese Technologie mit der *ARCore Depth API* und *DepthLab*, Millionen von Android Entwicklern zur Verfügung gestellt (Du u. a., 2020; Google, 2020). Bei *DepthLab* und der *ARCore Depth API* handelt es sich um Software-Bibliotheken, welche die Entwicklung von AR Applikationen ermöglichen beziehungsweise unterstützen. In Abbildung 14 ist beispielhaft eine Verbesserung der Okklusion zu sehen. Dadurch wird das Verständnis der Umwelt, speziell was die Tiefe betrifft, verbessert, ohne dass ein weiterer dedizierter Sensor genutzt werden muss, wie beispielsweise Time of flight (ToF)-Kameras oder Laserscanner. Diese Sensoren sind noch nicht in vielen Geräten verbaut (Valentin u. a., 2018). Aber auch der technologische Fortschritt sowie die zunehmende Verbreitung der eben genannten Sensoren sorgen für ein besseres Verständnis der Umwelt von AR und eine verbesserte Echtzeitanwendung (Li u. a., 2020). Standardmäßig werden Tiefensensoren schon in tragbaren MR-Head-mounted-Displays (HMD) verbaut, wie beispielsweise die Microsoft *HoloLens* oder die *Magic Leap*. Diese Geräte sind jedoch eher für Entwickler geeignet und bei dem Standardverbraucher noch nicht ganz angekommen. Seit dem Release des iPad Pro im Jahr 2020 verbaut Apple in vielen seiner neuen Geräte einen zusätzlichen Light Detection and Ranging (LiDAR)- Sensor, wodurch es mit *ARKit 4* nun möglich ist, Positionen schneller sowie genauer zu erkennen. Zusätzlich können dadurch virtuelle Inhalte schneller, stabiler sowie immersiver platziert werden. Ein AR-Spiel, welches dieses gut demonstriert ist *Hot Lava*, bei dem Räume vorweg mit LiDAR gescannt werden und

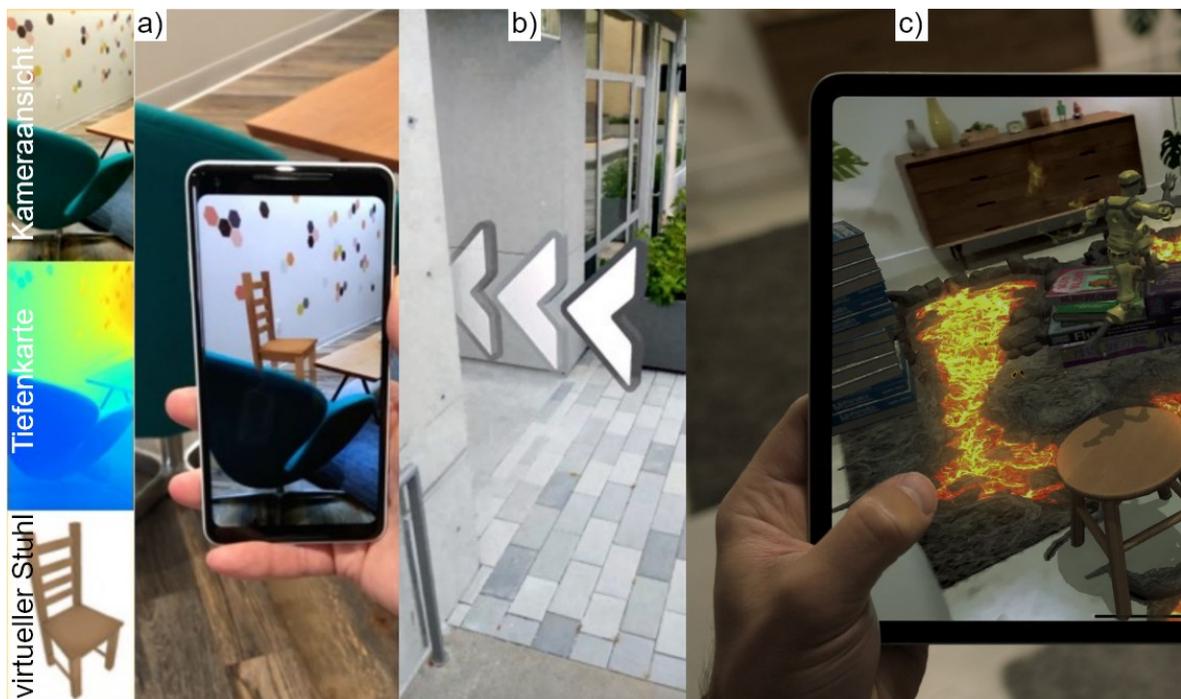


Abbildung 14: Verbesserung der Umwelterkennung durch Tiefenerkennung, a) & b) Mit Hilfe der Google Depth API für Shopping Apps & Navigation, c) Immersive Darstellung und Nutzung der Tiefe durch LiDAR-Sensor auf dem iPad Pro. Quelle: a) & b) Valentin u. a. (2018), c) Apple Inc. (2020)

eine virtuelle Lavalandschaft in diese augmentiert wird (siehe Abbildung 14c)). Des Weiteren lassen sich 3D-Modelle von Räumen mit weniger Aufwand und zum Teil auch genauer aufnehmen (Apple Inc., 2020).

AR stellt nicht nur durch die praktische Visualisierung von Navigationsinstruktionen, sondern auch durch die Verbesserung der Genauigkeit bei der Positionierung eine vielversprechende Technologie dar. Im Gegensatz zu signalbasierten Technologien, wie sie in Kapitel 2.2.1 beschrieben werden, wird für diese genaue Positionierung keine zusätzliche Infrastruktur benötigt. In Kapitel 3.2.5 werden zusätzliche Beispiele genannt, wo und wie AR schon zur Indoor-Navigation verwendet wird. Vorweggenommen kann zusammenfassend gesagt werden, dass es zwar proprietäre Software gibt die Indoor Navigation mit AR anbietet, dem Endverbraucher jedoch noch nicht zur Verfügung steht. Dies kann wie in Kapitel 1.3 bereits beschrieben, nicht nur an den technischen Herausforderungen liegen, sondern auch an den menschlichen Faktoren sowie die soziale Akzeptanz können hier eine Rolle spielen. User Experience und Usability sind Konzepte, welche die Benutzersicht als ein zentrales Element beinhalten. Aus diesem Grund wird in dem folgenden Kapitel auf die Herkunft und die Theorie dieser Begriffe eingegangen.

2.4 Human Computer Interaction (HCI), Software Ergonomie, Usability Engineering & der historische Kontext

Bevor die wichtigsten Konzepte der User Experience und Usability definiert werden, lohnt sich ein Blick zurück in die Vergangenheit. Woher haben diese Begriffe ihren Ursprung und was hat sie maßgebend beeinflusst? Letztendlich geht es bei diesen Konzepten um die Interaktion zwischen Menschen und einem anderen interaktiven System.

Der Begriff HCI tauchte erstmals in den 1970er-Jahren auf, wobei seine Fundamente in noch älteren Disziplinen, wie beispielsweise *human factors* oder *ergonomics*, liegen. *Human factors* stammt aus den 1940er-Jahren und ist das Fachgebiet zur Erforschung menschlicher Einflussgrößen bei der Anwendung von Technologien. Damals wurde dieses vor allem durch Investitionen des amerikanischen Militärs angetrieben. Das Militär war an der Optimierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle komplexer Systeme interessiert. In der Mitte der 1950er-Jahre kam es dann zur internationalen Verbreitung der Ergonomie als Wissenschaft, welche die Erforschung der Beziehungen zwischen dem Menschen und seiner Arbeit als Ziel hat. *Human factors and ergonomics* sind sowohl eine Wissenschaft als auch ein Gebiet der Technik. Dabei geht es um menschliche Fähigkeiten, Einschränkungen, Leistungen und letzten Endes das Design von Systemen, die für die Nutzer effizient, sicher, komfortabel und angenehm sind. Erweitert man hier das Wort *System* um das Wort *Computer*, ist man auch schon bei HCI angekommen. Durch technologische Fortschritte, wie Ivan Sutherland's Sketchpad (1962), Douglas Engelbart's Erfindung der Maus (1963) und die damit einhergehende Auseinandersetzung mit Computersystemen, wird die Erforschung der Kommunikation zwischen Mensch und Computer in den 1970er-Jahren zur anerkannten Wissenschaft. Die zunehmende Verbreitung von Rechnern in der Arbeitswelt in den 1980er-Jahren und direkte Manipulationssysteme, wie beispielsweise die Xerox star workstation (1981), führen dazu, dass auch die Software-Ergonomie zu einer etablierten Disziplin wird (Mackenzie, 2013; Richter und Flückinger, 2013). Die Xerox workstation besaß damals schon eine grafische Oberfläche (graphical User Interface – GUI) mit zusätzlicher Schreibtisch-Metapher als Benutzeroberfläche. Die Software Ergonomie zieht ihre Erkenntnisse aus vielen Fachgebieten, wie beispielsweise Psychologie, Arbeitswissenschaften, Informatik, Pädagogik, Anthropologie und Linguistik. Am Anfang ging es hauptsächlich um die Bedienung grafischer Objekte. Durch weitere Auseinandersetzung wurde jedoch klar, dass neben der Gestaltung der Oberfläche vor allem eine unangemessene Dialoggestaltung die Ursache für die Benutzerunzufriedenheit war. So wurde dieses Thema Ende der 1980er-Jahre in einer ersten Norm DIN 66234-10 „Ergonomische Dialoggestaltung“ beschrieben. Dies ist der Vorläufer der heute mehrteiligen Normenreihe DIN EN ISO 9241 „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion“, bei denen diverse Empfehlungen für so gut wie alle Bereiche der Software-Gestaltung nachzulesen sind. Diese Empfehlungen sind kontext- und technologiefrei und können für spezielle Anwendungsfälle konkretisiert werden. Das Ziel bei der

Anwendung von Software-Ergonomie Standards und Richtlinien soll es sein, Benutzererfahrungen in die Entwicklung, Validierung und Verbesserung von Produkten und Systemen einzubringen. Im englischen Sprachgebrauch wird diese Anwendung *Usability Engineering* genannt (Rudlof, 2006). 1988 wurde dann *The Psychology of Everyday Things* von Donald Norman veröffentlicht (Norman, 1988), welches die Relevanz psychologischer Faktoren bei der Entwicklung von technischen Systemen anhand von vielen Beispielen hervorhebt. 1993 beschrieb Jakob Nielsen, in seinem Buch *Usability Engineering* (Nielsen, 1993), die Anwendung von Usability-Methoden in einem systematischen Prozess. Dabei gilt Nielsen als Wegbereiter für benutzerorientierte Vorgehensweisen. Ende der 1990er-Jahre wurde *Web Usability* mit dem Internet-Boom zum Schlagwort, da die Nachfrage nach benutzerfreundlichen Websites und Anwendungen explosionsartig anstieg. Dieser Trend zog sich bis in das neue Jahrtausend. Dort wurde der Computer zum Alltagsgegenstand, Web 2.0 sowie Social Media Plattformen und weitere neue Technologien führten zu einem vermehrten sowie schnelleren Austausch. Usability wird für die Allgemeinheit und speziell für Unternehmen zunehmend wichtiger beziehungsweise auch zum neuen Differenzierungsfaktor für Produkte. Mit der Einführung des ersten iPhones 2007 wurde eine neue Ära der Informationstechnologie eingeleitet. Bahnbrechende, intuitive Interaktionsmöglichkeiten geben den neuen Standard für die Benutzbarkeit mobiler Produkte und Smartphones, Tablets und auch andere mobile Begleiter finden ihren Platz in unserem Alltag. Spätestens ab diesem Zeitpunkt ist nicht mehr nur von Usability die Rede, sondern der Begriff der Mobile User Experience wird zu einem zunehmend wichtigen Thema (Richter und Flückinger, 2013).

Anhand des historischen Kontextes lässt sich eine hohe Interdisziplinarität im Feld HCI beziehungsweise Usability Engineering oder User Experience erkennen. Dies führt oftmals auch dazu, dass Begriffe vielfältig und in verschiedenen Kontexten genutzt werden, obwohl sie die gleiche Bedeutung haben. Im Folgenden soll der Begriff der Usability näher erläutert und der Bezug zur User Experience hergestellt werden.

2.4.1 Usability

Usability setzt sich aus dem Wort *use* (deutsch: benutzen) sowie dem Begriff *ability* (deutsch: Möglichkeit) zusammen und bedeutet ins Deutsche übersetzt Benutzerfreundlichkeit, Bedienbarkeit oder Gebrauchstauglichkeit. Mit einer hohen Usability besteht die Möglichkeit, ein Produkt einfach und gut zu benutzen. Der englische Begriff wird allerdings auch vermehrt im Deutschen verwendet und gilt im Allgemeinen als elementarer Erfolgsfaktor, welcher für die Qualität eines interaktiven Systems entscheidend ist.

Der Begriff Usability stammt, wie man an im historischen Rückblick erkennen kann (siehe Kapitel 2.4), aus der Welt der HCI. HCI ist ganz allgemein gefasst, wenn

Mensch und Computersystem aufeinandertreffen beziehungsweise interagieren, um ein Ziel zu erreichen. Usability ist in diesem Zusammenhang jener Aspekt, der dafür sorgt, dass diese Interaktion effektiv, effizient und zufriedenstellend für den Benutzer ist. Somit befasst sich Usability mit Eigenschaften wie Einfachheit der Benutzung, Produktivität, Effizienz, Effektivität, Lernbarkeit, Haltbarkeit und Zufriedenstellung des Nutzers (ISO 9241-11, 2018).

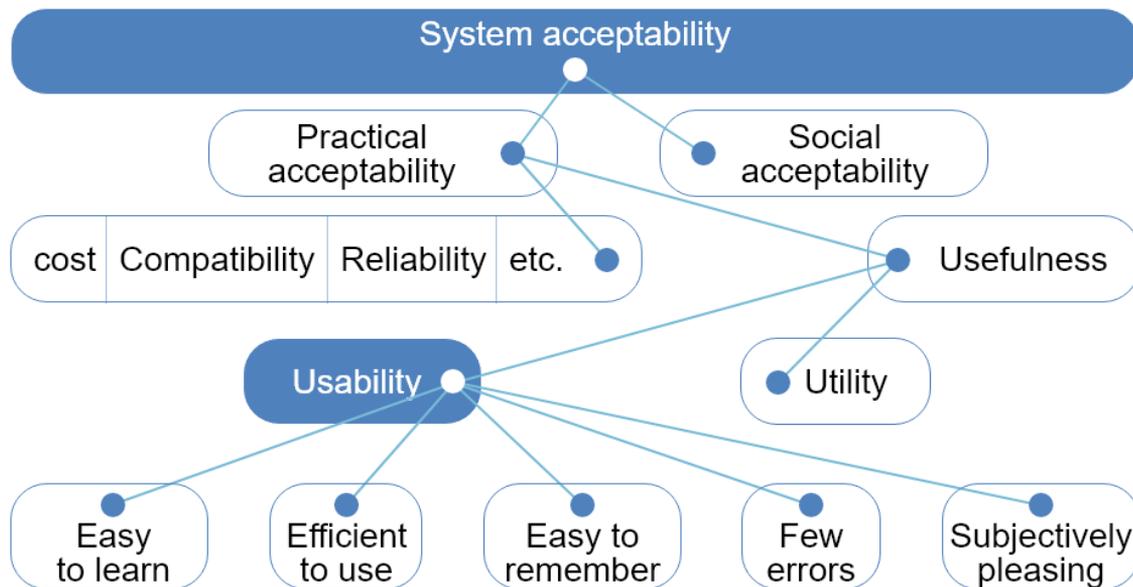


Abbildung 15: Das Modell der System Acceptability. Quelle: Nielsen (1993, S. 25), eigene Darstellung

Betrachtet man das Model der *System Acceptability* von Nielsen (1993) in Abbildung 15, dann ist Usability ein Teil der „System Acceptability“. Die Akzeptanz eines Systems von Nutzern und anderen Interessengruppen ist wiederum aufgeteilt in „practical und social acceptability“. Innerhalb der „practical acceptability“ wird unter anderem unterschieden zwischen Zuverlässigkeit, Kosten, Kompatibilität zu anderen Systemen und „usefulness“. Damit ist die Nützlichkeit gemeint, welche gebraucht wird, um bestimmte Ziele zu erreichen. Nach Nielsen (1993) ist „usefulness“ weiter aufgeteilt in „utility“ und „usability“. Bei „utility“ geht es, um die gewünschte Funktionalität das Erforderliche zu tun, damit ein Ziel erreicht werden kann. Die „usability“ hingegen befasst sich mit der Thematik, wie gut Nutzer diese Funktionalität verwenden können. Nielsen (2012) beschreibt Usability als ein Qualitätsattribut, welches dazu gebraucht werden kann, um zu beurteilen, wie gut interaktive Systeme genutzt werden können. Anhand der folgenden fünf Attribute ist es laut Nielsen möglich, Usability nicht nur als einen abstrakten Begriff zu betrachten, sondern auch gezielte Maßnahmen zur Verbesserung oder Evaluation zu treffen (Nielsen, 2012):

- „learnability“: Wie einfach ist es für einen Benutzer sein Ziel bei der ersten Nutzung zu erreichen?
- „efficiency“: Wie schnell kann man sein Ziel erreichen?

- „memorability“: Wie schnell und einfach ist es das System wieder zu nutzen, nach einer längeren Pause.
- „errors“: Zu wie vielen Fehlern kommt es bei der Nutzung, wie schwerwiegend sind diese und kann man sich von diesen wieder erholen?
- „satisfaction“: Wie angenehm ist die Nutzung?

Zu den zentralen Attributen zählen laut Nielsen (2012) all jene, die eine effiziente und effektive Bedienung eines Systems ermöglichen. Er weist allerdings auch auf die Zufriedenheit während der Nutzung hin, welche eine subjektive Komponente von Usability darstellt (Nielsen, 1993). Bei Usability geht es nicht ausschließlich darum, etwas besonders einfach oder nutzerfreundlich zu machen. Ebenso geht es nicht nur darum, etwas ästhetisch beziehungsweise besonders schön oder auffällig zu designen. Letztendlich ist es eine komplexe Angelegenheit, bei der viele Faktoren zusammenspielen, um eine Interaktion, ein Werkzeug oder einen Gegenstand effizient, effektiv, sicher und vielleicht auch ästhetisch und spaßig zu gestalten. Gleichzeitig ist die Usability oder auch die Nützlichkeit eine Komponente von User Experience. Die User Experience befasst sich zudem noch mit jenen Gefühlen eines Nutzers, die er vor, nach und vor allem während der Interaktion verspürt. Bei der Benutzung des Wortes Usability beziehen wir uns eher auf die pragmatischen und nicht emotionalen Aspekte von User Experience, inklusive objektive Performance und subjektive Meinungen (Hartson und Pyla, 2012).

Usability ist ein Begriff, der eine Vielzahl potenzieller Erscheinungsformen umfasst. Um Usability richtig beurteilen zu können, muss die Gesamtheit an Rahmenbedingungen definiert werden, um die es bei der Beurteilung geht. Aufgrund seiner Mehrdeutigkeit ist der Begriff Usability ohne diese Definition bedeutungslos. Das Konzept der Usability ist in allen Situationen relevant, bei denen menschliche Benutzer beteiligt sind und kann auf einer großen Bandbreite an unterschiedlichen Systemen angewendet werden (Speicher, 2015).

In der aktuellsten Fassung der ISO 9241-11 (2018) wird Usability folgend definiert:

„Ausmaß in dem ein System, ein Produkt oder eine Dienstleistung durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ (ISO 9241-11, 2018, S. 9)

Dabei fällt auf, dass das Wort „bestimmte“ ziemlich oft in der Definition vorkommt und daher noch sehr viel Raum zur Spezifizierung bleibt. In Abbildung 16 sind die Komponenten der Usability und ihre Relationen zueinander zu erkennen. Usability wird dabei als ein Ergebnis aus der Nutzung dargestellt, welches wiederum abhängig vom Nutzungskontextes ist (ISO 9241-11, 2018).

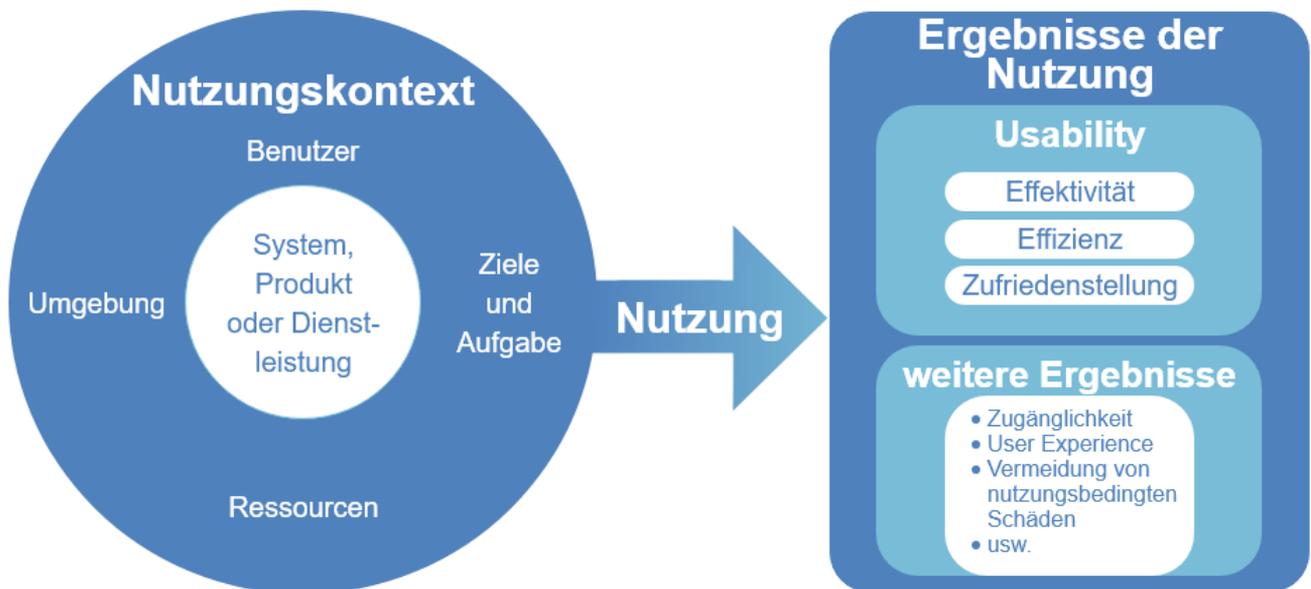


Abbildung 16: Usability als Ergebnis der Nutzung, Quelle: ISO 9241-11 (2018, S.15), eigene Darstellung

Ein interaktives System, das auf Usability untersucht wird, kann in Abhängigkeit vom Nutzungskontext, also beispielsweise den Benutzern, Zielen oder Aufgaben unterschiedliche Maße an Usability wiedergeben. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, dass die Komponenten, welche in Abbildung 16 abgebildet sind, so genau wie möglich festgelegt werden. Um diese Wichtigkeit der Abhängigkeiten zu verdeutlichen, kann man sich beispielsweise einen Hammer vorstellen, der auf Usability untersucht werden soll. Ist es die Aufgabe Nägel einzuschlagen, wird die Usability im Großen und Ganzen gut sein. Wenn es allerdings darum geht Schrauben einzudrehen, sieht das Ergebnis schon ganz anders aus. Ebenso ist es mit der Betrachtung der Nutzergruppen. Wenn ein ausgebildeter Handwerker die Aufgabe erhält, mit Hilfe eines speziellen Werkzeuges eine handwerkliche Arbeit durchzuführen, wird dieser die vorgegebene Tätigkeit vermutlich einfacher sowie besser erledigen als beispielsweise ein Laie. Dadurch wird wiederum die Usability unterschiedlich bewertet. Aus diesem Grund werden in Anlehnung an die ISO 9241-11 (2018) die einzelnen Komponenten im Anschluss genauer erklärt und mit Beispielen verdeutlicht.



Effektivität

„Genauigkeit und Vollständigkeit, mit denen Benutzer bestimmte Ziele erreichen.“ (ISO 9241-11, 2018, S. 18)

Dieses Maß gibt darüber Aufschluss, wie gut die tatsächlichen und angestrebten Ergebnisse übereinstimmen. Ein System ist ebenfalls effektiv, wenn es den Benutzer bei der Erreichung seines Ziels unterstützt, indem er zum Beispiel genau erkennt, wie und was er zu tun hat. Effektivität verweist auf die prinzipielle Fähigkeit eine Aufgabe zu erledigen. Im Falle eines Navigationssystems steht die Effektivität für das tatsächliche Erreichen eines bestimmten Zieles. Genauso kann es je nach Aufgabenstellung zum Beispiel auch die Genauigkeit des Auffindens eines

bestimmten Punktes sein oder die richtige Vermittlung, wie ein Nutzer sein Ziel erreicht. Geht es bei dem Navigationssystem beispielsweise darum, barrierefrei an das Ziel zu kommen, gibt es gewiss einige Benutzer, welche diese Funktion finden und folglich auch schnell an ihr Ziel kommen. Andere finden diese Funktion wiederum nicht und können die Aufgabe nicht lösen. In diesem Fall gibt es in erster Linie ein Problem mit der Effektivität des Systems.



Effizienz

„Effizienz bezeichnet die im Verhältnis zu den erreichten Ergebnissen eingesetzten Ressourcen.“ (ISO 9241-11, 2018, S. 19)

Typische Ressourcen sind unter anderem Zeit, menschlicher, geistiger beziehungsweise physischer Aufwand, Kosten und Materialien. In Bezug auf den Nutzungskontext sind dies sich verbrauchende Ressourcen. Die Effizienz ist dabei immer abhängig von den Zielen, für jene die Usability betrachtet wird. Bei Navigationssystemen wird die Zeit oftmals als eine sich verbrauchende Ressource betrachtet. Je schneller der Benutzer an sein Ziel geführt wird, umso effizienter ist die Navigation. In dem gleichen Beispiel kann allerdings auch der geistige Aufwand betrachtet werden, der benötigt wird, um das System beziehungsweise die Anweisungen zu verstehen und umzusetzen.



Zufriedenstellung

„Zufriedenstellung ist das Ausmaß, in dem die physischen, kognitiven und emotionalen Reaktionen des Benutzers, die aus der Benutzung eines Systems, eines Produkts oder einer Dienstleistung resultieren, in Übereinstimmung mit den Benutzererfordernissen und Benutzererwartungen.“ (ISO 9241-11, 2018, S. 20)

Physische Reaktionen sind hierbei Gefühle des Wohlbefindens oder des Unbehagens. Kognitive Reaktionen hingegen sind die Einstellungen, Vorlieben und Wahrnehmungen, die sich aus der Nutzung sowie aus vorherigen Erfahrungen mit anderen Systemen oder Meinungen verschiedener Personen ergeben. Die emotionalen Reaktionen sind die direkten affektiven Komponenten, werden ebenfalls durch die Vorerfahrungen beeinflusst und können auch physische Reaktionen hervorrufen. Die Zufriedenstellung ist eine subjektive Komponente von Usability, bei welcher der Fragestellung nachgegangen wird, ob oder inwieweit die Erwartungen der Benutzer bei der Nutzung erfüllt werden. Die erwartete Nutzung kann dabei auch die Zufriedenstellung mit der tatsächlichen Nutzung beeinflussen. Eine hohe Zufriedenstellung bei einem Navigationssystem kann beispielsweise gegeben sein, wenn der Nutzer schnell, einfach sowie genau an sein Ziel geführt wird und die Art der Führung als positiv wahrgenommen wurde. Dadurch werden die Erwartungen des Nutzers an ein Navigationssystem erfüllt.



Nutzungskontext

„Kombination von Benutzern, Zielen, Aufgaben, Ressourcen sowie der technischen, physikalischen, sozialen, kulturellen organisatorischen und sozialen Umgebungen, in denen ein System, ein Produkt oder eine Dienstleistung genutzt wird.“ (ISO 9241-11, 2018, S. 22)

Es ist essenziell, jene spezifischen Kontexte zu identifizieren, für welche die Usability betrachtet wird. Unterschiede in den einzelnen Komponenten des Nutzungskontextes können bei ein- und demselben System zu einer anderen Usability führen. Hinter dem Nutzungskontext stellt sich immer die Frage, welche Situation durch die Usability-Untersuchung abgedeckt werden soll. Die Variabilität des Nutzungskontextes wird klar, wenn alle Komponenten, die in Abbildung 16 innerhalb des Nutzungskontextes dargestellt sind, detailliert betrachtet werden. Aus diesem Grund werden die einzelnen Komponenten in den folgenden Tabellen genauer zusammengefasst und beschrieben:

Tabelle 1: Komponenten des Nutzungskontextes Teil 1, Quelle: ISO 9241-11 (2018)

Komponenten des Nutzungskontextes zusammengefasst aus ISO 9241-11 (2018)
<p>System, ein Produkt oder eine Dienstleistung</p> <p>Ursprünglich wurde die Usability als ein Qualitätsmerkmal eines Produktes angesehen. Diese Definition wurde allerdings erweitert, da auch Dienstleistungen von Personen und technische beziehungsweise andere Systeme eine Usability aufweisen können. Diese können sich aus allen zugehörigen Geräten, Einrichtungen, Programmen, Firmware etc. zusammensetzen. Als Sammelbegriff für die Kombination aus Hardware, Software, Dienstleistungen und/oder Menschen, mit welchen ein Benutzer interagiert, wird in der Norm ein „interaktives System“ genannt. Es können sowohl sehr komplexe Systeme als auch nur einzelne Komponenten eines Systems beurteilt werden.</p>
<p>Ziele</p> <p>Als Ziele werden die angestrebten Ergebnisse beziehungsweise das angestrebte Ergebnis betrachtet. Der Fokus liegt dabei ausschließlich auf dem, was erreicht werden soll, wobei die Effizienz, die Effektivität und die Zufriedenstellung nicht genau festgelegt sein müssen.</p> <p>Aus der neusten Version der Norm geht hervor, dass diese Ziele nicht ausschließlich jene des Benutzers sind, sondern auch jene von Interessensvertretern, wie beispielsweise Eigentümer, Hersteller oder das Management sein können. Entscheidend dabei ist die Sichtweise, aus welcher die Usability betrachtet wird.</p>

Tabelle 2: Komponenten des Nutzungskontextes Teil 2, Quelle: ISO 9241-11 (2018)

Komponenten des Nutzungskontextes zusammengefasst aus ISO 9241-11 (2018)
<p>Benutzer</p> <p>Die Benutzer sind Personen oder Personengruppen, die mit verschiedenen Teilen des zu untersuchenden Systems interagieren. Dabei kann zwischen den indirekten und direkten Benutzern unterschieden werden. Letztgenannte können Personen sein, die entweder das System beziehungsweise Teile davon bedienen oder mit denen eventuell durch dieses System interagiert wird. Zu den indirekten Benutzern zählen sowohl jene Personen, welche beispielsweise mit dem Output des Systems interagieren, aber prinzipiell nichts mit der Erzeugung des Outputs zu tun haben als auch jene, die für den Betrieb des Systems verantwortlich sind, wie zum Beispiel eine Verwaltung.</p>
<p>Aufgaben</p> <p>Aufgaben sind physische, wahrnehmungsbezogene und/oder kognitive Aktivitäten, die durchgeführt werden, um ein bestimmtes Vorhaben zu erreichen. Die Aufgaben beschreiben bestimmte Mittel zur Erreichung der Ziele. Diese Mittel beziehungsweise Aktivitäten können unterschiedlich kombiniert werden und somit auch zu unterschiedlichen Graden von Usability führen.</p>
<p>Ressourcen</p> <p>Der Nutzungskontext umfasst alle Gegenstände und Mittel, welche für die Erreichung von bestimmten Zielen eingesetzt werden können. Grundsätzlich kann zwischen den wiederverwendbaren und den sich verbrauchenden Ressourcen unterschieden werden. Während zu den wiederverwendbaren Ressourcen beispielsweise Hardware, Software, zur Verfügung gestellte Informationen oder Dienstleistungen zählen, fallen unter die sich verbrauchenden Ressourcen unter anderem die verfügbare Zeit, der menschliche Aufwand oder finanzielle Materialien.</p>
<p>Umgebung</p> <p>Die Umgebung im Sinne des Nutzungskotextes umfasst die technischen, physischen, sozialen, kulturellen und organisationsbezogenen Komponenten der Umgebung. Technische Komponenten ermöglichen oder beschränken die Nutzung der zur Verfügung gestellten Ressourcen. Dazu zählen unter anderem Möbel, Steuergeräte oder Verbindungsfähigkeit zum Internet. Die physischen Komponenten sind zum Beispiel die gebaute Umwelt, thermische, akustische sowie visuelle Bedingungen oder das Wetter. Soziale, kulturelle und organisationsbezogene Komponenten beinhalten beispielsweise andere Menschen, Organisationsstrukturen, Rechtslage, Privatsphäre, Normen oder Arbeitspraktiken.</p>

2.4.2 User Experience & Usability

Der Ausdruck User Experience ist am einfachsten als Benutzererlebnis in das Deutsche zu übersetzen und hat seine Wurzeln ebenfalls in der HCI. Als Namensgeber gilt der einstige Apple Vizepräsident der „Advanced Technology Group“ Donald Norman, der den Begriff in der Mitte der 1990er Jahre erstmals verwendet hat. In einem Organisationsüberblick von Norman und zwei weiteren Kollegen, in dem die kritischen Aspekte der Forschung und Anwendung von Benutzeroberflächen (*human interface*) vorgestellt wurden, kommt der Begriff User Experience zum ersten Mal zur Verwendung (Norman, Miller und Henderson, 1995). Überlegungen zur User Experience gab es allerdings schon davor. So veröffentlichte Jakob Nielsen im Jahr 1993 beispielsweise unter dem Namen *Attributes of System Acceptability* eines der ersten umfassenden nutzerzentrierten Modelle der User Experience interaktiver Anwendungen (Nielsen, 1993). Zwar wird in diesem Fall ausschließlich die Usability detailliert berücksichtigt (siehe Abbildung 15) und die User Experience nicht ausdrücklich genannt, jedoch werden zahlreiche weitere Aspekte der User Experience aufgeführt und übergreifend zueinander in Beziehung gesetzt (Arndt, 2006). 1998 gründeten Nielsen und Norman die Nielsen Norman Group, ein Unternehmen, welches sich mit der Forschung und Beratung im Bereich der User Experience beschäftigt. Dort fassen sie den Begriff User Experience folgendermaßen zusammen:

„*“User experience” encompasses all aspects of the end-user’s interaction with the company, its services, and its products.*“ (Norman und Nielsen, 2016)

Damit soll verständlich werden, dass User Experience nicht nur die Interaktion mit dem Produkt, sondern auch die Interaktion mit dem Unternehmen und den weiteren Leistungen umfasst. Für ein positives Benutzererlebnis spielt neben der Einfachheit und Eleganz auch die Freude am Produkt (Joy of Use) eine große Rolle. Usability bietet dabei Qualitätsmerkmale, wie die leichte Erlernbarkeit, Effizienz und angenehme Nutzung, doch User Experience als Konzept geht weit darüber hinaus (Norman und Nielsen, 2016).

In der Normenreihe *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion* ISO 9241 Teil 210 *Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme* lässt sich folgende Definition zur User Experience finden:

„User Experience - Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Systems, eines Produkts oder einer Dienstleistung resultieren. [...] Dies umfasst alle Emotionen, Vorstellungen, Vorlieben, Wahrnehmungen, physiologischen und psychologischen Reaktionen, Verhaltensweisen und Leistungen, die sich vor, während und nach der Nutzung ergeben.“ (ISO 9241-210, 2010, S. 4)

Diese Definition ist sehr allgemein gefasst und wird in der Norm durch weitere Anmerkungen genauer beschrieben. Nach dieser Definition sind vor allem die

subjektiven Wahrnehmungen der Nutzer sowie der Verlauf der Nutzung hervorzuheben. Die Nutzer treten mit gewissen Erwartungen an ein Produkt heran, erleben dieses während der Nutzung und verarbeiten anschließend die gewonnenen Erlebnisse, welche sich wiederum auch auf die Erwartungen auswirken. In der Norm wird neben der subjektiven auch die emotionale Seite bei der Nutzung aufgegriffen, wobei die Nähe zur Usability dennoch klar zu erkennen ist. Auf der Webseite *All About UX* werden 27 Definitionen aus der Literatur, von Freiwilligen der UX-Community und von bekannten Webportalen zusammen getragen und bis 2012 aufgelistet (Roto u. a., 2012). Besonders auffällig unter diesen Definitionen ist, dass User Experience ähnliche Aspekte der Mensch-System-Interaktion anspricht, wie die Usability. In dem Buch *The UX Book* von Hartson & Pyla (2012), finden sich folgende Definition, die eine leichte Differenzierung zwischen User Experience und Usability erkennen lassen:

“User experience is the totality of the effect or effects felt by a user as a result of interaction with, and the usage context of, a system, device, or product, including the influence of usability, usefulness, and emotional impact during interaction, and savoring the memory after interaction. “Interaction with” is broad and embraces seeing, touching, and thinking about the system or product, including admiring it and its presentation before any physical interaction.” (Hartson und Pyla, 2012, S. 5)

“Usability is the pragmatic component of user experience, including effectiveness, efficiency, productivity, ease-of-use, learnability, retainability, and the pragmatic aspects of user satisfaction.” (Hartson und Pyla, 2012, S. 6)

Es ist zu erkennen, dass der Fokus nicht mehr ausschließlich auf Usability-Kriterien, wie Effektivität und Effizienz eines Systems liegt, sondern dass diese um zusätzliche, vom Benutzer wahrgenommene Aspekte, erweitert werden (Arndt, 2006). Usability wird so zu dem erfolgsentscheidenden Teil der User Experience während der Nutzung. Zusätzlich umfasst die User Experience auch noch die Phasen vor und nach der eigentlichen Nutzung. In einer Grafik von Geis (2010), siehe Abbildung 17, ist diese Einordnung sehr gut zu erkennen. Die beiden Begriffe sind nicht voneinander zu trennen. So garantiert eine hohe Usability nicht den Erfolg eines Systems, wenn die Freude auf das Produkt nicht gegeben ist. Andererseits ist die User Experience nicht vollständig positiv, wenn die Usability schlecht ist. Insbesondere geht es bei der User Experience vor allem um die Reaktionen beziehungsweise Emotionen, welche sich vor, während und nach der Nutzung ergeben. Sie wird dabei maßgebend durch den Benutzer selbst und durch den Nutzungskontext beeinflusst. Seine Erfahrungen, Einstellungen, Fähigkeiten, Möglichkeiten und seine Persönlichkeit spielen beispielsweise neben den Zielen, Aufgaben, zur Verfügung stehenden Ressourcen und der Umgebung eine wichtige Rolle (Hartson und Pyla, 2012).

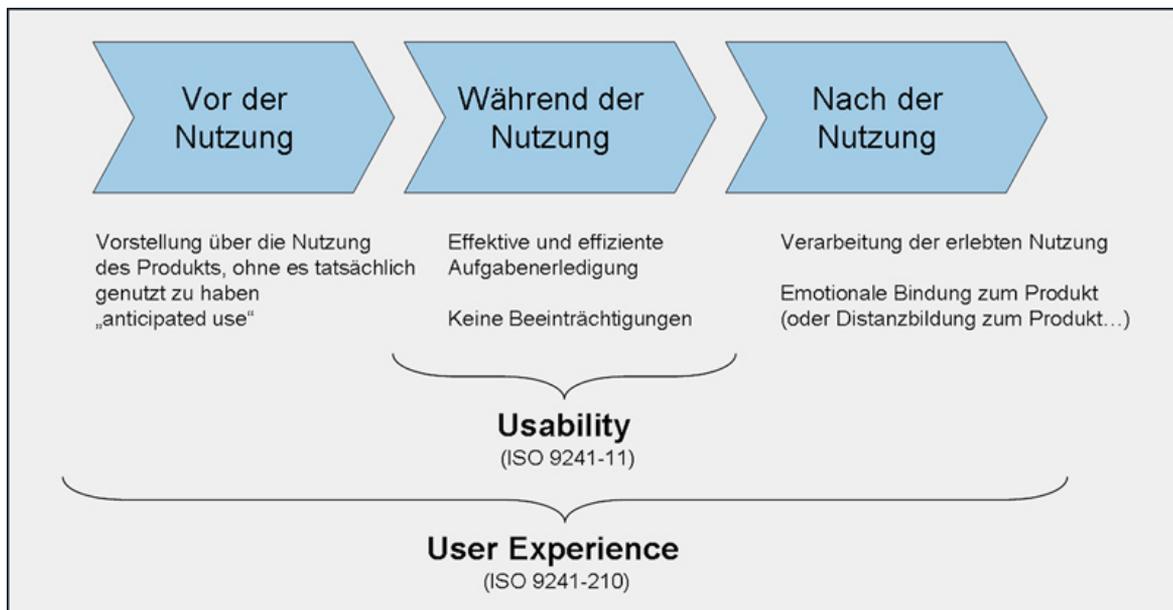


Abbildung 17: Einordnung von Usability und User Experience nach Thomas Geis, Quelle: ProContext Consulting GmbH von Geis (2010)

Eine Klärung, worum es bei User Experience essenziell geht, wurde erst durch den Fokus auf die Emotionen geschaffen. Einer der dies relativ früh erkannte, ist Marc Hassenzahl, der User Experience folgend definierte:

„I define UX as a momentary, primarily evaluative feeling (good-bad) while interacting with a product or service“ (Hassenzahl, 2008, S. 2)

Damit verschob Hassenzahl den Fokus von der pragmatischen Sicht der Usability beziehungsweise die subjektive Sicht bei der Nutzung, näher zu den Gefühlen des Menschen. Diesbezüglich merkt er an, dass es dabei nicht nur um die Gefühle geht, die während der Nutzung auftreten, sondern auch um jene, welche davor und danach verspürt werden. In dem zweiten Teil der Definition von Hassenzahl schreibt er:

„Good UX is the consequence of fulfilling the human needs for autonomy, competency, stimulation (self-oriented), relatedness, and popularity (others-oriented) through interacting with the product or service (i.e., hedonic quality). Pragmatic quality facilitates the potential fulfilment of be-goals.“ (Hassenzahl, 2008, S. 2)

Hiermit beschreibt er klar, dass Produkte emotional positiv erlebt werden, wenn sie die psychologischen Bedürfnisse des Menschen bei der Nutzung erfüllen. Somit besteht User Experience aus Usability und Utility (pragmatic quality) sowie der Nutzerfreude durch Erfüllung von Bedürfnissen (hedonic quality) (Hassenzahl, 2008). Um diese pragmatischen und hedonischen Qualitätswahrnehmungen besser zu veranschaulichen, werden diese im Vergleich zu zwei unterschiedlichen Brillen beschrieben, mit welchen der Nutzer ein Produkt, wie beispielsweise ein neues Smartphone, betrachtet. Hat der Nutzer die pragmatische Brille auf, wird gesehen, was er diesem Smartphone machen kann, wie zum Beispiel besonders

einfach Nachrichten verschicken. Wird das Smartphone mit der hedonischen Brille betrachtet, steht nicht mehr der Nutzen im Vordergrund, sondern das, was das Produkt symbolisieren könnte. Eine äußerst revolutionäre sowie moderne Technologie oder die Wahrnehmung des Nutzers von seinen Mitmenschen spielen bei der hedonischen Sichtweise eine wichtigere Rolle als eine einzelne Funktion. Dies sind abstrakte Ansichten, wobei das Hedonische die Bedürfnisse eines Nutzers viel direkter anspricht. Viele Menschen wünschen sich qualitativ hochwertige sowie innovative Produkte, neue Erlebnisse oder Erfahrungen und streben nach Anerkennung von anderen (Hassenzahl, Burmester und Koller, 2008).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Usability eine zentrale Größe für das Konzept der User Experience ist, wie in Abbildung 17 dargestellt. Die objektive und pragmatische Sichtweise auf ein Produkt, eine Dienstleistung oder ein interaktives System, wird durch die subjektive Wahrnehmung des Nutzers erweitert. Die Vermeidung von Problemen und negativen Gefühlen bei der Nutzung durch Effektivität und Effizienz ist hierbei ein wichtiger Zwischenschritt, allerdings nicht das Endziel. Zusätzlich umfasst die User Experience nicht nur die eigentliche Interaktion, sondern bedarf einer umfassenden Betrachtung von Zielen beziehungsweise Bedürfnissen des Nutzers sowie weiteren Dienstleistungen und Berührungspunkten mit dem Produkt vor beziehungsweise nach der Nutzung. Ausgehend davon ist das Ziel der User Experience, durch Erfüllung psychologischer Bedürfnisse, positive Nutzungserlebnisse vor, während und nach der Nutzung systematisch herbeizuführen.

2.4.3 Usability und Kartographie

HCI, User Experience und Usability sind weitreichende Konzepte, die durch ihre interdisziplinäre Herkunft, siehe die historische Einführung in Kapitel 2.4, ein weites Anwendungsfeld haben. Für die Kartographie liegt der ursprüngliche Zusammenhang zu diesen Konzepten in der Interaktion mit und Kommunikation von Informationen. In der Kartographie wird räumliche Information generalisiert, symbolisiert und über ein Medium für oder zur Interaktion mit einem Nutzer wiedergegeben. Dieser Zusammenhang kann über ein einfaches Kommunikationsmodell (siehe Abbildung 18) dargestellt werden. Ausgehend von einer Quelle wird ein Medium als Kanal dargestellt (zum Beispiel die Karte), welcher verschiedene Informationen an einen Empfänger vermittelt. Ein sehr einflussreiches Buch für die Kartographie bezüglich des Kommunikationsprozesses war und ist bis heute noch *The Look of Maps* von Arthur Robinson (1952) (Montello,



Abbildung 18: Ein simples Kommunikationsmodell von Robinson und Petchenik (1976). Quelle: Montello (2002), Eigene Darstellung

2002). Er erkannte darin unter anderem, dass Kartographie als Kommunikation zwischen Kartographen und Kartennutzern verstanden werden kann. So ist der Kommunikationsprozess maßgeblich durch das Aussehen einer Karte beeinflusst, indem eine Karte dadurch anders wahrgenommen oder interpretiert wird. Basierend auf dieser Erkenntnis und dem einfachen Kommunikationsmodell entstanden viele weitere, detaillierte Modelle. Das Modell von Koláčný (1969) zählt dabei zu den bekanntesten und diente den folgenden umfangreicheren oder neueren Versionen daher auch als Grundlage. Ein vereinfachtes Modell nach Koláčný (1969) ist in Abbildung 19 dargestellt. Der Kartograph nimmt in diesem Modell die Rolle des Senders ein. Er erkennt einen Teil der Realität und versucht diesen auf einem Medium, wie beispielsweise der Karte oder einer anderen kartographischen Darstellungsform, mit Hilfe der kartographischen Sprache zu visualisieren. Der Kartenbenutzer ist wiederum der Empfänger, der sein Verständnis dieser Sprache nutzt, um die Karte zu entschlüsseln. Dabei übersetzt jeder Nutzer die dargestellte Realität in seine eigene Wahrnehmung. In diesem Ablauf kann es durch Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Erfahrung, die Fähigkeiten, die Ziele, die Interessen, die Aufgaben, die psychologischen Prozesse, das Wissen der Beteiligten oder andere äußere Bedingungen, zu Fehlern im Kommunikationsprozess kommen. Die Wirklichkeit des Nutzers entspricht dadurch nicht genau jener des Kartographen.

Natürlich bezog sich das Modell nach Koláčný (1969) auf analoge Papierkarten und beschreibt einen einseitigen Informationsfluss vom Kartographen bis hin zum Nutzer. Dies ist allerdings nicht mehr zeitgemäß und durch die Digitalisierung, technologische Entwicklung sowie die Vielfalt der heutigen Geovisualisierungsmethoden haben sich sowohl die Möglichkeiten der Präsentation als auch die Art der Interaktion und somit die Wahrnehmung der Information stark verändert. Doch obwohl sich die kartographischen Produkte über die Zeit drastisch verändert haben,

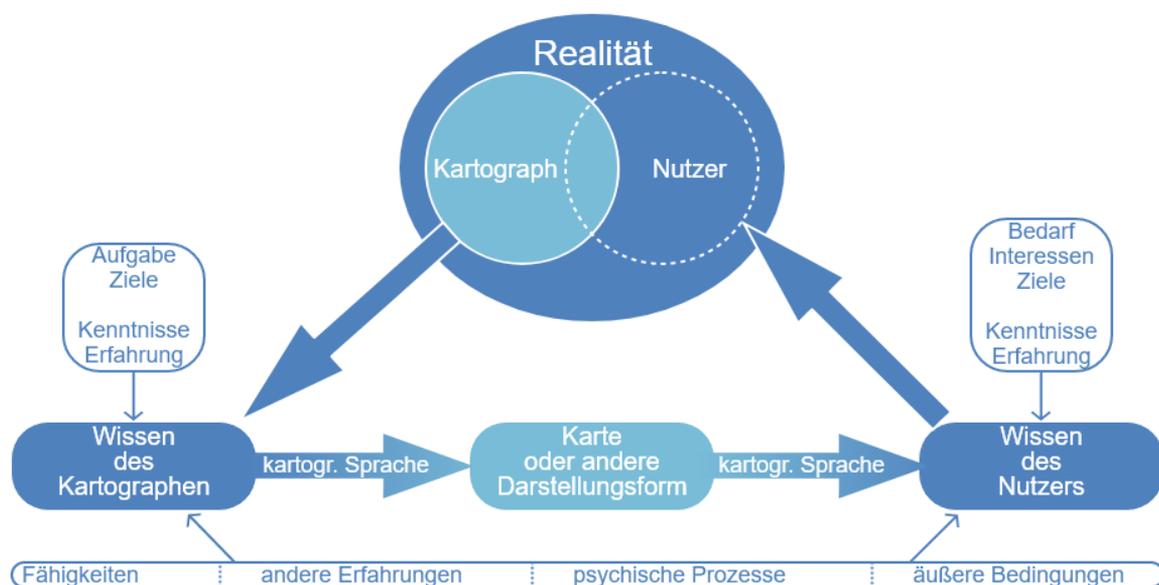


Abbildung 19: Kartographisches Kommunikationsmodell nach Koláčný (1969). Quelle: Montello (2002), Eigene Darstellung

ist das Grundprinzip, nämlich die Vermittlung von räumlichen Informationen, gleichgeblieben. In dem Kommunikationsmodell in Abbildung 19 lassen sich die Zusammenhänge zu Konzepten der Usability erkennen, da hier viele Komponenten des Nutzungskontextes, wie sie in Kapitel 2.4.1 beschrieben werden (Nutzer, Aufgaben, Ziele, äußere Bedingungen, etc.), sowie die Karte als Produkt und die Nutzung als Interaktion mit diesem direkt einfließen. Der Teilbereich der Kartographie, der sich mit dem Design und der Nutzung von Karten befasst, ist die kognitive Kartographie. Dieser Teilbereich entstand im 20. Jahrhundert und hat das Ziel, die menschliche Kognition zu verstehen, um das Design von Karten zu verbessern sowie die Nutzung effektiver zu gestalten (Montello, 2002). Aus diesem Bereich stammen viele der heutigen Konventionen bezüglich des Karten-Designs, der Kartenerstellung und der kartographische Zeichentheorie. Die Kartographie hat eine lange Geschichte, was die Erforschung von Kognition oder die Verwendung von Karten betrifft und es werden auch oft Forschungen zu Benutzerfreundlichkeit sowie zu dem Verständnis des Nutzers durchgeführt (Nivala, Tiina Sarjakoski und Sarjakoski, 2007). Für die Untersuchung von Kartennutzung im 20. Jahrhundert sei an dieser Stelle unter anderem auf die Arbeiten von Montello (2002) und von Elzakker (2004) verwiesen, welche für diese Zeit einen guten Überblick geben. Die Fortschritte und Entwicklungen des 21. Jahrhunderts zeigen allerdings, dass die Notwendigkeit, die kognitiven Prozesse eines Benutzers von neuen kartographischen Produkten zu untersuchen, nach wie vor besteht, wenn nicht sogar wichtiger ist als je zuvor. Ersteller von Karten sowie kartenverwandten Ausdrucksformen beziehungsweise generell von Systemen, die räumliche Information vermitteln, müssen verstehen, wie Nutzer diese Systeme bedienen, wahrnehmen, interpretieren und prozessieren. Hervorgerufen durch den technologischen Wandel um die Jahrhundertwende wurde festgestellt, dass der Fokus der Forschung sehr auf den neuen Technologien sowie dessen Möglichkeiten lag und Erkenntnisse des Usability Engineering in der Kartographie noch systematischer angewendet werden sollten, um Geovisualisierung effizienter zu gestalten (MacEachren und Kraak, 2001; Slocum *u. a.*, 2001).

Um Usability oder weitergefasst auch eine gute User Experience für diese Systeme zu garantieren, muss der Nutzer in das Zentrum des Designprozesses gesetzt werden. Dies sollte möglichst früh und oft während des Designs durchgeführt werden (Norman, 2013). Diese Strategie ist bekannt als nutzerzentrierte Entwicklung oder im englischen *User Centered Design* (UCD), welche ihre eigentlichen Wurzeln in der Forschungsdisziplin der HCI hat. Sie wurde von Gould und Lewis (1985) im Ansatz beschrieben und das Prinzip wurde von Norman und Draper (1986) ausformuliert sowie zum ersten Mal in der Literatur festgehalten. Dabei sollte das Design eines Produktes in einem iterativen Prozess so angepasst werden, dass eine hohe Usability gewährleistet ist (Nielsen, 1993). Wichtig für UCD ist, dass Design- und Systementscheidungen nicht vor dem Entwicklungsprozess getroffen oder festgelegt werden. Stattdessen sollten sie anhand von Feedback echter Nutzer eines Prototyps, kontinuierlich über den Verlauf der Entwicklung

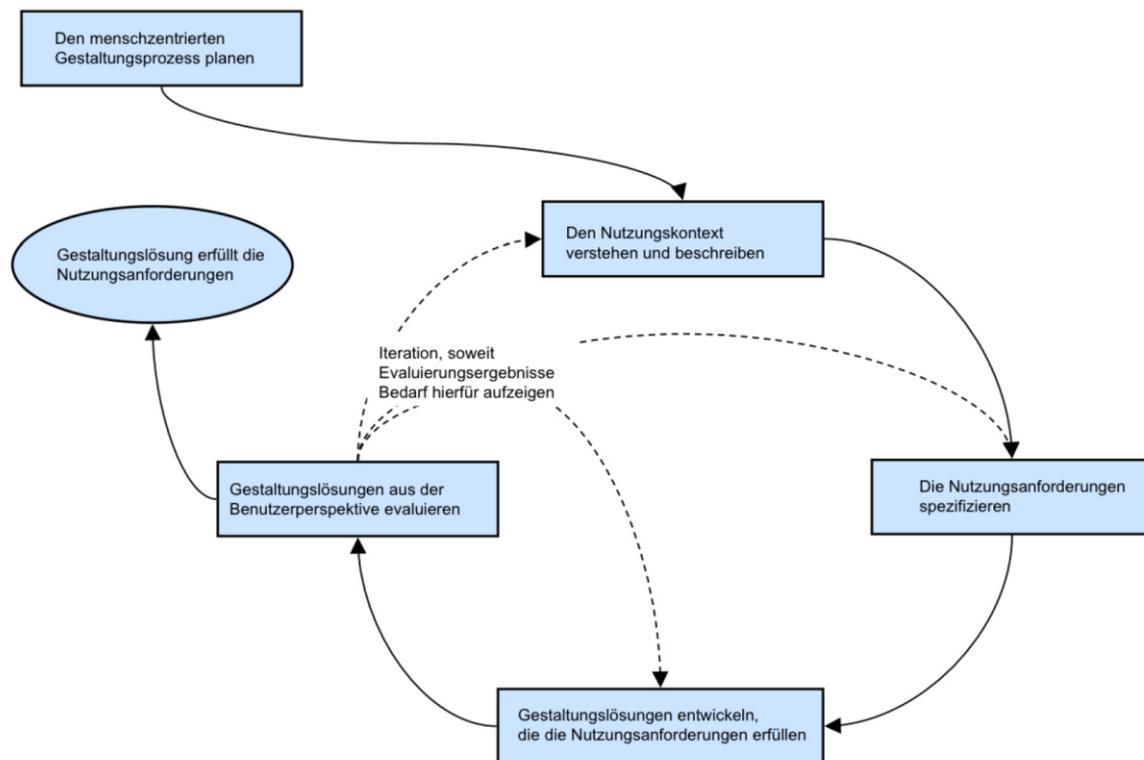


Abbildung 20: Wechselseitige Abhängigkeit menschenzentrierter Gestaltungsaktivitäten.
 Quelle: ISO 9241-210 (2010, S. 15)

angepasst werden. In Abbildung 20 wird die UCD-Strategie und ihre Komponenten dargestellt. Wie in ISO 9241-210 (2010) beschrieben, ist UCD dabei als ein Zyklus zu verstehen, bei dem ein Entwicklungskreislauf beginnt, welcher auf der Erfassung aller Anforderungen an ein Produkt beruht. Folgende vier Phasen werden dabei in einem iterativen Prozess durchlaufen bis die Nutzeranforderungen zufriedenstellend erfüllt sind (Norman, 1988; ISO 9241-210, 2010).

- *Nutzerkontext*
 Erfassung der Zielgruppe, des Ziels und der Umgebung der Verwendung.
- *Nutzeranforderungen*
 Erfassung der für den Erfolg relevanten Anforderungen aller Interessengruppen oder Nutzer.
- *Gestaltungslösung*
 Erstellung eines Prototyps anhand des Nutzungskontextes und der Nutzungsanforderungen.
- *Evaluierung der Gestaltungslösung*
 Usability-Testing anhand echter Nutzer.

UCD ist nicht die einzige Strategie, welche sich vom Usability Engineering auf die Kartographie übertragen lässt und viele Usability-Methoden sind ebenfalls Teil der

der empirischen Forschung in der Kartographie. Oft werden bei dieser aber eher quantitative Experimente angewendet, die viele Parameter vereinfachen, festlegen beziehungsweise kontrollieren, um verallgemeinerbare Erkenntnisse zu erhalten. Bei UCD hingegen wird der Wert darauf gelegt, mit echten Nutzern in realistischer Umgebung zu testen und eher qualitative sowie kontextuell übertragbare Ergebnisse zu erhalten (Roth, 2019). Aus einer Übersicht von Nivala (2007) geht hervor, dass die systematische Anwendung von Usability Methoden, speziell UCD, in der Entwicklung kartographischer Produkte stetig zunimmt. Des Weiteren werden auch die Vorteile eines UCD-Ansatzes zunehmend von Forschern bestätigt (Tsou, 2011; Ooms, 2012; Roth, Ross und MacEachren, 2015).

Digitale kartographische Produkte, inklusive solcher, die räumliche Information auf eine abstrakte Art vermitteln, weisen zunehmend mehr Interaktivität auf. Dies hat die Möglichkeit des Designs und der Nutzung dieser Produkte stark diversifiziert. So ist der eigentliche Nutzer auch nicht mehr nur passiv, sondern kann die Visualisierungen aktiv an die eigenen Bedürfnisse anpassen (Muehlenhaus, 2013). So können verschiedene Ansichten, Datenlayer, Zoomstufen oder bestimmte Designelemente während der Nutzung verändert oder bestimmt werden. Die in Kapitel 2.3 beschriebene Entwicklung von AR beispielsweise eröffnet Wege der Interaktion und Immersion, die zuvor eher aus Science-Fiction bekannt sind. Virtuelle Inhalte verschmelzen nahtlos mit der realen Welt oder diverse Anweisungen können mit Gesten oder auditorisch gesteuert werden. Wie nutzen wir diese Techniken und wie wirken sich diese auf den Nutzer aus, sind zentrale Fragen, die noch nicht ausreichend beantwortet sind.

Im Allgemeinen zeigt uns die technologische Entwicklung oder die aktuelle rapide Zunahme von interaktiven Produkten sowie Möglichkeiten, dass die Forschung der Interaktion zwischen Menschen und Computern noch lange nicht an ihrem Höhepunkt angekommen ist. Die Methoden und Erkenntnisse der User Experience beziehungsweise Usability Forschung sind auch in der Kartographie zwingend notwendig, um die Interaktion einerseits besser zu verstehen und andererseits effektiver zu gestalten. So wurde in der Forschungsagenda der internationalen kartographischen Vereinigung (ICA) im Jahr 2017 sowohl die Notwendigkeit als auch eine Reihe von Möglichkeiten für empirische Forschung zum Design und zur Verwendung interaktiver kartographischer Produkte identifiziert. Dabei wurde unter anderem speziell die Verwendung von UCD empfohlen (Roth *u. a.*, 2017).

3 Methodik

3.1 Überblick und generelle Überlegungen

Um die Nutzersicht der Problematik bei der Indoor-Navigation zu bewerten und in Relation zu implementierten Methoden zu setzen, soll in dieser Arbeit eine AR-Navigations-Applikation sowohl auf Usability als auch auf empfundene Arbeitslast untersucht und einer Navigation mit Hilfe einer analogen Karte gegenübergestellt werden.

Die Usability wird üblicherweise gemessen, indem vor allem jene Testbenutzer eingesetzt werden, die möglichst der normalen Anwendergruppe eines Systems entsprechen. Diese sogenannten Testbenutzer sollen versuchen, bestimmte Ziele zu erreichen, wobei sie von dem System, welches untersucht werden soll, unterstützt werden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass die Usability immer nur in Relation zu bestimmten Nutzern und bestimmten Aufgaben gemessen werden kann (Nielsen, 1993).

Dieser Prozess findet oft anhand einer Usability-Evaluierung statt. Im Allgemeinen gibt es bei diesen Evaluierungen zwei Herangehensweisen. Es wird grundsätzlich zwischen den formativen und den summativen Usability-Evaluierungen unterschieden. Die formativen Evaluierungen werden meistens am Beginn einer Entwicklung oder während eines Entwicklungsprozesses angewendet und verfolgen das Ziel regelmäßige Zwischenergebnisse zu liefern, um den Ablauf zu optimieren oder die Entwicklung weiterzubringen. Oft werden die formativen Evaluierungen iterativ durchgeführt und die Ergebnisse werden direkt umgesetzt sowie einer erneuten Evaluierung unterzogen (Sauro und Lewis, 2016; UXQB, 2017; Joyce, 2019).

Die summativen Usability-Evaluierungen hingegen finden meist am Ende eines Entwicklungszyklus statt oder werden auf fertiggestellte Produkte angewendet. Im Gegensatz zu den formativen ist das Ziel der summativen Evaluierung nicht die Einflussnahme auf den Designprozess, sondern die Beurteilung von Güte und Wert eines Systems. Dabei wird es entweder in Relation zu den angestrebten Zielen oder direkt anhand eines Vorgänger- beziehungsweise Vergleichssystem bewertet (Sauro und Lewis, 2016; UXQB, 2017; Joyce, 2019).

In dieser Arbeit soll eine AR-Indoor-Navigations-Applikation, welche die Positionierung über die Erkennung der 3D Umgebung bewerkstelligt und somit keine Abhängigkeit von zusätzlicher Hardware aufweist, mit einem bereits etablierten System, den Informationsschildern und der analogen Karte, verglichen werden. Da das zu testende System schon entwickelt ist, generell funktionstüchtig ist und anhand eines Vergleichssystem bewertet werden soll, wird bei dieser Usability-Evaluierung der summative Ansatz durchgeführt. Da die hier vorliegende

Arbeit die Akzeptanz dieser AR-Navigationslösung bei den Benutzern untersucht und messbare Kennwerte für Usability aufzeichnet, wird eine inspektionsbasierte Evaluierung ausgeschlossen. Darunter fallen Methoden, wie beispielsweise die heuristische Evaluierung, die Experten-Usability Reviews oder die cognitive Walkthroughs. Stattdessen wird eine benutzerzentrierte Evaluierung durchgeführt, bei der unter anderem der Usability-Test und die Benutzerbefragung zu den geläufigen Methoden zählen (UXQB, 2017). Bei dem Usability-Test kann meist zwischen einem qualitativen und einem quantitativen Test unterschieden werden. Während erstgenannter hauptsächlich darauf abzielt, ein Verständnis von den Erfordernissen, den Zielen und den Gründen für das Verhalten eines Nutzers zu schaffen, erhebt der quantitative Usability-Test Kennzahlen für Effektivität, Effizienz oder Zufriedenstellung eines Systems (Budiu, 2017; UXQB, 2017). Bei den Benutzerbefragungen geht es generell darum, die subjektiven Aussagen von Testpersonen, die sie bezüglich ihrer Erfahrung mit dem System getätigt haben, in einen Fragebogen einzutragen. Diese werden vor allem eingesetzt, um die Zufriedenstellung zu evaluieren oder um Daten zum Nutzerkontext zu sammeln. Ähnlich wie bei dem Usability-Test wird auch hier zwischen den qualitativen und den quantitativen Benutzerbefragungen unterschieden. Bei einer qualitativen Befragung wird vorwiegend das Verständnis des Nutzungskontextes untersucht, indem die Fragen in einer freien Textform beantwortet werden. Bei einer quantitativen Befragung wird die Antwort aus mehreren Alternativantworten gewählt oder anhand einer Skala eingestuft, wobei bei dieser Art der Befragung der Fokus auf der Zufriedenstellung oder der User Experience liegt (UXQB, 2017). Bei der Wahl der passenden Methoden für die Evaluierung stellt sich immer die Frage nach dem Ziel, das verfolgt wird. Um eine ganzheitliche Sicht zu erlangen, kann es auch von Nutzen sein, mehrere Methoden miteinander zu kombinieren. Beispielsweise geben quantitative Methoden Aufschluss darüber, was in welchem Ausmaß passiert, wobei qualitative Methoden zusätzlich klären können, warum etwas passiert (Ooms, 2016; Budiu, 2017; UXQB, 2017; Renwick, 2019). Die angewendeten Methoden werden im Folgenden kurz zusammengefasst und danach im Detail beschrieben.

In der vorliegenden Arbeit werden Kennzahlen über das Ausmaß von Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung erhoben, weshalb die zentrale Methode ein quantitativer Usability-Test ist. Während die Effizienz anhand der Bearbeitungszeit gemessen wird, soll eine Dokumentation der Fehlentscheidungen Aufschluss über die Effektivität der getesteten Systeme geben. Die Zufriedenstellung ergibt sich aus einer quantitativen Benutzerbefragung und um weitere Gründe für unterschiedliche Navigationszeiten zu verstehen, wird der Orientierungssinn sowie die Arbeitsbelastung anhand von weiteren Fragebögen ermittelt. Um weiter die Nutzerbewertungen einzuordnen beziehungsweise zu hinterfragen, werden die Nutzer beim Test dazu aufgefordert, „laut zu denken.“ Zusätzlich werden alle Beobachtungen dokumentiert. Bevor die einzelnen Methoden in Kapitel 3.3 nochmals beschrieben werden, soll der Nutzerkontext festgelegt werden.

3.2 Nutzungskontext

Bei quantitativen Studien beziehungsweise der Untersuchung von Usability können und sollen Komponenten des Nutzungskontextes (Kapitel 2.4.1 und Abbildung 16) festgelegt sowie kontrolliert und beim Verlauf der Tests konstant gehalten werden (Budiu, 2017; ISO 9241-11, 2018). Im Anschluss werden diese Komponenten genauer definiert.

3.2.1 Teilnehmer / Benutzer

Um den Rekrutierungsprozess effizienter zu gestalten und um sicherzustellen, dass genug Nutzer zur Verfügung standen, wurde der Großteil der Teilnehmer aus dem Bekanntenkreis des Verfassers der Arbeit rekrutiert. Zusätzlich wurden Museumsbesucher immer dann aktiv angesprochen, wenn ausreichend Zeit zwischen den zuvor ausgemachten Terminen zur Verfügung stand. Bei der Wahl der Anzahl der Teilnehmer wird oft ein Mindestumfang von 30 Fällen vorgeschlagen, da unter der Berücksichtigung des zentralen Grenzwertsatzes ab dieser Größe eine Annäherung der Ergebnisse an eine Normalverteilung vorliegen kann (Heyde, 2014). Nach der Auswertung zahlreicher Web Usability Tests, der Benutzerleistung und der Konfidenzintervalle ist Nielsen (2006) zu dem Entschluss gekommen, dass bei quantitativen Studien durchschnittlich 20 Nutzer getestet werden sollen. Diese Anzahl sei demnach ausreichend, um aussagekräftige Messungen zu machen, ohne dabei Ressourcen zu verschwenden. Wenn man die Konfidenzintervalle in Abbildung 21 betrachtet, wird klar, dass eine Erhöhung der Testteilnehmer über den Punkt von 20 Benutzern nur eine geringe Auswirkung auf die Fehltoleranz des Mittelwertes bewirkt (Nielsen, 2006). Da ein einzelner Test ca. 30 Minuten in Anspruch nimmt, wurde die Anzahl der Teilnehmer auf 60 Personen limitiert, um die Usability Evaluierung in einem angemessenen zeitlichen Rahmen zu halten. Diese 60 Personen wurden größtenteils zufällig auf zwei Gruppen aufgeteilt, wovon eine die Applikation für die Navigationsaufgabe (APP-Gruppe) und die andere die analogen Methoden (MAP-Gruppe) nutzen sollte. Es wurde lediglich darauf geachtet, dass eine ähnliche Zusammensetzung der Gruppen bezüglich Alter und Geschlecht eingehalten wurde, da geschlechts- oder altersspezifische Unterschiede in dieser Usability-Evaluierung nicht untersucht werden sollten. Zusätzlich wurde jede Person gefragt, ob sie mit der jeweiligen Zuteilung einverstanden ist oder ob sie lieber die andere Variante bevorzugen würde. Dadurch sollte die Zufriedenheit jedes Teilnehmers garantiert werden. Daraus

ergab sich eine Teilnehmergruppe mit einem Durchschnittsalter von 28,4 Jahren, wobei die älteste Person 65 und die jüngste 20 Jahre alt war. Insgesamt nahmen 27 Männer und 33 Frauen an der Evaluierung teil. Eine genaue Auflistung der Zusammensetzung der Gruppen ist in Tabelle 3 in Kapitel 4.1 zu sehen.

3.2.2 Testumgebung & Ressourcen

Die Grundbedingung für die Testumgebung war ein nicht zu einfach navigierbarer Innenraum. Da dem Autor nach ausführlicher Recherche im österreichischen Raum kein Innenraumkomplex bekannt ist, für den es eine Indoor-Navigationsmöglichkeit mittels AR gibt, sollte eine eigene Applikation für eine Lokation erstellt werden. Die Firma ViewAR GmbH aus Wien hat sich dazu bereit erklärt, die Einrichtung dieser Applikation für ein Wiener Museum zu unterstützen und ein vorgefertigtes Template Namens *GuideBOT* zur Verfügung gestellt. Das Albertina Museum in Wien hat sich nach Kontaktaufnahme und Vorstellung der Idee dazu bereit erklärt, ihre Räumlichkeiten für einen Usability-Test mit einer Demoversion des *GuideBOT's* zur Verfügung zu stellen. Die Navigationsaufgaben fanden im Erdgeschoss, im ersten und im zweiten Stock in der Sammlung Batliner sowie in den Prunkräumen der Albertina statt. Die APP-Gruppe erhielt für die Erfüllung der Aufgaben ein iPhone X, auf dem die ViewAR App bereits installiert war und zur Nutzung bereitstand. Nach einem kurzen Scan der Umgebung konnten die Nutzer mit Hilfe der ViewAR App den virtuellen Guide (*GuideBOT*) abrufen. Anschließend konnten sie aus einer Liste mit mehreren vorgegebenen Punkten einen auswählen, zu dem sie der *GuideBOT* führen sollte. Die MAP-Gruppe bekam hingegen eine A4-Karte (Anhang E: Die analoge Karte für die MAP-Gruppe), auf welcher die Raumpläne der drei relevanten

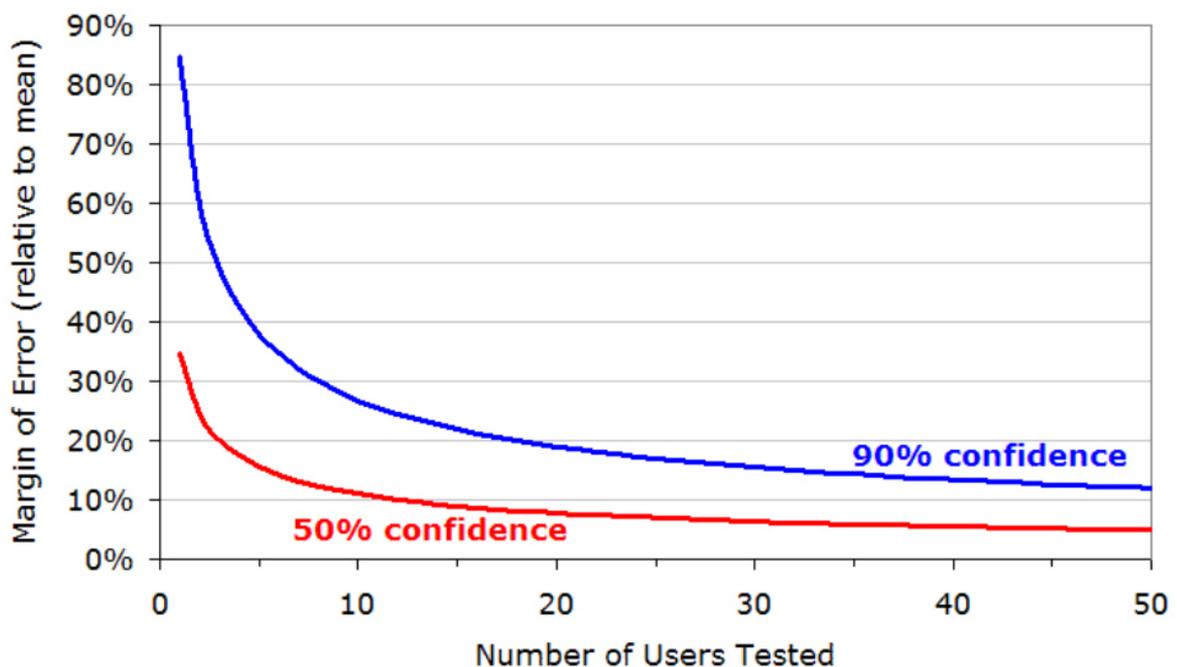


Abbildung 21: 90% (blau) und 50% (rot) Konfidenzintervall in Abhängigkeit von Fehlertoleranz vom Mittelwert unter Berücksichtigung der Anzahl getesteter Nutzer. Quelle: Nielsen (2006)

Etagen sowie wichtige Punkte eingezeichnet sind. Des Weiteren wurden die Testbenutzer aktiv darauf aufmerksam gemacht, dass sie neben der Karte auch die zahlreichen Hinweisschilder in der Albertina nutzen konnten (Abbildung 22). Lifte durften bei dieser Evaluierung nicht genutzt werden, da sie mit der Demoinstallation des *GuideBOTs* nicht zu benutzen waren und so die MAP-Gruppe einen Vorteil gehabt hätte. Eine komplette Testsitzung hat ungefähr 30 bis 45 Minuten in Anspruch genommen, wofür rund 10 bis 20 Minuten für die Navigationsaufgabe verwendet wurden. Die Durchführung der Usability-Tests fand im Zeitraum vom 17. August bis 30. August statt.

3.2.3 Ablauf, Aufgaben & Ziele

Nachdem jeder Teilnehmer begrüßt wurde, bekam er eine 5 bis 10 Minuten lange Erklärung darüber, worum es bei dem Usability-Test geht. Dabei wurde vor allem Wert darauf gelegt, dass diese einerseits den Hintergrund sowie die Ziele des Tests und andererseits die Aufgaben, welche zu erledigen waren, enthielt. Kurz zusammengefasst war das Ziel, eines der beiden vorgestellten Systeme zu nutzen, um die vorgegebenen Räume oder Bilder in der Albertina zu finden. Vor dem eigentlichen Test sollte jede Person die Einwilligung zur Teilnahme, sämtliche Angaben zur eigenen Person und den SBSOD-Fragebogen zur Selbsteinschätzung des Orientierungsvermögens ausfüllen. Anschließend wurde die Funktionsweise der ViewAR-App beziehungsweise des analogen Kartensystems im

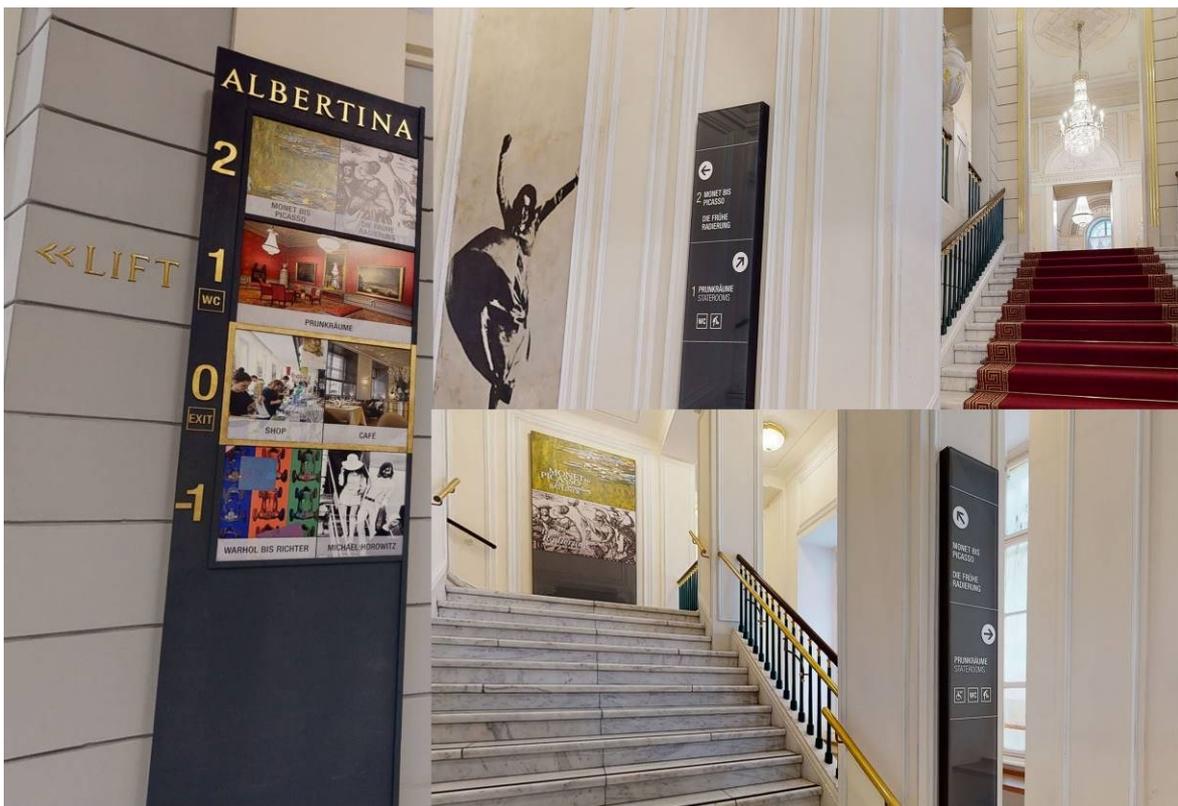


Abbildung 22: Verschiedene Hinweisschilder in der Albertina (eigene Aufnahmen)

Eingangsbereich der Albertina erklärt und solange getestet, bis der Teilnehmer das jeweilige System sicher bedienen und nutzen konnte. Kurz vor dem Testbeginn wurde die Testperson dezent dazu aufgefordert, während des Durchlaufs „laut zu denken“. Damit der Testleiter sämtliche Beobachtungen oder Gedanken des Probanden notieren konnte, blieb er immer in dessen unmittelbaren Umgebung. Der Teilnehmer wurde vom Testleiter verbal dazu angewiesen, bestimmte Bilder oder Räume in der Albertina aufzufinden. Neben der akustischen Anweisung wurde zusätzlich eine A4-Tafel mit dem gesuchten Objekt gezeigt (Anhang F: Aufgabeninformationsschilder). Wenn der Proband das Bild oder den Raum seiner Meinung nach gefunden hatte, sollte er dies dem Testleiter mit Hilfe einer Geste oder verbalen Äußerung signalisieren, um anschließend die nächste Anweisung zu bekommen. Folgende Objekte sollten der Reihe nach aufgefunden werden:

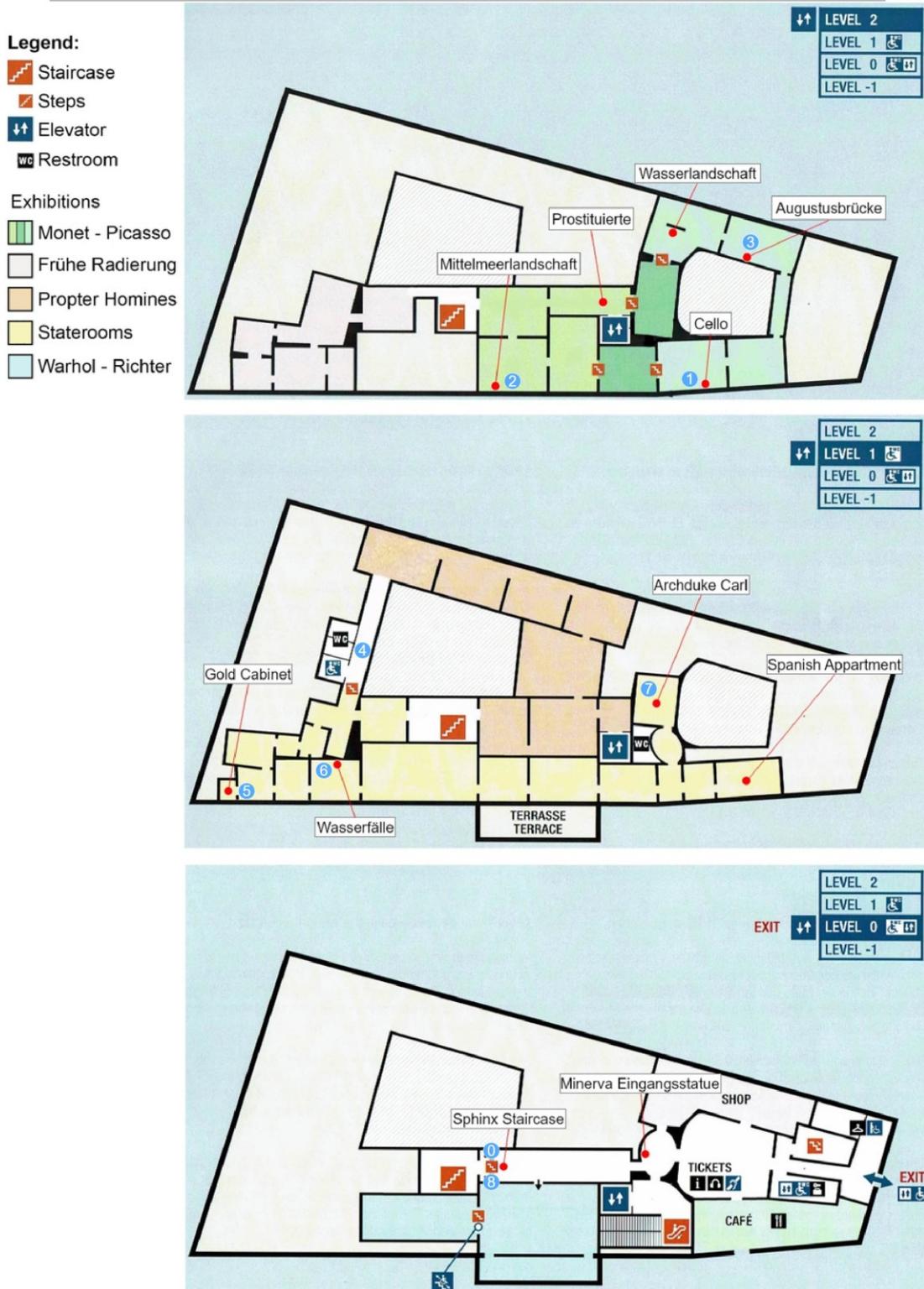
- 2. Stock, Bild: Cello von Vasili Shukaev
- 2. Stock, Bild: Mittelmeerlandschaft von Picasso
- 2. Stock, Bild: Augustusbrücke von Kokoschka
- 1. Stock, WC
- 1. Stock, Raum: Gold Cabinet
- 1. Stock, Bild: Wasserfälle von Tivoli
- 1. Stock, Raum: Zimmer von Archduke Carl
- Erdgeschoss, Sphinx Staircase

Die Abfolge der Objekte ist auf der analogen Karte in Abbildung 23 eingezeichnet. Direkt nach dem Test sollten die Probanden zuerst den SUS-Fragebogen (Anhang C: Fragebogen – System Usability Scale) und anschließend den NASA-TLX-Fragebogen (Anhang D: Fragebogen – NASA Task-Load-Index) ausfüllen. Während der zuerst genannte Fragebogen Auskunft über die Zufriedenstellung des Systems gibt, befasst sich der zweite mit dessen Arbeitslast.

3.2.4 Das analoge System

Die Albertina besitzt für ihre Besucher keine analogen Raumpläne mehr, da vor einigen Jahren entschieden wurde, dass diese nicht hilfreich genug wären, selten genutzt wurden und nur unnötigen Unrat verursachten. Am Eingang der Albertina befindet sich ein Schild, welches den Überblick über die Etagen und die dort vorhanden Ausstellungen zeigt (Abbildung 22 links). Dieses ist auf jeder Etage inklusive der Ausweisung der jeweiligen Ebene, zu finden. An allen Entscheidungspunkten befinden sich Hinweisschilder, die naheliegende Ausstellungen sowie wichtige Punkte, wie beispielsweise Lift oder WC's, markieren. Die meisten Ausstellungen sind in der Regel so aufgebaut, dass man im Kreis geht

und der Ausgang einfach beziehungsweise schnell zu finden ist. Ein einzelnes Kunstwerk oder bestimmte Gegenstände zu lokalisieren ist ohne vorheriges Wissen oder Hilfe nicht einfach. Des Weiteren ist eine schnelle Navigation zu beispielsweise den beliebtesten Bildern oder Gegenständen ohne einen Guide nicht möglich. Das große Treppenhaus verbindet die Etagen und verfügt in der ersten Etage über mehrere Abzweigungen, welches die Besucher, laut den Mitarbeitern, oft verwirrt. Um das analoge System zu erweitern, wurde ein alter Raumplan organisiert, der nur noch zur Information für die barrierefreie Benutzung des Museums existiert. Aus diesem wurden die relevanten Etagenpläne entnommen und kompakt auf einer DIN A4- Seite dargestellt. Die Flächen der Ausstellungen wurden auf dieser Karte farblich gekennzeichnet und in der Legende neben wichtigen Punkten sowie Landmarken hinterlegt. Einzelne Kunstwerke sowie einige Räume wurden an den korrekten Punkten verortet und ausgewiesen. Die so erstellte Karte ist in Abbildung 23 zu sehen, jedoch wurde die Abfolge der gesuchten Punkte dort zusätzlich ausgewiesen.



Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien
 Kontakt:
 marcel@roenisch.de



Abbildung 23: Die analoge Karte. Inklusive nummerierter Abfolge der gesuchten Bilder und Räume

3.2.5 AR-Applikation

Im Zuge einer Internetrecherche hat sich herausgestellt, dass es noch keine allgemein verfügbare Indoor-Navigations-App, welche auf AR basiert, gibt. Für den Outdoor-Bereich bietet zum Beispiel Google Maps das Visual Positioning Service (VPS) an, dass seit Anfang 2019 zuerst für lokale Führer und mittlerweile auch für immer mehr User zur Verfügung gestellt wird. Zu finden ist diese Funktion in der Fußgängernavigation unter „Live-View“. Der Hauptanwendungspunkt liegt dabei nicht in der kompletten Navigation mit Hilfe von AR, sondern eher in der genauen Kalibrierung der eigenen Position sowie der Orientierung an Entscheidungspunkten, wie dies in Abbildung 24 dargestellt ist. Google VPS nutzt dabei GPS, AR und die umfangreiche Bilddatenbank von Google Street View für die Lokalisierung bzw. Kalibrierung und die genaue Orientierung über die Kamera (Google AI Blog, 2019). Die Verbreitung von allgemein gültigen Applikationen ist derzeit vor allem aufgrund der 3D-Datengrundlage äußerst erschwert. Viele Unternehmen, darunter auch große wie Google, Apple oder Facebook, arbeiten momentan an ihren Versionen einer AR-Cloud, ein maschinenlesbares 3D Abbild der physischen Welt (Bezmalinovic, 2020; Bitforge AG, 2020). AR-Spieleentwickler wie *Niantic* (Pokémon Go) haben sich beispielsweise Anfang 2020 mit *6D.ai*, einem Softwareentwickler spezialisiert auf AR-Mapping, zusammengeschlossen, um

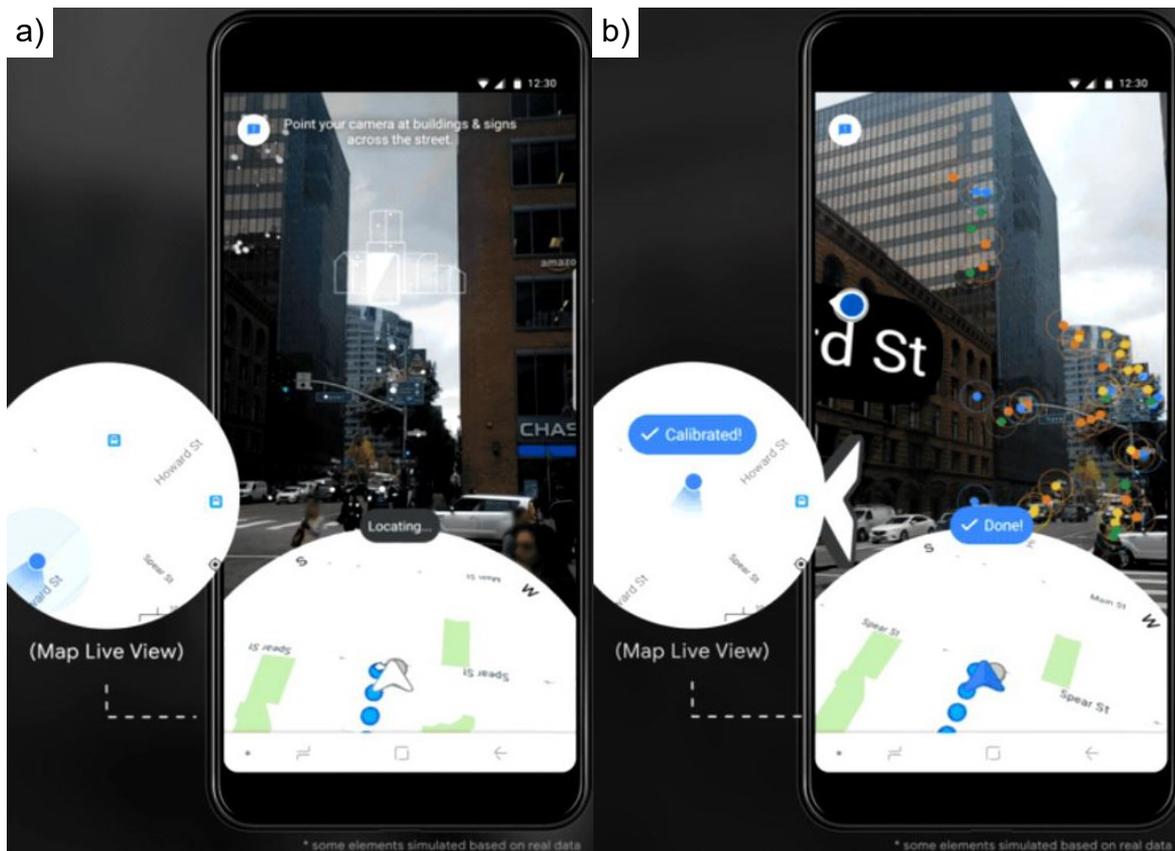


Abbildung 24: Google VPS. a) Vor der visuellen Positionserkennung b) Nach der visuellen Positionserkennung mit virtuellem Inhalt. Quelle: Screenshots bearbeitet von Google AI Blog (2019)

ebenfalls an einer besseren AR-Cloud zu arbeiten. So soll zukünftig die Spielerbasis von Niantic dazu beitragen freiwillig diverse Räume zu vermessen (Miesnieks, 2020; Niantic Inc., 2020b). Für den Indoor-Raum gibt es bereits einige Initiativen, wie beispielsweise das „Indoor Maps Program“ von Apple (Apple Developers, 2019) oder die Indoor-Karten in Google Maps (Google, ohne Datum). Diese ermöglichen es als Partner seine 2D-Räume zu digitalisieren und zu visualisieren. 3D-Punktwolken liegen hier allerdings nicht im Fokus und eine AR-Funktion wird auch noch nicht angeboten. Des Weiteren stellt es ein Problem dar, dass Gebäudeinnenräume meist nicht öffentlich zugänglich sind und es einer Besitzergenehmigung bedarf, um den Innenraum darzustellen. Aus diesen Gründen sind es zumeist nur einzelne Unternehmen, welche den Gebäudebesitzern proprietäre Software und Services anbieten, mit denen der Gebäudeinnenraum digitalisiert werden kann. Mit verschiedensten Positionierungsmethoden wird anschließend auch Indoor-Navigation ermöglicht. Beispiele für Unternehmen, die auch Indoor-Navigation mit AR anbieten, sind Pointr Ltd, Dent Reality Ltd, Visualix GmbH, INS Insider Navigation Systems GmbH und ViewAR GmbH. Jedes dieser Unternehmen verfügt über eigene Fallstudien anhand derer das AR-Indoor-Navigationsprodukt vorgestellt wird (siehe Abbildung 25),

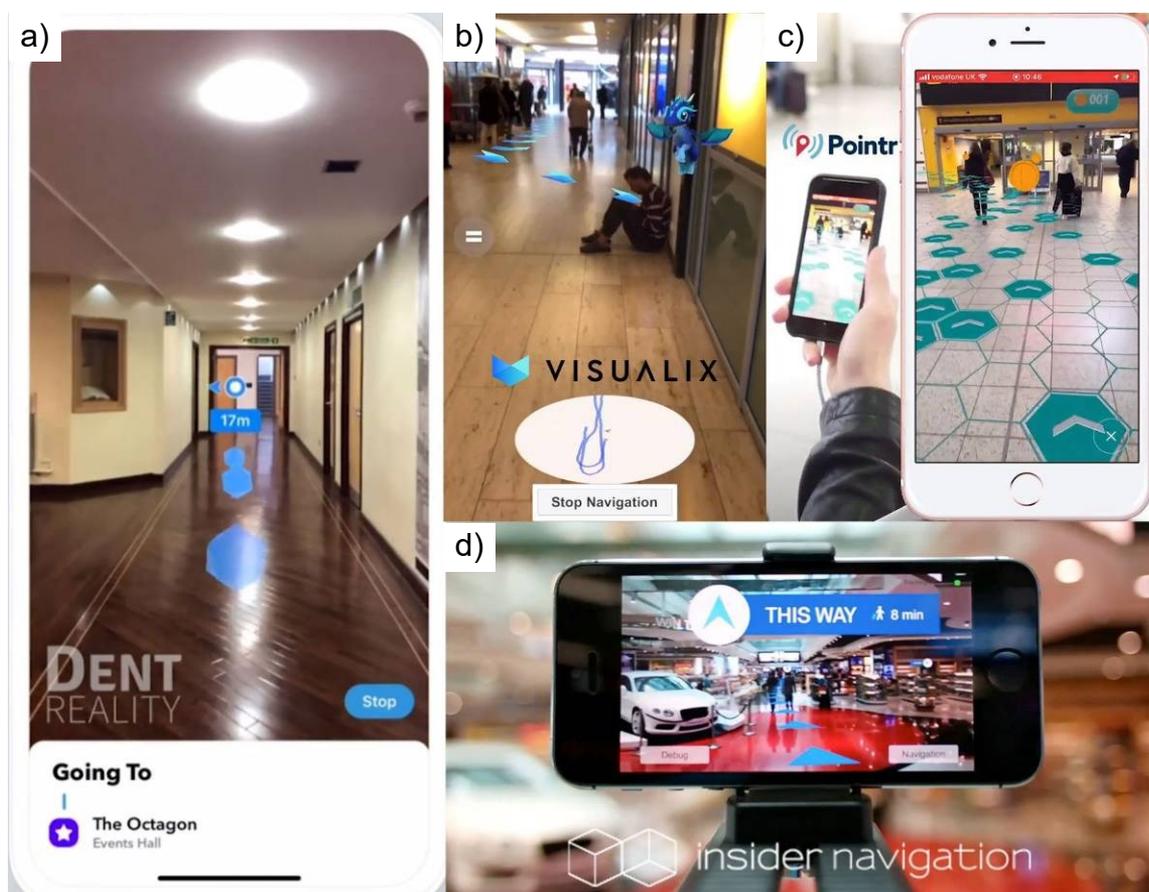


Abbildung 25: AR-Indoor-Navigation Demonstrationsfallstudien von a) Dent Reality Ltd, b) Visualix GmbH, c) Pointr Ltd, d) INS Insider Navigation Systems GmbH, Quelle: Dent Reality, Visualix, Pointr, Insider Navigation (online)

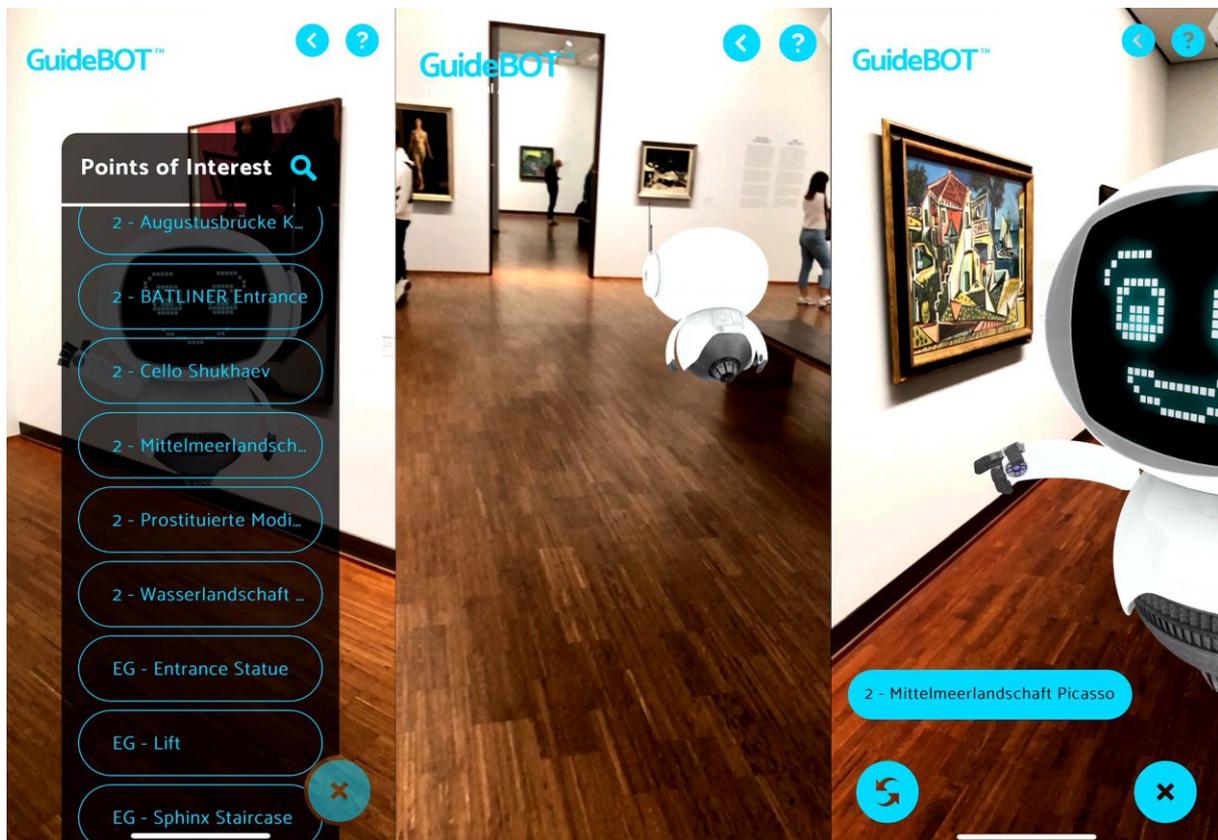


Abbildung 26: GuideBot App-Ansicht. Links: Begrüßung & Auswahlmenü, Mitte: Wegführung, Rechts: Anzeige des Ziels

doch nur wenige bieten deren Applikation frei verfügbar an. In manchen Fällen kann man auf Anfrage jedoch eine eingeschränkte Demo-Version ausprobieren.

Um eine stabil laufende und funktionierende Demo-Installation in einem Museum umzusetzen, wurde in dieser Arbeit mit dem Wiener Softwareanbieter ViewAR GmbH zusammengearbeitet. Dieses Unternehmen stellt ein Software Development Kit (SDK) zur Entwicklung Template-basierter AR-Applikationen zur Verfügung. Dabei werden diverse Tracking- und AR-Technologien, wie unter anderem *ARKit* und *ARCore* auf einer Plattform vereint und vorgefertigte Templates bereitgestellt, um AR-Applikationen zu erstellen, zu testen und zu veröffentlichen. Eines dieser Templates ist GuideBOT, mit dem die Indoor-Navigation mittels AR ermöglicht wird. Der GuideBOT kann dabei verschiedene Positionierungstechnologien nutzen. Dazu gehören, wie in Kapitel 2.2.1, genannte signalabhängige Technologien, wie WLAN-Triangulation, Bluetooth-Sender und UWB-Antennen, welche dann selbstverständlich auch weitere Infrastruktur für den Betrieb benötigen. Allerdings besteht ebenfalls die Möglichkeit des visuellen Trackings von QR-Codes oder eben das hier verwendete visuelle Tracking von key features eines zuvor aufgenommenen 3D-Modells. In Abbildung 26 sind die Hauptschritte einer Navigation mit dem *GuideBOT* dargestellt. Erst wird der gesuchte Punkt gewählt, dann folgt man dem *GuideBOT*, bis dieser auf das Ziel zeigt. Die Einrichtung der Demoversion für die Albertina, wurde von ViewAR durchgeführt. Ein 3D-Modell wurde mit einer Matterport Pro2-Kamera, eine 360° RGB-D Kamera mit 300°

vertikalem Sichtfeld, aufgenommen. Matterport bietet hierfür die Capture App, die während der Aufnahme die 3D-Registrierung der Bilder automatisiert durchführt. Der daraus entstehende digitale Zwilling wurde auf der Matter-cloud abgespeichert, auf der sowohl eine Grundriss-, Dollhouse- als auch eine 3D-Tour-Ansicht verfügbar war, um das Modell zu visualisieren. An dieser Stelle wurden bestimmte Punkte erstellt (Mattertags), die später in den *GuideBOT* als Navigationspunkte importiert wurden. Um die Relokalisierung des *GuideBOTs* anhand des 3D-Modells zu bewerkstelligen, wurde dieses von Matterport exportiert und ein Algorithmus zur Kantenerkennung angewendet, welcher die Key-Feature für die Lokalisierung im Modell stellte. Die ViewAR-App mit dem *GuideBOT*-Template wurde für die Usability-Evaluierung auf einem iPhone X zur Verfügung gestellt.

3.3 Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung

Als Maß für die Effizienz gilt die Bearbeitungszeit der Testaufgabe (Time on Task), welche während der Aufgabenerledigung mit einer Stoppuhr aufgenommen wurde. Während die Effektivität hauptsächlich durch die Erfolgs- beziehungsweise Misserfolgsrate gemessen wird (Task Success), wird sie auch anhand der Genauigkeit der Zielauffindung beziehungsweise die Häufigkeit von Irrtümern eingestuft (Error rate) (Sauro und Lewis, 2016). Hierzu wurde die Anzahl der Fehler mitgezählt. Bei der MAP-Gruppe bedeutete das, wenn der Teilnehmer am Ziel vorbeilief und dieses nicht bemerkte oder in die verkehrte Richtung ging beziehungsweise nicht die richtige Abzweigung wählte. Bei der APP-Gruppe kamen diese Fehler nicht vor, jedoch wurde mitgezählt, wenn der *GuideBOT* nicht mehr gefunden wurde oder Verwirrung beziehungsweise Desorientierung herrschte. Mit der Effektivität und Effizienz lassen sich auch Rückschlüsse auf die Zufriedenstellung schließen, um allerdings eine objektivere Sicht auf diese subjektive Eigenschaft von Usability zu bekommen, wird nach der Testaufgabe eine quantitative Benutzerbefragung mit Hilfe des Fragebogens nach dem *System Usability Scale* (SUS) angewendet. Der SUS-Fragebogen, wurde hauptsächlich gewählt, da es einer der meistgenutzten Fragebogen ist, um schnell und einfach ein globales Maß für wahrgenommene Usability zu messen. John Brooke entwarf den SUS schon im Jahr 1986, nannte ihn „*quick and dirty*“ und bezog sich damit auf die Einfachheit sowie Vielseitigkeit in der Anwendung dieses Fragebogens (Brooke, 1996). Des Weiteren weist der SUS eine hohe Validität und Reliabilität auf (Brooke, 1996; Bangor, Kortum und Miller, 2008; Lewis, 2018). Eine genauere Beschreibung und die Auswahl des SUS findet sich in Kapitel 3.3.1. Neben den Maßen der Usability werden weitere Methoden angewendet, um ein besseres Verständnis über die Gründe eventueller Unterschiede zu bekommen. Das Orientierungsvermögen der Nutzer kann einen Einfluss auf die Performanz haben und wird im Vorfeld anhand des Fragebogens *Santa Barbara Sense-of-Direction-Skala* (SBSOD) erfasst, der ebenfalls ein viel angewendeter Fragebogen ist, um eine zuverlässige Einschätzung des Orientierungsvermögens zu erhalten. Eine detaillierte

Beschreibung des SBSOD ist in Kapitel 3.3.2 zu finden. Während des Usability-Tests werden die Nutzer dazu aufgefordert, „laut zu denken“, um Einblicke in die Entscheidungen jedes Nutzers zu bekommen. Neben dem lauten Denken werden die Beobachtungen des Testleiters oder der Testleiterin als qualitative Daten festgehalten. Die Methoden für die qualitativen Daten werden in Kapitel 3.3.4 nochmals aufgegriffen und beschrieben. Letztendlich hat die wahrgenommene Arbeitslast ebenfalls einen Einfluss auf die Performanz und wird deshalb anhand des *NASA-Task Load Index* (NASA-TLX) Fragebogens ermittelt, dem dritten Standard-Fragebogen in dieser Arbeit, der über hohe Reliabilität sowie Validität verfügt und in vielen Publikationen seine Zuverlässigkeit bei der Messung von Arbeitslast bewiesen hat. Darüber hinaus geht dieser Fragebogen über die reine Messung der Arbeitslast hinaus und gibt durch die Multidimensionalität auch Aufschluss über die Herkunft von eventuellen Arbeitslast- oder Leistungsproblemen (Hart, 2006). In Kapitel 3.3.3 wird die Messung der Arbeitslast und der NASA-TLX nochmals detaillierter beschrieben.

3.3.1 Subjektive Usability

Wie Kapitel 2.4.1 beschrieben ist Usability kein einfacher Begriff, der eine universale beziehungsweise absolute Begebenheit beschreibt. Usability mit seinen vielen Facetten kann dabei immer nur für einen bestimmten Kontext betrachtet werden. Aus diesem Grund wurde für diese Arbeit der Nutzungskontext in Kapitel 3.2 eingeschränkt und zum Teil festgelegt. Dieselbe Anforderung gilt für den subjektiven Teil der Usability, die Zufriedenstellung. Zudem ist es schwer die Zufriedenstellung beispielsweise physiologisch zu messen. Um diese Größe dennoch metrisch zu quantifizieren, bietet sich an die Teilnehmer nach der Nutzung des Systems zu befragen und dabei eine Bewertungsskala zu nutzen, um die wahrgenommene Usability zu ermitteln. Es sollte ein Standardfragebogen angewendet werden, der bei verschiedenen Nutzungskontexten, einfach sowie schnell eingesetzt werden kann und trotzdem zwischen den verwendeten Systemen beziehungsweise auch global einen Vergleich zulässt.

Standardisierte Fragebögen zur Erfassung von wahrgenommener Usability gab es schon seit den späten 1980er Jahren (Kirakowski und Corbett, 1988; Brooke, 1996; Sauro und Lewis, 2016; Lewis, 2018). Bekannte Fragebögen sind beispielsweise:

- Website Analysis and Measurement Inventory „*WAMI*“ (Kirakowski und Cierlik, 1998)
- Software Usability Measurement Inventory „*SUMI*“ (Kirakowski und Corbett, 1993)
- Post-Study System Usability Questionnaire „*PSSUQ*“ (Lewis, 1992)

Die Fragebögen unterscheiden sich alle in Art und Umfang. Es gibt viele Möglichkeiten einen standardisierten Fragebogen zu formulieren, so lassen sich die Skalen unterschiedlich gestalten, der Umfang an Statements anpassen, positive

beziehungsweise negative Statements inkludieren, die Skalen verschieden nummerieren oder beschriften etc. Wichtig dabei ist es ein Format zu wählen sowie konstant durchzuführen, wobei die Qualität eines Fragebogens sich anhand von Reliabilität, Validität und Sensibilität messen lässt (Sauro und Lewis, 2016). Die Reliabilität steht dabei für die formale Genauigkeit also die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen bei gleichen Bedingungen. Validität und Sensibilität sind jeweils Maße für die Genauigkeit, ob wirklich das gemessen werden kann was gemessen werden soll und keine verwandten oder andere Konstrukte abgebildet werden.

Der *System Usability Scale* ist dabei ein Fragebogen, der frei verfügbar ist und auf diverse Systeme angewendet werden kann. Er enthält nicht viele Fragen, ist dadurch übersichtlich beziehungsweise nicht schwer anzuwenden und hat in vielfachen Studien Reliabilität, Validität sowie Sensibilität bewiesen (Bangor, Kortum und Miller, 2008; Longo und Dondio, 2016). Der SUS (Anhang C: Fragebogen – System Usability Scale) wurde 1986 von John Brooke bei *Digital Equipment Corporation* entwickelt (Brooke, 1996). Dieser Fragebogen ist der meist verwendete, um die Wahrnehmung der Benutzerfreundlichkeit eines Systems bei der Verwendung von Nutzern abzufragen. Der SUS besteht aus zehn Elementen, wobei die geradzahligen Elemente negativ und die ungeradzahligen positiv formuliert sind (Anhang C: Fragebogen – System Usability Scale). Die Elemente werden jeweils anhand von einer 5 Punkte Likert Skala bewertet, wobei Punkt 1 für „trifft überhaupt nicht zu“ und Punkt 5 für „trifft voll zu“ steht. Punkt 3 nimmt dabei eine neutrale Position ein und wird auch dann verwendet, wenn das Element nicht oder ungünstig bewertet wurde. Für die Auswertung zählt jedes Element einen Beitragswert zwischen 0 und 4. Dieser Wert wird errechnet indem, die Skalenposition aller positiv formulierten Elemente jeweils mit 1 subtrahiert und bei allen negativ formulierten Elementen 5 mit der Skalenposition subtrahiert wird. Die Gesamt-SUS-Punktzahl ergibt sich, wenn alle Beitragswerte addiert und mit 2,5 multipliziert wurden. Sie beträgt somit ein Wert zwischen 0 und 100 mit einem Inkrement von 2,5 Punkten, wobei 100 repräsentativ für eine hohe Benutzerfreundlichkeit ist und 0 für eine niedrige. Die in dieser Arbeit verwendete deutsche Version des SUS stammt aus einem crowdsourcing-Projekt von Wolfgang Reinhardt, welches von Eva Ruegenhagen und Bernard Rummel von dem *SAP Global Design Enablement team* zusammengefasst wurde und online frei zur Verfügung steht (Rummel und Ruegenhagen, 2015).

3.3.2 Orientierungssinn

Die Leistung bei dieser Navigationsaufgabe kann maßgeblich durch die individuellen Fähigkeiten der Teilnehmer beeinflusst werden. Dabei ist der Orientierungssinn eine der bedeutendsten Fähigkeiten, die hier einen Einfluss haben. In Kapitel 2.1.1 wurde die Grundlage dargelegt, was Orientierung bedeutet. Der Orientierungssinn ist die Fähigkeit, seine Orientierung im Raum zu erkennen und in Relation zu setzen beziehungsweise sich im Raum zurechtzufinden und zu

verorten. In der Vergangenheit stellte sich heraus, dass die Selbsteinschätzung des eigenen Orientierungssinns ein zuverlässiges Maß widerspiegelt. Dabei würde schon die direkte Frage ausreichen „Wie gut ist ihr Orientierungssinn?“ um diesen solide einzuschätzen und auch tatsächlich mit der Leistung bei Orientierungsaufgaben, wie beispielsweise Richtungsschätzungen, zu korrelieren (Kozlowski und Bryant, 1977). Bei Studien mit Aufgaben bei denen es um Orientierung im Raum sowie *Wayfinding* ging, lies sich ein positiver Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und den erzielten Leistungen feststellen (Cornell, Sorenson und Mio, 2003). Ishikawa und Montello (2006) berichteten beispielsweise, dass die Teilnehmer ihrer Studie zum Erwerb räumlichen Wissens, dieses schneller und genauer erlangten je besser sie ihren Orientierungssinn selbst einschätzten.

Um ein Maß für den Orientierungssinn der Probanden zu bekommen, beantworteten sie den Fragebogen *Santa Barbara Sense of direction* (SBSOD, Anhang B: Fragebogen – Santa Barbara Sense of Direction), welcher von Hegarty u. a. (2002) entwickelt und validiert wurde. Der SBSOD-Fragebogen hat sich als zuverlässiges Werkzeug erwiesen, um ein Maß für die Navigationsfähigkeit im Allgemeinen darzustellen. Hegarty u. a. (2002) zeigten, dass Personen, die bei diesem Test eine hohe Punktzahl hatten, gut darin waren, ihre Position im Raum zu verorten sowie zu verfolgen, während sie sich selbst bewegten. Somit bietet der SBSOD-Fragebogen ein gutes Werkzeug, um diese Einflussgröße bei einer *Wayfinding*-Aufgabe zu quantifizieren. Es ist ein Selbsteinschätzungsfragebogen, bei dem die Teilnehmer ihren Grad der Zustimmung von 15 Aussagen anhand einer 7 Punkte Likert Skala bewerten (1: „Trifft stark zu“, 7: „Trifft gar nicht zu“). Die 15 Aussagen sind angepasste Versionen von Aussagen aus vorherigen Selbstberichtsskalen und beziehen sich hier auf verschiedene Aspekte der Orientierung wie räumliche Repräsentationen und strategische Komponenten, wie das Befolgen sowie Geben von Wegbeschreibungen, Schätzen von Entfernungen, Verwendung von Himmelsrichtungen oder die Genauigkeit und Vollständigkeit der eigenen mentalen Karte. Dabei sind acht Aussagen negativ (z.B. „*Ich gebe nicht gerne Wegbeschreibungen.*“ „*Ich habe keine sehr gute "innere Karte" meiner Umgebung.*“) und die anderen sieben positiv formuliert (z.B. „*Ich bin sehr gut im Kartenlesen.*“ „*Ich kann Entfernungen gut einschätzen.*“). Aus den Bewertungen wird ein Durchschnittswert ermittelt, wobei die positiven Aussagen umgekehrt in diese Rechnungen einfließen. Somit ergibt sich ein SBSOD Score zwischen 0 und 7, wobei 7 für einen guten Orientierungssinn steht und 0 für einen schlechten. Der originale SBSOD-Fragebogen ist im amerikanischen Englisch verfasst, die hier verwendeten Übersetzungen stammen von S. Münzer und C. Hölscher (Montello und Xiao, 2011).

3.3.3 Arbeitslast

Die mentale Arbeitsbelastung einer Aufgabe stellt das Niveau der Aufmerksamkeitsressourcen dar, welche erforderlich sind, um sowohl objektive als auch subjektive Leistungskriterien zu erfüllen, die durch Aufgabenanforderungen, externe Unterstützung und frühere Erfahrungen vermittelt werden können.

Die subjektive Arbeitsbelastung kann über Selbstbewertungsmaßnahmen in Fragebögen schnell und ohne große Aufwände abgefragt werden. Dabei sind die Maßnahmen nicht aufdringlich, meist multi-dimensional und besitzen ein hohes Maß an Akzeptanz bei den Endnutzern (Longo und Dondio, 2016; Stevens u. a., 2018). Beispiele hierfür sind:

- der *NASA Task Load Index* (NASA-TLX) (Hart und Staveland, 1988; Hart, 2006)
- das *Workload Profile* (Tsang und Velazquez, 1996)
- die *Subjective Workload Assessment Technique* (Reid und Nygren, 1988)

In dieser Arbeit wurde das NASA-TLX als Werkzeug gewählt, da es eines der am meisten genutzten Methoden ist, um subjektive Arbeitslast zu quantifizieren (Grier, 2015). Dadurch lässt es nicht nur den Vergleich von den beiden benutzten Navigationsarten zu, sondern kann auch im Rahmen vieler anderer Anwendungen eingeordnet werden. Darüber hinaus misst der NASA-TLX sehr hohe sowie auch sehr niedrige mentale Arbeitslast zuverlässig und die Validität wurde anhand von mehreren Studien seit seiner nachgewiesen (Hart, 2006).

Der NASA-TLX wurde ursprünglich entworfen um Bediener von komplexen menschlichen und technischen Systemen, wie z.B. Flugzeugen Prozesskontrollräumen sowie Kommandeure von Befehls- und Kontrollsystemen eine subjektive Bewertung der Arbeitslast zu ermöglichen. Es ist ein mehrdimensionales Werkzeug, das eine Gesamtbewertung der Arbeitsbelastung basierend auf einem gewichteten Durchschnitt von sechs Teilbewertungen umfasst. Dabei kann der

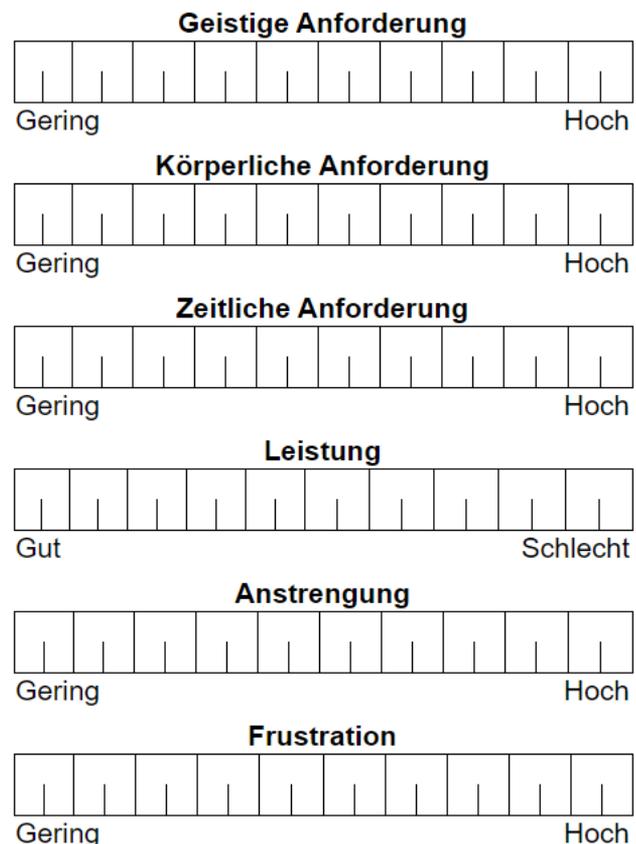


Abbildung 27: Kategorien des NASA-TLX in der Online Version von Keith Vertanen (o.J.)

Fragebogen, nach einer Aufgabe beziehungsweise auch nach einer Teilaufgabe beantwortet werden. Der NASA-TLX besteht dabei aus zwei Teilen. Im ersten Teil werden Bewertungen auf Skalen von 0 (niedrig)- bis 100 (hoch) in fünf-Punkte Schritten (Abbildung 27) zu folgenden sechs Dimensionen abgegeben:

Geistige Anforderung

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

Körperliche Anforderung

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

Zeitliche Anforderung

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

Leistung

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

Anstrengung

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

Frustration

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Der zweite Teil des NASA-TLX besteht daraus die Dimensionen subjektiv zu gewichten. Dabei werden diese paarweise verglichen und die für den Probanden jeweils wichtigere, bezüglich Arbeitslast, gewählt (Anhang D: Fragebogen – NASA Task-Load-Index). Für jede Dimension wird die Anzahl der Nennungen aufsummiert und mit dem dazugehörigen Wert aus dem ersten Teil multipliziert und anschließend durch 15 (die Gesamtanzahl von Paaren) geteilt. Daraus ergibt sich das Ergebnis der Bewertung der Arbeitslast mit einem Wert zwischen 0 und 100.

Der Originalfragebogen wird offiziell nur in der englischen Variante als Papier und Stift Variante und als iOS App angeboten (NASA, o.J.). Dieser wurde seit seiner

Einführung in diverse Sprachen inoffiziell übersetzt (Hart, 2006). Die hier verwendeten Übersetzungen vom Original sind von Christian Lehsing und Katharina Seifert (vgl. Vertanen, o.J.)

3.3.4 Qualitative Daten

Die in dieser Arbeit implementierten Methoden liefern überwiegend quantitative Daten über die Effizienz, Effektivität, Zufriedenstellung und Arbeitslast. Diese lassen sich gut nutzen, um die beiden Navigationsarten miteinander zu vergleichen sowie das Ausmaß dieser Kenngrößen zu bestimmen und statistische Unterschiede festzustellen. Diese Ergebnisse lassen aber nur sehr eingeschränkt einen Rückschluss auf die Hintergründe zu, warum ein gewisser Unterschied bei einer Kenngröße vorliegt (Budiu, 2017). Um hier einen Einblick zu bekommen, wurden die Teilnehmer im Briefing angewiesen während der Aufgabe „laut zu denken“, welches auch bekannt ist als die *Concurrent Think Aloud* (CTA)-Methode (Ericsson und Simon, 1993a; Häder, 2010). Ericsson und Simon (1993) haben CTA in den 1980er-Jahren populär gemacht, indem sie Richtlinien für die Anwendung dieser Methode festlegten. Sie definierten dabei drei Ebenen der Verbalisierung. Bei der ersten Stufe berichten die Benutzer direkt aus ihrem Kurzzeitgedächtnis was gesehen oder getan wird, wohingegen bei der zweiten Stufe ein Zwischenschritt angewandt wird, indem der Benutzer Bilder oder abstrakte Konzepte in Wörter umwandeln muss. Bei der dritten Stufe wird zusätzliche kognitive Verarbeitung genutzt, bevor es zur Verbalisierung kommt. Diese bezieht die Informationen nicht nur aus dem Kurzzeit- sondern auch aus dem Langzeitgedächtnis (Ericsson und Simon, 1993b). Diese drei Ebenen können erreicht werden, je nachdem was von dem Benutzer verlangt wird, beispielsweise durch die Interpretation aufwendiger Diagramme (Ebene 2) oder durch die Aufforderung etwas genauer zu erläutern (Ebene 3). Ebene 1 und 2 haben dabei keinen großen Einfluss auf die Performanz bei der Aufgabenerledigung, wohingegen Ebene 3 durch die zusätzliche kognitive Verarbeitung einen Unterschied ausmachen könnte (Cooke, 2010; Pike u. a., 2014). Damit bei dieser Methode ein Einfluss auf die Aufgabenperformanz sowie die Arbeitsbelastung ausgeschlossen werden konnte, wurde CTA so wenig wie möglich intrusiv durchgeführt. Also sollten die Teilnehmer ihre Handlung während der Aufgabe kommentieren, ohne dabei auf mögliche Beweggründe oder näher auf die Kommentare einzugehen. Des Weiteren hat der Testleiter nur vor und nicht während der Aufgabe die Teilnehmer dazu aufgefordert aktiv zu kommentieren oder hat auch nicht verlangt einen Gedanken zu elaborieren beziehungsweise auszuformulieren. Alle Kommentare sowie Beobachtungen von Auffälligkeiten und Vermerke von Fehlentscheidungen wurden vom Testleiter während des Tests notiert. Zum besseren Verständnis wurden einige Beobachtungen nach dem Test hinterfragt und die jeweilige Beobachtung um diese Information erweitert. Die qualitativen Aussagen und Protokolle wurden in zwei Schritten thematisch ausgewertet (Rosala, 2019). Zuerst wurden die einzelnen Beobachtungen sowie

Kommentare digitalisiert und folglich in Gruppen ähnlicher Bedeutung sortiert. Danach wurden diese Gruppen in Überkategorien zusammengefasst.

4 Ergebnis

In dieser empirischen Studie wurde untersucht ob zwischen der Indoor-Navigation mit einem AR-Applikation und der Navigation mit einem analogen System (Karte + Schilder) ein signifikanter Unterschied in der Usability der Systeme erkannt werden konnte. Anhand der beschriebenen Methoden wurden Kenngrößen für die Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung in einer Usability-Evaluierung erfasst. Um auf weitere Einflüsse und Gründe zu schließen wurden zusätzlich noch Größen für das Orientierungsvermögen und die empfundene Arbeitslast erfasst sowie Beobachtungen und Aussagen ausgewertet. Die Ergebnisse beziehungsweise die Messwerte der beschriebenen Methoden werden im folgenden Abschnitt beschrieben und visualisiert. Die Unterschiede in den Mittelwerten der beiden Gruppen wurden anhand von ungepaarten t-Test auf Signifikanz untersucht. Für alle Bewertungen wurde ein Signifikanzniveau von 0.05 angenommen. Die Verteilungen der Ergebnisse wurden nach dem Verfahren von Shapiro-Wilk auf Normalverteilung getestet, konnte aber für Teile der Ergebnisse nicht nachgewiesen werden ($p < .05$). Von der Anwendung von nicht parametrischen Testverfahren oder Datentransformationen wurde jedoch abgesehen, da nach Simulationsstudien sich der ungepaarte t-Test als robust gegenüber dieser Verletzung der Voraussetzungen herausstellt, vor allem wenn die Stichproben gleich groß sind (Wilcox, 2012; Döring und Bortz, 2016; Sauro und Lewis, 2016). Die Relation zwischen dem Stichprobenumfang und der Unempfindlichkeit gegenüber der Normalverteilung beruht auf dem zentralen Grenzwertsatz, nachdem sich die Verteilung von Mittelwerten ab einer Stichprobengröße von 30 mit zunehmendem Stichprobenumfang der Normalverteilung annähert (Heyde, 2014; Döring und Bortz, 2016). Als weitere Grundvoraussetzung für die Anwendung von t-Tests wurde mit Hilfe des Levene Test's auf Varianzhomogenität innerhalb der Gruppen getestet. Bei Vorliegen von Varianzhomogenität wurde ein ungepaarter Zweistichproben-t-Test mit gleichen Varianzen verwendet, wohingegen sonst der sogenannte Welch-Test, ein Zweistichproben-t-Test mit ungleichen Varianzen, angewendet wurde.

4.1 Teilnehmer / Benutzer

In Tabelle 3 ist eine übersichtliche Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus der Erhebungsphase vor der Navigationsaufgabe zu sehen.

Gruppe Anzahl	Geschlecht		Alter	AR		Albertina	
	m	w		bekannt	nicht bekannt	bekannt	nicht bekannt
TOTAL 60	27 45%	33 55%	(M) 28.4 (SD) 10.1	33 55%	26 43%	32 53%	28 47%
MAP 30	15 50%	15 50%	(M) 29.4 (SD) 11.3	13 47%	16 53%	18 60%	12 40%
APP 30	12 40%	18 60%	(M) 27.4 (SD) 8.6	20 67%	10 33%	14 47%	16 53%

Tabelle 3: Teilnehmerzusammensetzung: Geschlecht, Alter, AR Bekanntheit, Kenntnis der Albertina

Das Durchschnittsalter der Teilnehmergruppe beträgt 28.4 Jahre ($SD=10.1$ Jahre), wobei die älteste Person 65 Jahre und die jüngste 20 Jahre alt war. Das Durchschnittsalter der MAP-Gruppe lag 2 Jahre über dem der APP-Gruppe (Tabelle 3), jedoch konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden ($t(58) = -0.771, p = .444$).

Insgesamt nahmen 27 Männer und 33 Frauen an der Evaluierung teil, wobei die 60 Teilnehmer zu gleichen Teilen auf die APP- und auf die MAP-Gruppe aufgeteilt wurden. Während die Geschlechter bei der MAP-Gruppe gleichverteilt waren, haben bei der APP-Gruppe 6 Frauen mehr (20 Prozent) teilgenommen (Tabelle 3).

55 Prozent aller Teilnehmer war AR ein Begriff, wobei keiner AR bis zu dem Testzeitpunkt für die Navigation verwendet hat. Sie wussten entweder allgemein von den Visualisierungsmöglichkeiten mit Hilfe von AR oder kannten den Begriff aus Spiele-Applikationen oder aus Masken-Overlays bei der Videobearbeitung sowie Overlays in Chatprogrammen.

Innerhalb der APP-Gruppe war AR doppelt so vielen Teilnehmern ein Begriff (67 Prozent), als diejenigen, welche AR nicht kannten. Das Albertina Museum war 32 Teilnehmern bekannt (53 Prozent), wobei in der MAP-Gruppe 6 Personen mehr die Albertina kannten (20 Prozent) als nicht kannten und in der APP-Gruppe dieses Verhältnis eher gleich verteilt war (Tabelle 3).

4.2 SBSOD

Der SBSOD-Score liegt zwischen 0 und 7. 7 steht für einen guten Orientierungssinn und 0 für einen schlechten. Der Durchschnitt bei allen Teilnehmern ist bei 4,3 Punkten ($SD=1,1$ Punkte; 95% KI ; 4.1 – 4.6), wobei der niedrigste Wert bei der APP-Gruppe mit 1.67 Punkten und der höchste Wert mit 5.93 Punkten bei der MAP-Gruppe ermittelt wurde. Die Maximalwerte liegen bei den beiden Gruppen ähnlich weit oben, das Minimum bei der MAP-Gruppe liegt jedoch deutlich höher bei 3 Punkten. Zusätzlich ist auffällig, dass 50 Prozent der MAP-Teilnehmer über 4.93 Punkte liegen, wohingegen bei den APP-Teilnehmern der Median bei 3.9 Punkte liegt. Es sind keine Ausreißer vorhanden, da bei der APP-Gruppe ein 1.5-facher Interquartilsabstand über die Minimal- beziehungsweise Maximal-Werte der SBSOD-Skala hinausgehen und nur im Fall der MAP-Gruppe ein Minimumausreißer möglich wäre (siehe Abbildung 28). Die MAP-Gruppe ist im Durchschnitt mit 4.7 Punkte ($SD=0.89$ Punkte; 95% KI ; 4.3 – 5.0) höher als die APP-Gruppe mit 4.01 Punkte ($SD=1.17$ Punkte; 95% KI ; 3.6 – 4.4). Dieser Unterschied konnte als signifikant nachgewiesen werden ($t(58) = -2.428$, $p = .018$).

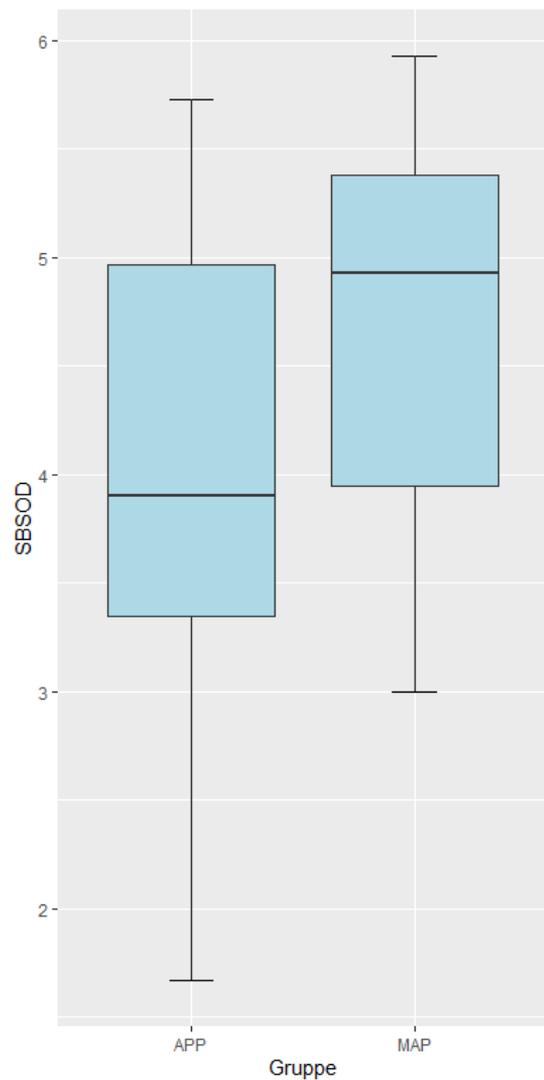


Abbildung 28: Boxplot der SBSOD Ergebnisse. Die Gruppen im Vergleich.

4.3 NASA-TLX

Wie bereits in Kapitel 3.3.3 wird die Arbeitslast nach dem NASA-TLX aus den folgenden sechs Dimensionen (Abbildung 30 rechts) berechnet:

- Körperliche Anforderung
- Geistige Anforderung
- Zeitliche Anforderung
- Anstrengung Leistung
- Frustration

Zusammen ergeben die soeben genannten Dimensionen die Gesamtbeanspruchung, welche anhand des NASA-TLX-Score beschrieben wird. Dieser Score wird mit Hilfe einer Punktzahl zwischen 0 und 100 ausgewertet. In einem Zwischenschritt wurden die Dimensionen nach dem subjektiven Empfinden der Nutzer gewichtet.

Wie in der Abbildung 29: Boxplot der gewichteten NASA-TLX Ergebnisse. Die Gruppen im Vergleich zu sehen ist, beträgt die maximale Gesamtbeanspruchung bei den MAP-Nutzern rund 65 Punkte, während der Wert der APP-Gruppe bei 27 liegt. In

beiden Gruppen ist jedoch auch eine minimale Gesamtbeanspruchung von 0 Punkten zu erkennen. Der Interquartilsabstand bei der MAP-Gruppe beträgt circa 28 Punkte und ist damit fast doppelt so groß wie jener der APP-Gruppe, welcher bei rund 15 Punkten liegt. Des Weiteren befindet sich die Gesamtbeanspruchung bei 50 Prozent der APP-Nutzer unterhalb von circa 12 Punkten, wohingegen mehr als 75 Prozent der Kartennutzer über diesem Niveau liegen. Durchschnittlich liegt der NASA-TLX-Score bei der MAP-Gruppe bei circa 29 Punkten ($SD = 19.13$; 95% KI ; 22.3 – 36.0) und bei der APP-Gruppe bei 12 Punkten ($SD = 8.39$; 95% KI ; 9.4 – 15.4). Diese Differenz konnte als signifikant nachgewiesen werden ($t(40) = -4.393$, $p < .001$).

In Abbildung 30 sind neben der Gesamtbeanspruchung, jeweils die bewerteten Dimensionen einzeln sowie ungewichtet abgebildet, wobei die durchschnittliche Gewichtung anhand der breite der Boxplots zu erkennen ist. Die subjektive Gewichtung und die direkte Einschätzung der einzelnen Dimensionen innerhalb der Gruppen ist sehr individuell und fällt somit sehr unterschiedlich aus, was anhand der nah aneinander liegenden Mittelwerte sowie folglich ähnlichen Breiten und

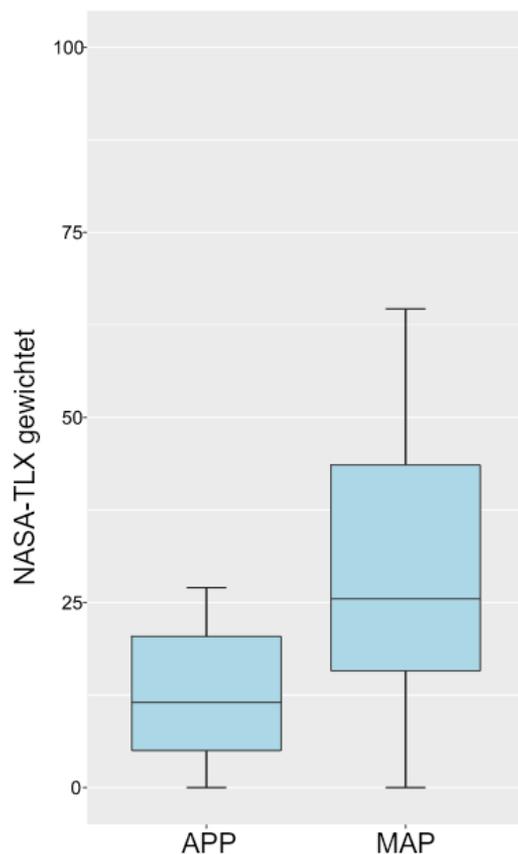


Abbildung 29: Boxplot der gewichteten NASA-TLX Ergebnisse. Die Gruppen im Vergleich

hohen Spannweiten zu erkennen ist. Für beide Gruppen war die eigene Leistung eine der wichtigsten Dimensionen bei dieser Befragung, wobei die Frustration eher niedriger gewichtet wurde unter allen Teilnehmern. Innerhalb der MAP-Gruppe ist die geistige Anforderung am höchsten gewichtet worden, wohingegen bei der APP-Gruppe die zeitliche Anforderung an zweiter Stelle kommt und danach körperliche sowie geistige Anforderung ähnlich hoch in der Gewichtung liegen. Die körperliche Anforderung ist für die Kartennutzer wiederum eher unwichtig empfunden. Die NASA-TLX-Bewertungen der einzelnen Dimensionen der APP-Nutzer sind überwiegend niedrig und meist unter 50 Punkten. Bei den MAP-Nutzern ist die gesamte Spannweite von 30 Punkten bis zu über 75 Punkten vergleichsweise hoch und die zeitliche sowie geistige Anforderung wurden höher eingestuft.

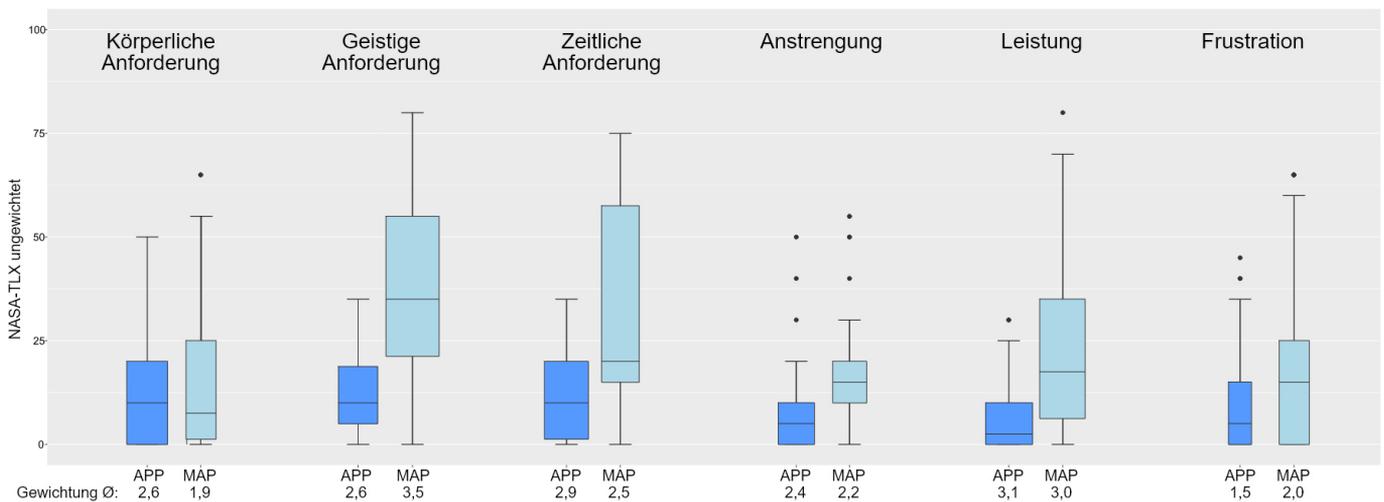


Abbildung 30: Boxplot der ungewichteten NASA-TLX Ergebnisse pro Dimension. Die Gruppen im Vergleich. Die Breite der Boxplots ist abhängig von der durchschnittlichen Gewichtung (maximal 5)

4.4 Usability

4.4.1 Effektivität

Sowohl mit dem analogen System als auch mit der AR-Applikation haben es alle Probanden geschafft, sämtliche Räume und Bilder zu finden. Es war nicht nötig, eine Test-Session abzubrechen oder aktiv einzugreifen, um die Navigationsaufgabe weiterzubringen. Bei der Navigation mit der analogen Karte kam es im Durchschnitt zu 2.3 Irrtümern ($SD = 1.4$; 95% KI; 1.8 – 2.8) beziehungsweise Fehlentscheidungen. Bei der APP-Gruppe kam es hingegen zu keinen Fehlentscheidungen beziehungsweise Fehlern. Die Anzahl der Situationen, in denen der Nutzer nicht mehr wusste, wo sich der *GuideBOT* befindet oder in denen die Testperson bezüglich der nächsten

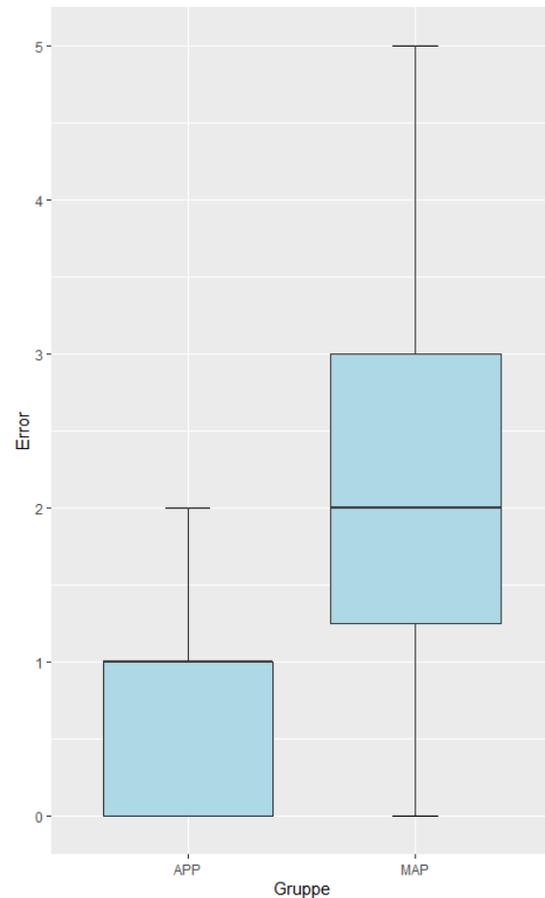


Abbildung 32: Boxplot der Irrtümer. Die Gruppen im Vergleich.

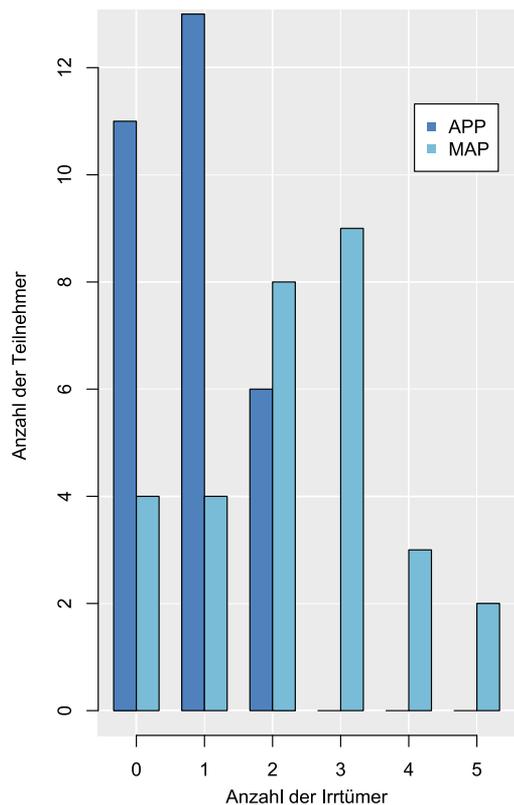


Abbildung 31: Anzahl der Irrtümer pro Gruppe

Aktion verwirrt war, wurde in diesem Fall als Irrtum mitgezählt. So ist der Durchschnitt der Irrtümer in der APP-Gruppe signifikant niedriger ($t(44.4) = -5.082$, $p < .001$) und liegt bei 0.8 Fehlern ($SD = 0.75$; 95% KI; 0.6 – 1.1). Das Maximum an Irrtümern liegt in der APP-Gruppe bei 2 Fehler, wohingegen jenes der MAP-Gruppe bei 5 Fehlern liegt. Die Spannweite aller APP-Irrtümer liegt unter 50 Prozent aller Werte der MAP-Gruppe (Abbildung 32). Auffällig ist auch, dass bei der Navigation mit dem *GuideBOT* elf Personen fehlerfrei waren, während es bei der Navigation mit der Karte nur vier Teilnehmer waren. Insgesamt gab es bei den Kartennutzern 69 Fehler, wohingegen bei den APP-Nutzern lediglich 25 Fehler festgestellt werden konnten (Abbildung 31).

4.4.2 Effizienz

Die Navigationszeiten der APP-Nutzer liegen zwischen 10.5 und 18 Minuten, während die MAP-Nutzer zwischen 11.8 und 25 Minuten gebraucht haben. Somit ist die Spannweite bei der APP-Gruppe weitaus geringer als jene bei der MAP-Gruppe (siehe Abbildung 33). Der Durchschnitt der erst genannten Gruppe liegt bei 14.36 Minuten ($SD = 1.75$; 95% KI; 14.98 – 13.73) wohingegen jener der zweit genannten Gruppe bei 16.75 Minuten ($SD = 3.92$; 95% KI; 15.35 – 18.15) liegt. Diesbezüglich konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($t(40.17) = -3.051$, $p = .004$). Zusätzlich gibt es in der MAP-Gruppe drei Ausreißer, wobei zwei Teilnehmer 25 Minuten und einer 24 Minuten gebraucht haben. Da sich bei diesen drei Durchläufen allerdings keine Auffälligkeiten beziehungsweise grobe Fehler feststellen ließen, wurden sie in der Gesamtauswertung weiter berücksichtigt. 50 Prozent aller Kartennutzer haben Navigationszeiten über 15.62 Minuten, während rund 75 Prozent der APP-Nutzer unter diesem Wert liegen (siehe Abbildung 33).

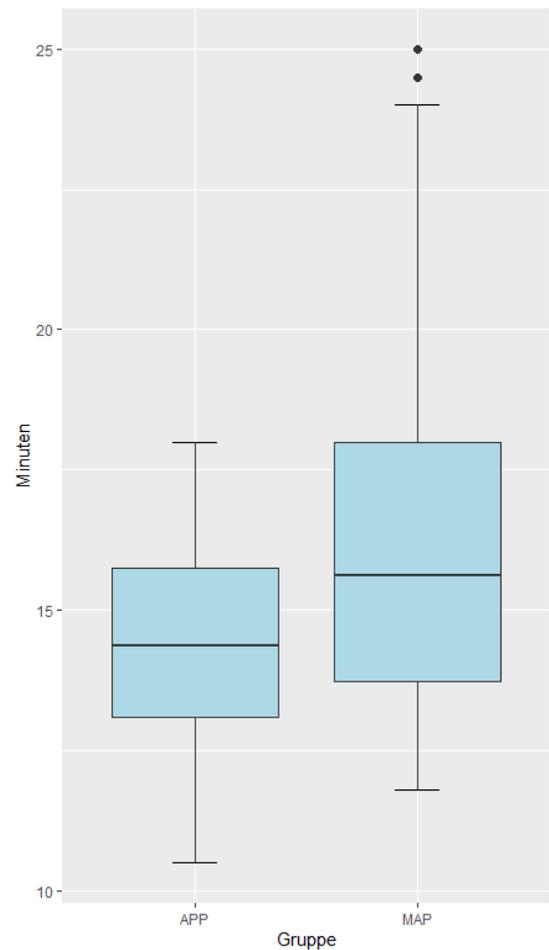


Abbildung 33: Boxplot der Navigationszeiten. Die Gruppen im Vergleich.

4.4.3 Zufriedenstellung

Anhand von Abbildung 34 ist erkenntlich, dass die Nutzer, welche die APP verwendet haben, die SUS zwischen 100 Punkten und 75 Punkten bewerteten. Bei der MAP-Gruppe ist die Spannweite weitaus größer. So liegt das Minimum bei circa 48 Punkten, während das Maximum ungefähr 93 Punkte beträgt. Fast 50 Prozent aller SUS-Ergebnisse der APP-Gruppe liegen über dem soeben beschriebenen Maximum, wohingegen 75 Prozent der SUS-Punktzahlen der MAP-Gruppe unterhalb von 88 Punkten liegen. Der Interquartilsabstand ist bei den Kartennutzern mit circa 17 Punkten fast doppelt so groß, wie jener der APP-Nutzer, welcher rund 9 Punkte beträgt (Abbildung 34). Zwischen allen Ergebnissen beider Gruppen liegt ein signifikanter Unterschied vor ($t(44.33) = 4.359, p < .001$). Die durchschnittliche SUS-Bewertung der Nutzer des *GuideBOT's* liegt bei 89 Punkten ($SD = 6.71$; 95% KI; 86.6 – 91.4). Bei den Personen, welche mit Hilfe des analogen Systems durch das Museum navigiert haben, befindet sich der Durchschnitt hingegen bei circa 78 Punkten ($SD = 12.6$; 95% KI; 73.2 – 82.2)

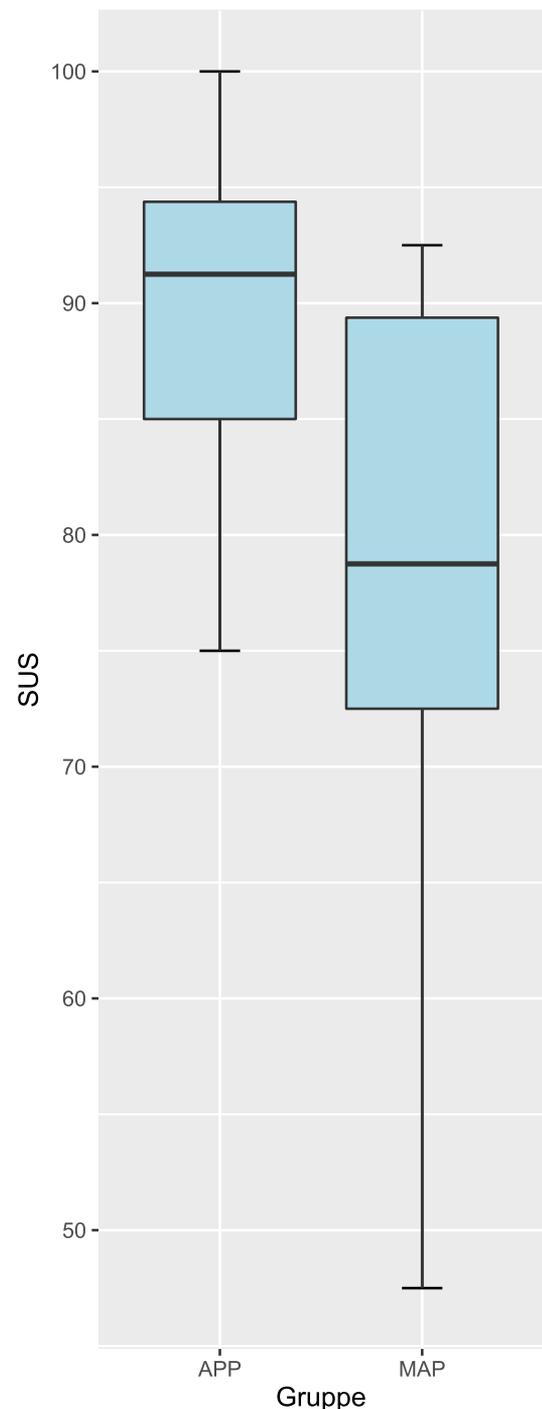


Abbildung 34: Boxplot der SUS Ergebnisse. Die Gruppen im Vergleich.

4.5 Auswertung der Beobachtungen und Aussagen

Die digitalisierten sowie gruppierten Aussagen und Beobachtungen wurden jeweils in drei Kategorien zusammengefasst:



Wahrnehmung der Umgebung



Navigationsstrategien



Wahrnehmung des Systems

4.5.1 Beobachtungen und Aussagen für das analoge System



Wahrnehmung der Umgebung

Hauptpunkte: Wahrnehmung der Albertina und der Hinweisschilder

Bei der Navigation zu den vorgegebenen Zielen haben manche Kartennutzer nur kaum bis gar nicht auf deren Umgebung geachtet, während wiederum andere diese aktiv wahrgenommen haben. 11 der insgesamt 30 Testpersonen haben sich während ihrer Navigationsaufgabe in der Albertina auch umgesehen, indem sie im Vorbeigehen beispielsweise auf andere Bilder, Bildunterschriften und Räume geachtet haben. Laut den Aussagen der Nutzer hat dies in weiterer Folge bei rund einem Zehntel dazu geführt, dass sie kurz abgelenkt waren und sich neu orientieren mussten. 8 Probanden haben ihre Umgebung hingegen nur kaum bis gar nicht wahrgenommen, da sie zumeist entweder auf die Karte beziehungsweise die Vorlage geachtet haben oder damit beschäftigt waren, den richtigen Weg in der Albertina zu finden.

Die Probanden wurden vor dem Test darauf aufmerksam gemacht, dass sie neben der Karte auch die zahlreichen Hinweisschilder, die sich im Museum befinden, verwenden dürfen. Dieser Ratschlag wurde sehr gut aufgenommen, da 16 Nutzer bei ihrer Navigation auch die Hinweistafel berücksichtigt haben. Laut Aussagen der Probanden wurden diese vor allem bei der Suche nach der richtigen Etage sowie beim Auffinden der Toilette genutzt. 5 der 30 Testpersonen haben die Hinweisschilder jedoch nicht als eine Hilfestellung, sondern verwirrend und verärgern empfinden. So hat sich ein Nutzer darüber beklagt, dass nirgendwo angeschrieben steht, wo sich die Treppen befinden. Ein weiterer kritisierte, dass jene Hinweisschilder, welche die Toilette markieren, zu wenig offensichtlich sind.



Navigationsstrategien

Hauptpunkte: Räume zählen, Landmarken, Karte rotieren, Mentale Karte, Geschwindigkeit, Betrachtung von Karte oder Hinweisschilder,

Um zum vorgegebenen Ziel zu gelangen, zählten insgesamt 7 Testpersonen die Räume auf der Karte ab. Dazu sind sie mit dem Zeigefinger entlang der Karte gefahren und haben dadurch festgestellt, bei wie vielen Räumen sie vorbeigehen müssen, bis sie entweder im richtigen Raum sind oder die nächste Abzweigung kommt. In der Regel mussten die Nutzer bei jeder Abzweigung kurz stehen bleiben und erneut zählen, wie viele Räume sie als nächstes zurücklegen müssen.

Bei der Suche nach den vorgegebenen Räumen beziehungsweise Bildern wurde den Testpersonen eine zusätzliche Unterstützung angeboten, indem sie das Schild mit der Zielanweisung bei sich behalten durften. 12 Nutzer nahmen dieses Angebot in Anspruch, wobei wiederum 11 davon das Schild erst zückten, als sie sich im beziehungsweise vor dem richtigen Raum befunden haben. Eine Testperson navigierte zu den vorgegebenen Zielen, indem sie mit Hilfe der Karte zunächst ins richtige Stockwerk gegangen ist und anschließend mit dem Schild in der Hand in jedem Raum Ausschau nach dem gleichen Bild gehalten hat.

6 Personen haben im Rahmen der Navigationsaufgaben aktiv Landmarken verwendet, um sich in der Albertina zu orientieren. Als Landmarke haben dabei sowohl bereits gefundene Bilder und Durchgänge als auch der Lift sowie die Terrasse im ersten Stock gedient. Aus der Sicht der Nutzer war die Orientierung in der 2. Etage wesentlich einfacher als jene im 1. Stockwerk, da dort die Durchgänge ersichtlicher waren.

Eine weitere Taktik, um zu den vorgegebenen Zielen zu kommen, stellte das Drehen der Karte dar. Diese Strategie hat sich ein Großteil, sprich 50 Prozent der Testpersonen, zu Nutzen gemacht. 2 dieser insgesamt 15 Benutzer haben dabei nicht nur die Karte, sondern auch sich selbst mitgedreht. Ein Proband hat zwar nicht die Karte gedreht, allerdings hat er angegeben, dass er das in Gedanken gemacht hat: *„Das Orientieren und Drehen mache ich alles im Kopf, weil ich ein gutes Orientierungsvermögen habe.“*

14 Benutzer haben sich die Karte vor dem Navigieren genau eingepägt und sind danach relativ frei, also ohne wieder auf die Karte zu schauen entweder zum gesuchten Raum oder zum gesuchten Bild navigiert. Sobald die Benutzer im richtigen Raum waren, wussten sie entweder sofort, wo das Bild ungefähr hängt, mussten nochmal kurz auf die Karte achten oder nahmen sich die Vorlage zur Hand, um das Bild zu finden. 4 der insgesamt 30 Benutzer haben während ihrer Navigation nach Abkürzungen gesucht, da sie laut eigenen Aussagen beim Rückweg nicht wieder den langen Weg gehen wollten. Lediglich eine Person hat angegeben, dass sie bei der Navigation zu einem Bild den langen Weg gewählt hat, *„da es hier so schön ist.“*

Während viele Testpersonen immer nur anfangs auf die Karte geschaut und anschließend zum Ziel navigiert haben, konsultierten insgesamt 8 Benutzer regelmäßig diese. Dabei war beobachtbar, dass davon insgesamt 5 Testpersonen die Karte im Gehen studiert haben, während die restlichen 3 immer wieder stehen geblieben sind, um sich auf die Karte zu konzentrieren.

Die Gehgeschwindigkeit der Probanden war bei der Navigation mit der Karte sehr variabel. Während 9 Personen ein auffällig schnelles Tempo hatten, gingen die anderen mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit.



Wahrnehmung des analogen Systems

Hauptpunkte: Gestaltung, Meinungen, Übersichtlichkeit, Verständlichkeit, Fehlentscheidungen

Die Meinungen bezüglich der Gestaltung der Karte, welche die Testpersonen zur Verfügung gestellt bekommen haben, sind äußerst unterschiedlich ausgefallen.

6 Nutzer standen diesem Navigationssystem äußerst kritisch und somit eher negativ gegenüber. Unter anderem wurde kritisiert, dass die Karte einerseits zu klein und andererseits kompliziert sowie irreführend ist. So hatte eine Testperson beispielweise generell Schwierigkeiten dabei, sich in der Albertina mit Hilfe des Navigationssystems zu lokalisieren, während wiederum 2 andere beklagten, dass das Stiegenhaus nicht detailgetreu eingezeichnet ist. Ein weiterer Nutzer gab an, dass es auf der Karte – abgesehen von der Toilette und dem Stiegenhaus – keine weiteren Anhaltspunkte gibt.

Ein Zehntel der Probanden bemerkte erst im Laufe der Navigation, dass die gesuchten Bilder auf der Karte abgebildet sind: „*Das ist ja sogar eingezeichnet!*“ und stellte daraufhin direkt im Anschluss fest: „*Langsam verstehe ich die Karte!*“

4 Testpersonen haben die visuelle Gestaltung der Karte sehr positiv wahrgenommen, da sie diese als übersichtlich sowie generell verständlich beschrieben haben.

4.5.2 Beobachtungen und Aussagen für die AR-Applikation GuideBOT



Wahrnehmung der Umgebung

Hauptpunkte: Fokus Handy, GuideBOT, Vergessen des Ziels

22 der insgesamt 30 Testpersonen, die für die Lösung der Navigationsaufgaben die App zur Verfügung gestellt bekommen haben, achteten nicht aktiv auf deren Umgebung, da sie hauptsächlich auf das Handy fokussiert waren. So wussten manche Probanden während ihrer Navigation nicht, in welchem Stockwerk sie sind beziehungsweise, wo sie sich ungefähr in der Albertina befinden. Beispielsweise hat ein Benutzer am Ende der Navigation nicht erkannt, dass er bei der Sphinx

gestartet hat und dort somit schon einmal war. Diesbezüglich haben die Nutzer unter anderem geäußert, dass die App „*ablenkend*“ ist, „*man unselbstständiger wird*“ und „*man sich komplett auf das Ding verlässt und nur auf das Handy achtet.*“ Des Weiteren ist aufgefallen, dass 8 Personen sich teilweise nicht mehr sicher waren was ihr momentanes Ziel ist, da sie entweder so abgelenkt vom *GuideBOT* waren oder bei der Zieleingabe nicht darauf geachtet haben. Manche mussten dann nachfragen was das momentane Ziel sei oder haben es nicht bemerkt, wenn das Ziel schon erreicht war.

Auf ihre Umgebung haben insgesamt 6 Testpersonen geachtet. Diese haben das Handy entweder immer wieder kurz nach unten gehalten oder den Blick nicht auf den *GuideBOT*, sondern auf die Bilder, die Bildunterschriften oder die Räume gerichtet.



Navigationsstrategien

Hauptpunkte: Gewöhnungsphase, Geschwindigkeit, Beachtung der Schilder mit den Zielangaben

Die Schilder, auf denen die gesuchten Räume beziehungsweise die gesuchten Bilder abgebildet waren, wurden im Allgemeinen nur kurz beachtet. Aufgefallen sind dabei 7 Benutzer, welche, anstatt die Schilder anzuschauen, nur auf die verbale Anweisung des Testleiters gehört und das vorgegebene Ziel direkt am Handy eingegeben haben.

Laut den Aussagen der Benutzer haben sich 8 Testpersonen nach einer kurzen Eingewöhnungsphase besser mit der App zurechtgefunden. So hat eine Testperson beispielsweise angegeben: „*wenn man es dann heraus hat, geht es und man ist nicht mehr so fixiert.*“

Das obere Limit der Navigationsgeschwindigkeit ist die maximale Geschwindigkeit des *GuideBOT*'s. Im Normalfall sind die Testpersonen langsamer gefolgt, so dass der *GuideBOT* oftmals stehen geblieben ist, um auf den Nutzer zu warten. Bei 4 Benutzern ist allerdings aufgefallen, dass sie vergleichsweise schnell gegangen sind und der *GuideBOT* somit sehr selten warten musste.



Wahrnehmung der AR-Applikation GuideBOT

Hauptpunkte: Optik, Handhabung, Privatsphäre, GuideBOT verloren, Verbesserungsvorschläge

7 der insgesamt 30 Benutzer haben den *GuideBOT* als niedlich beziehungsweise süß beschrieben und sich somit positiv über dessen Optik geäußert. Des Weiteren haben 5 Probanden angegeben, dass sie mit der Geschwindigkeit des *GuideBOT*'s sehr zufrieden waren, während 3 Benutzer vor allem dessen sichere und einfache Bedienung hervorgehoben haben. Im Rahmen der Beobachtung konnte bei der Hälfte aller Probanden, welche das Handy zur Verfügung gestellt bekommen haben, festgestellt werden, dass der *GuideBOT* Schlangenlinien geflogen ist.

Während einige Benutzer diesen Schlangenlinien kommentarlos nachgegangen sind, haben wiederum andere diese als komisch empfunden.

Ein Sechstel der Benutzer hat unter anderem angegeben, dass das Hochhalten des Handys auf Dauer anstrengend sowie als störend empfunden wird. Die Verwendung der App war für insgesamt 6 Testpersonen irreführend, unangenehm oder komisch, da sie das Gefühl hatten, andere Museumsbesucher zu filmen. Ein Proband merkte beispielsweise Folgendes an: „*Ich glaube die Leute stört es schon, dass man das Handy auf sie richtet.*“

Bei der Navigation haben 13 Benutzer den *GuideBOT* kurzzeitig aus den Augen verloren, da dieser beispielsweise Wege abgekürzt hat oder durch Wände sowie geschlossene Türen hindurchgeflogen ist. Ein großes Hindernis stellte diesbezüglich das Treppenhaus dar, da ein Drittel (9 Probanden) der Testpersonen den *GuideBOT* dort nicht sofort gefunden hat. Die betroffenen Benutzer mussten daher entweder die App aktualisieren oder das Handy solange schwenken, bis sie den *GuideBOT* wiedergefunden haben. Weitere 3 Probanden hatten Schwierigkeiten dabei, den *GuideBOT* direkt nach der Zieleingabe zu finden und mussten daher ebenfalls entweder mit dem Handy umherdrehen oder die App aktualisieren.

In Bezug auf Verbesserungsvorschläge haben 9 der 30 Teilnehmer angegeben, dass sie sich Pfeile wünschen würden, die während der Navigation anzeigen, wo sich der *GuideBOT* befindet beziehungsweise in welche Richtung sich dieser gerade bewegt. So wäre der Weg auch nachvollziehbar, wenn der *GuideBOT* kurz nicht sichtbar ist.

6 Probanden waren der Überzeugung, dass eine Übersichtskarte oder die Angabe der Entfernung bis zum Ziel hilfreich gewesen wäre. Laut Angaben der Testpersonen würde man so besser darüber Bescheid wissen, wo man sich gerade befindet und einen Überblick darüber haben, wie weit die einzelnen Ziele noch entfernt sind.

4.6 Gegenseitige Einflüsse

In der vorliegenden Arbeit sollten die Kenngrößen für Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung gemessen werden. Kapitel 3.2.1 beschreibt die Rekrutierung der Teilnehmer und es wurde dort erwähnt, dass auf eine gleichmäßige Verteilung von Alter und Geschlecht geachtet wurde, da diese Faktoren nicht Gegenstand dieser Arbeit sind. Im Eingangsfragebogen wurde auch die Kenntnis des Museums und von AR abgefragt. Um eventuelle Auswirkungen auf die Ergebnisse zu erkennen oder auszuschließen wurde der Einfluss im Folgenden überprüft. In Tabelle 4 ist zu

N=30	AR bekannt		Albertina bekannt		Geschlecht	
	(M) Ja / Nein	t-Test	(M) Ja / Nein	t-Test	(M) m / w	t-Test
Error	MAP	2.3 / 2.3 $t(27) = -0.053$ $p = .958$	2.5 / 2.0 $t(23) = 0.957$ $p = .348$	2.6 / 2.0 $t(28) = 1.188$ $p = .245$		
	APP	0.8 / 0.9 $t(15) = -0.315$ $p = .757$	0.8 / 0.9 $t(26) = -0.319$ $p = .752$	1.0 / 0.7 $t(24) = 1.001$ $p = .327$		
Zeit	MAP	14.7 / 18.6 $t(24) = -3.218$ $p = .004$	16.4 / 17.3 $t(18) = -0.594$ $p = .560$	16.7 / 16.8 $t(28) = -0.051$ $p = .960$		
	APP	14.5 / 14.0 $t(11) = 0.550$ $p = .593$	16.4 / 17.3 $t(18) = -0.594$ $p = .560$	14.5 / 14.3 $t(25) = 0.427$ $p = .673$		
SUS	MAP	79.1 / 76.4 $t(28) = 0.583$ $p = .565$	77.4 / 78.1 $t(26) = -0.166$ $p = .869$	75.3 / 80.0 $t(26) = -1.018$ $p = .318$		
	APP	87.8 / 91.5 $t(16) = -1.414$ $p = .176$	89.5 / 88.6 $t(28) = 0.351$ $p = .728$	89.2 / 88.9 $t(26) = 0.112$ $p = .912$		

Tabelle 4: Mittelwerte der beiden Gruppen für die Fehler, Navigationszeiten und SUS. Jeweils für die Bekanntheit von AR und der Albertina sowie für das Geschlecht. Für die jeweiligen Kombinationen sind die Ergebnisse eines Zweistichproben-t-Test angegeben.

erkennen, dass die Kenntnis von AR sowie des Museums keinen signifikanten Einfluss auf die Mittelwerte innerhalb der Gruppen bezüglich der Fehler, der Navigationszeiten oder der Zufriedenstellung nach dem SUS hatten. Als einzige Ausnahme ließ sich ein signifikanter Unterschied bei den Navigationszeiten in Abhängigkeit zur AR Kenntnis der Kartennutzer erkennen (Tabelle 4). So ist die Navigationszeit bei der MAP-Gruppe höher gewesen, wenn AR nicht bekannt war. Dieser Zusammenhang scheint jedoch nicht direkt miteinander in Verbindung zu stehen und ist entweder zufällig oder durch eine andere Einflussgröße entstanden. Wie in Kapitel 4.1 beschrieben sind die Geschlechter über die Gruppen relativ gleichverteilt, was auch an den nicht signifikanten Unterschieden bei den Gruppenergebnissen in Tabelle 4 erkenntlich ist.

Einflüsse auf die Usability Ergebnisse von dem Orientierungsvermögen, der Arbeitslast sowie vom Alter sind in Tabelle 5 anhand der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson ersichtlich. Demnach gibt es eine signifikante negative Korrelation zwischen dem Orientierungsvermögen innerhalb der MAP-Gruppe und den Navigationszeiten. Ebenfalls signifikant negativ korreliert sind die Arbeitslast und die Zufriedenstellung in beiden Gruppen. Eine positive signifikante Korrelation konnte zwischen der Arbeitslast und den Fehlern sowie dem Alter und den Navigationszeiten innerhalb der MAP-Gruppe erkannt werden. In der APP-Gruppe

N=30	Gruppe	Error	Zeit	SUS
SBSOD	MAP	.058	-.395*	.312
	APP	-.014	.197	.033
NASA_TLX	MAP	.365*	.304	-.513**
	APP	-.183	.084	-.377*
ALTER	MAP	-.109	.393*	.020
	APP	-.053	.333	-.249

Signifikanzniveau (2-seitig): * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten (r) von Orientierungsvermögen, Arbeitslast sowie Alter korreliert mit Fehler, Navigationszeiten sowie Zufriedenstellung nach dem SUS

sind diese Beziehungen nicht signifikant korreliert (Tabelle 5). Die SBSOD-Werte konnten bis auf mit den Navigationszeiten bei den Kartennutzern mit keiner Usability-Größe signifikant korreliert werden. Das gleiche trifft auf die Altersverteilung zu (Tabelle 5).

5 Diskussion

Im vorherigen Kapitel wurden die Ergebnisse der Usability-Evaluierung (Navigationszeiten, Irrtümer, Zufriedenstellung), die zusätzlichen Fragebögen (Grunddaten, SBSOD, NASA-TLX) sowie die qualitativen Beobachtungen ausführlich ausgewertet, dargestellt und beschrieben. Im Anschluss folgt nun die Diskussion der Ergebnisse, indem diese sowohl miteinander als auch mit dem theoretischen Wissen der hier vorliegenden Arbeit in Beziehung gesetzt werden.

In einem Eingangsfragebogen (Anhang A: Stammdaten) wurden unter anderem sowohl die Fähigkeiten im Umgang mit AR-Applikationen als auch das Wissen bezüglich der Räumlichkeiten in der Albertina abgefragt, da diese Kenntnisse die Resultate beeinflussen können. Kapitel 4.6 zeigt, dass weder das Vorwissen in Bezug auf die Albertina noch jenes auf die Verwendung von AR ebenso wie das Geschlecht der Testpersonen einen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisse der Usability-Kennzahlen haben. Die Untersuchung der soeben genannten Zusammenhänge war nicht das primäre Ziel der hier vorliegenden Arbeit, weshalb diese im Testdesign nur minimal berücksichtigt wurden. Beim Testvorgang wurde explizit darauf geachtet, dass die beiden Gruppen aus ähnlich vielen Männern wie Frauen zusammengesetzt werden. Zusätzlich wurden die Ziele so speziell gewählt, dass selbst eine gute räumliche Vertrautheit mit dem Museum nur bei Kenntnis der gesuchten Kunstwerke ein Vorteil gewesen wäre.

Um keine Unterschiede durch verschiedene Altersverteilungen auf die Usability-Größen zu erhalten, wurde Wert darauf gelegt, dass sich sowohl in der MAP- als auch in der APP-Gruppe Personen mit zunehmenden Alter befinden. Dementsprechend unterscheidet sich der Altersdurchschnitt in beiden Gruppen lediglich um ein Jahr. Generell zeigt die Korrelation nach Pearson (Tabelle 5), dass mit zunehmendem Alter auch die Navigationszeiten steigen, wobei diese Relation innerhalb der Karten-Gruppe als signifikant einzuordnen ist und in der APP-Gruppe nicht. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass ältere Personen nach einer Eingewöhnungsphase mit dem AR-System zwar langsamer im Vergleich zu jüngeren Personen, aber im Vergleich zum analogen System trotzdem noch schneller an ihr Ziel gelangen. Die Tendenzen sind in beiden Gruppen jedoch ähnlich, weshalb sie für den weiteren Vergleich der zwei hier behandelten Systeme nicht weiter beachtet werden müssen.

Die Arbeitsbelastung bewertet nach dem NASA-TLX ist in beiden Testgruppen als niedrig einzuschätzen. Nach einer Benchmark Auswertung von 237 Studien mit 1173 NASA-TLX-Ergebnissen von Grier (2015) liegen 80% der NASA-TLX-Werte aus dieser Auswertung zwischen 26.08 und 68.00 Punkten. Die NASA-TLX-Ergebnisse aus beiden Gruppen liegen mit dem 95% Konfidenzintervall unter 90 bis 80% aller NASA-TLX-Werte aus der Benchmark Auswertung. Werden bei dem Benchmark nur die Studien mit Navigationsaufgaben berücksichtigt, ist die AR-Navigation immer noch unter der minimalen NASA-TLX-Punktzahl von 19.72

Punkten. Das analoge System befindet sich noch unterhalb von 37.70 Punkten, welches die 50%-Marke aller Navigationsaufgaben des Benchmarks nach Grier (2015) darstellt. Demnach ist das analoge System von der Arbeitsbelastung höher einzuschätzen als das AR-System. Bis auf die Dimension der körperlichen Anforderung, die in beiden Test-Designs ähnlich ist, bewertet die Karten-Gruppe alle anderen Dimensionen höher als die APP-Gruppe.

Im Gegensatz zu den APP-Nutzern ließ sich bei der MAP-Gruppe feststellen, dass sich das Orientierungsvermögen der Testpersonen auf die Usability-Kennzahlen ausgewirkt hat. Je besser die persönliche Einschätzung des Orientierungsvermögens nach dem SBSOD ausgefallen ist, desto geringer waren die Navigationszeiten und umso höher wurde auch die Usability nach dem SUS bewertet (Tabelle 5). Diese Relation ist naheliegend, da die in Kapitel 2.1 beschriebenen Aufgaben des Wayfinding's vom *GuideBOT* übernommen wurden. Die Kartennutzer hingegen mussten deren Position erst erkennen und folglich den besten beziehungsweise richtigen Weg suchen, sowie die Kartenansicht auf deren egozentrische Sichtweise übertragen. Wenn eine Person geringere räumliche Fähigkeiten besitzt, dauert dieser Prozess länger. Die Begebenheit, dass AR in diesen Belangen Abhilfe schaffen kann, indem Aufgaben übernommen werden, wurde beispielsweise auch von Huang, Schmidt und Gartner (2012) sowie Li und Fessenden (2016) beschrieben. Des Weiteren erklären sie, dass deren Ansicht nach die Interaktionskosten und der Aufmerksamkeitswechsel durch die Nutzung von AR reduziert werden. Den Beobachtungen und Aussagen zufolge, waren die Nutzer von der AR-Applikation eher abgelenkt und haben sich sehr auf das System anstatt auf die Umgebung konzentriert. Dies ist bei der MAP-Gruppe nicht ganz so stark aufgefallen, jedoch zeigen die Ergebnisse des NASA-TLX, dass die Arbeitslast bei diesen Teilnehmern signifikant höher ist als bei der APP-Gruppe. Dies kann wiederum ein Indiz dafür sein, dass die Interaktionskosten mit dem AR-System geringer sind. Des Weiteren ist die höhere Arbeitslast auch in den Beobachtungen der angewandten Navigationsstrategien zu erkennen. Während bei den APP-Nutzern eine kurze Eingewöhnungsphase reichte, um danach die Navigation so gut wie problemlos durchzuführen, mussten die Kartennutzer diverse Strategien repetitiv anwenden (wie zum Beispiel Räume zählen, Karte drehen u.a.) und immer wieder nachdenken.

Die aufgenommenen Usability Metriken für Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung korrelieren untereinander signifikant. So stellte sich anhand einer Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson heraus, dass je mehr Fehler die Kartennutzer machten, umso schlechter wurde der SUS-Fragebogen bewertet. Ein

N=30	Gruppe	Zeit	SUS
Error	MAP	.469**	-.430*
	APP	.436*	.224
Zeit	MAP		-.160
	APP		-.064

Signifikanzniveau (2-seitig): ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Tabelle 6: Korrelationskoeffizienten (r) der Usability-Metriken für Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung

ähnlicher Effekt lässt sich normalerweise bei der Rate der Aufgabenerledigung erkennen, wobei jene Teilnehmer die Aufgaben erfolgreich absolvieren höhere Bewertungen der Zufriedenstellung abgeben (Kortum und Peres, 2014). Ebenfalls sind die Navigationszeiten niedriger, wenn weniger Fehler gemacht werden (Tabelle 6). Zwischen Navigationszeiten und SUS lässt sich in beiden Gruppen eine sehr schwache negative Tendenz erkennen, wobei es hier keinen signifikanten Unterschied in den Ergebnissen gibt. Eine signifikante Korrelation zwischen Fehler und SUS in der APP-Gruppe, ließ sich nicht feststellen (Tabelle 6). Die beschriebenen Zusammenhänge zeigen, dass das Gesamtkonstrukt der Usability wie in Kapitel 2.4.1 dargestellt, sich zumindest teilweise durch diese Metriken bestimmen lässt. Sauro und Lewis (2009) kamen bei der Untersuchung von 90 Usability Studien auf genauere Ergebnisse, die sich wie soeben beschrieben, auch in der vorliegenden Arbeit abzeichnen. Diese drei Usability-Metriken werden in den folgenden Abschnitten nochmals detaillierter hervorgehoben und in Relation gesetzt.

5.1 Effektivität



Effektivität

„Genauigkeit und Vollständigkeit, mit denen Benutzer bestimmte Ziele erreichen.“ (ISO 9241-11, 2018, S. 18)

Sowohl die Navigation mit Hilfe von AR als auch jene mit dem analogen System kann für die gewählte Aufgabenstellung als effektiv eingeschätzt werden, da die Teilnehmer mit beiden Methoden erfolgreich zu den gewünschten Zielen navigieren konnten (Task Success). Diesbezüglich ließ sich feststellen, dass in der MAP-Gruppe mehr Irrtümer aufgetreten sind, sprich das Ziel übersehen beziehungsweise an Entscheidungspunkten die falsche Richtung eingeschlagen wurde (Error rate). Solche Fehlentscheidungen konnten bei der AR-Navigation nicht beobachtet werden, da die APP-Teilnehmer dem *GuideBOT* lediglich folgen, keine Entscheidungen treffen sowie die Zielführung nicht selbst planen mussten und am Ziel zusätzlich einen auditiven sowie visuellen Hinweis erhalten haben.

Diese Begründung lässt sich sowohl anhand der signifikant höher empfundenen Arbeitslast nach dem NASA-TLX (Abbildung 29) als auch an der signifikanten Korrelation von den NASA-TLX Ergebnissen mit der Fehleranzahl erkennen. Wenn die empfundene Arbeitslast höher eingestuft wurde, stieg auch die durchschnittliche Anzahl der Fehler. Speziell die geistige Anforderung wurde von jenen Testpersonen, welche die Karte verwendet haben, stärker gewichtet und höher eingestuft als die APP-Nutzer dies taten (Abbildung 30). Selbst wenn innerhalb der APP-Gruppe jene Situationen zu den Fehlern gezählt werden, in denen die Teilnehmer durch einen visuellen Verlust oder unerwartete Bewegungen des *GuideBOT's* verwirrt waren, ist die durchschnittliche Anzahl der Irrtümer immer

noch signifikant niedriger als jene bei den Kartennutzern. Des Weiteren waren bei der APP-Gruppe auffällig viele Teilnehmer fehlerfrei, wohingegen bei der MAP-Gruppe ein Großteil der Testpersonen mindestens einen Fehler gemacht hat. Die höhere Anzahl an Fehlern innerhalb der Kartengruppe, spiegelt sich auch bei der höheren NASA-TLX-Bewertung der Frustrations-Dimension wider. Aus diesen Gründen kann die Effektivität des AR-Systems besser eingeschätzt werden als jene der analogen Methode.

5.2 Effizienz



Effizienz

„Effizienz bezeichnet die im Verhältnis zu den erreichten Ergebnissen eingesetzten Ressourcen.“ (ISO 9241-11, 2018, S. 19)

Die Effizienz in dieser Usability-Evaluierung wurde anhand der Zeit gemessen, welche für die Bewältigung der Navigationsaufgaben benötigt wurde (Time on Task). Bei der Betrachtung der Navigationszeiten ist bei der MAP-Gruppe eine höhere Spannweite beziehungsweise ein höherer Interquartilsabstand und eine doppelt so hohe Standardabweichung im Vergleich zur APP-Gruppe zu erkennen. Dieser Zusammenhang lässt sich zum Teil durch die durchschnittlich höhere Anzahl an Fehlentscheidungen, die in Bezug auf die Effektivität erfasst wurde, erklären. Eine klare, positive Korrelation zwischen Fehlern und Navigationszeiten ist ebenfalls in Tabelle 6 zu erkennen, welches wie von Sauro und Lewis (2009) beschrieben für das in Kapitel 2.4.1 dargestellte Gesamtkonstrukt der Usability typisch ist. Je mehr Irrtümer vorkommen, desto länger dauert die gesamte Navigationsaufgabe. Die Korrelation zwischen der Arbeitslast nach dem NASA-TLX und den Navigationszeiten zeigte bei den Kartennutzern auch einen leichten positiven Korrelationskoeffizienten, der allerdings nicht als signifikant festgestellt werden konnte (Tabelle 5). Dies lässt darauf schließen, dass unter anderem auch die signifikant höhere Arbeitslast der MAP-Gruppe für die längeren Navigationszeiten verantwortlich ist.

Wie bereits zuvor für die Effektivität beschrieben, wird auch bei den Kartennutzern die Zeit, welche für die gesamte Navigationsaufgabe benötigt wird, von dem individuellen Orientierungsvermögen der Probanden signifikant beeinflusst. Folglich benötigen jene Personen, die nach eigener Angabe eine gute Orientierung haben, weniger Zeit, um die Aufgaben zu lösen und vice versa. Dies kann wiederum auf die höhere geistige Anforderung bei der Navigation mit der Karte zurückgeführt werden.

Insgesamt lässt sich anhand der durchschnittlich niedrigeren Navigationszeiten bei der APP-Gruppe sagen, dass die Navigation mit der AR-Applikation im Vergleich zu dem bei der Untersuchung verwendeten analogen System deutlich effizienter ist.

5.3 Zufriedenstellung



Zufriedenstellung

„Zufriedenstellung ist das Ausmaß, in dem die physischen, kognitiven und emotionalen Reaktionen des Benutzers, die aus der Benutzung eines Systems, eines Produkts oder einer Dienstleistung resultieren, in Übereinstimmung mit den Benutzererfordernissen und Benutzererwartungen.“ (ISO 9241-11, 2018, S. 20)

Die Zufriedenstellung wurde in der vorliegenden Arbeit anhand einer Benutzerbefragung mit dem SUS-Fragebogen erfasst. Die SUS-Punktzahl steht hierbei für ein zusammengesetztes eindimensionales Maß der wahrgenommenen Gesamtnutzbarkeit eines Systems (siehe Kapitel 3.3.1). Aus den beschriebenen SUS-Ergebnissen lässt sich erkennen, dass die AR-Applikation gegenüber dem analogen System durchschnittlich als signifikant höher eingeschätzt wurde hinsichtlich der wahrgenommenen Usability. Um die erreichten SUS-Punktzahlen in Relation zu anderen Produkten zu setzen hilft ein Blick auf die vorhandene Literatur zu SUS-Ergebnissen. Sauro und Lewis (2016) untersuchten 446 Studien mit über 5000 SUS Antworten und kamen auf einen Durchschnittswert von 68 Punkten ($SD = 12.5$), wobei sich aus diesen Daten SUS-Ergebnisse anhand von Abbildung 35 durch einen Perzentil Rang im Vergleich einordnen lassen.

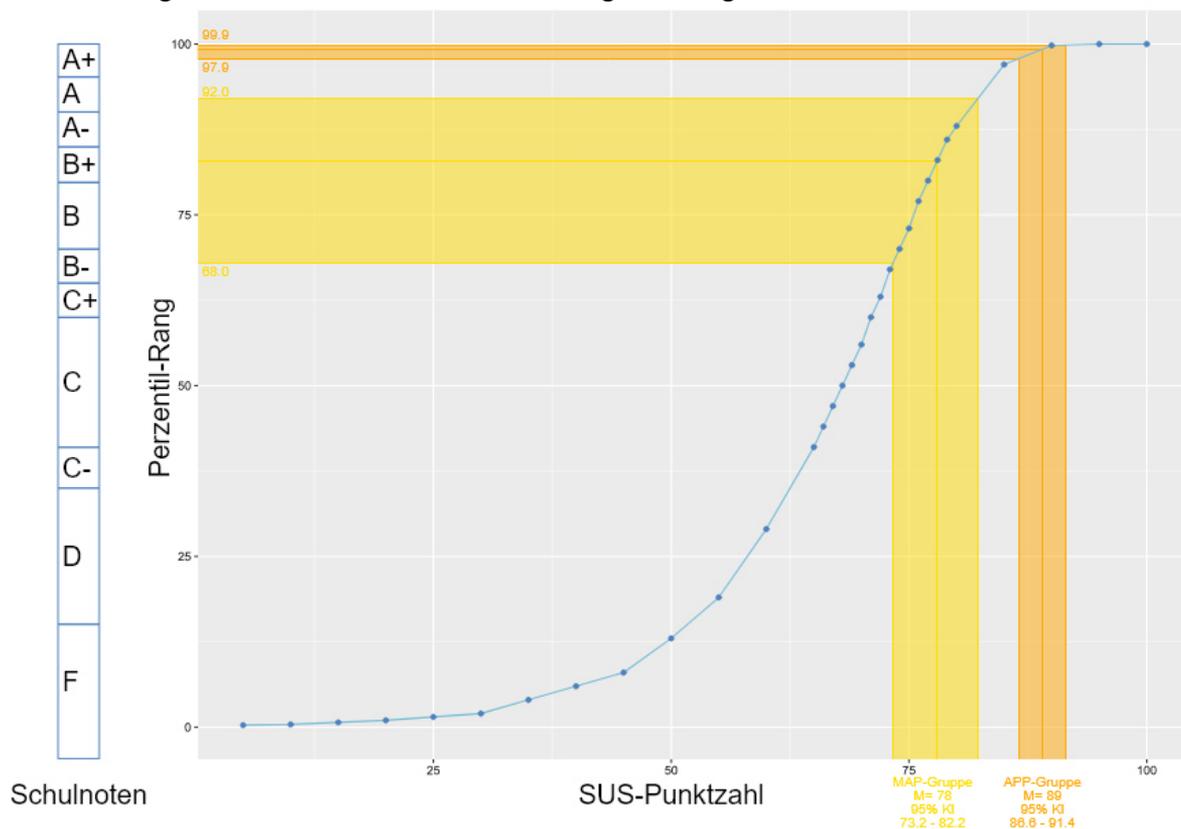


Abbildung 35: Relation zwischen der durchschnittlichen SUS-Punktzahl und Perzentil-Rang einer Datenbank von 446 SUS-Studien. Als Vergleich ist eine Schulnoten-Skala dargestellt und die durchschnittlichen SUS-Punktzahlen der MAP- sowie APP-Gruppe wurden mit dem Konfidenzintervall eingezeichnet. Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von Sauro und Lewis (2016)

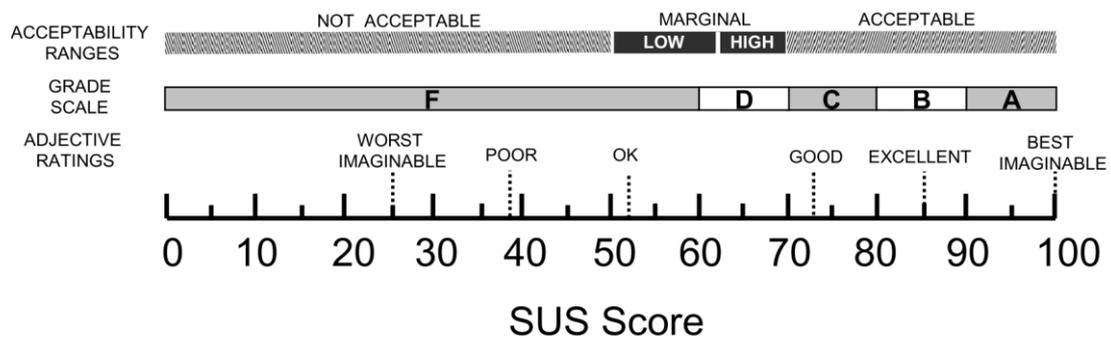


Abbildung 36: Vergleich von der SUS-Punktzahl-Skala mit anderen Skalen. Quelle: Bangor u. a. (2009)

Die durchschnittlichen SUS-Punktzahlen der beiden Gruppen mit den jeweiligen 95%-Konfidenzintervallen entsprechen so den Perzentil Rängen von 97.9%-99.9% für die APP-Gruppe sowie von 68.0%-92.0% für die MAP-Gruppe (Abbildung 35). Nach Auswertungen von SUS-Studien von Bangor u. a. (2009), lassen sich die SUS-Ergebnisse ebenfalls auf weiteren Skalen wie in Abbildung 36 darstellen. Die Schulnoten-Skala von A+ bis F wurde dabei auf die Perzentil-Darstellung von Sauro und Lewis (2016) in Abbildung 35 analog übertragen. So kann das analoge System eine von 68.0%-92.0% höhere wahrgenommene Usability aufweisen als die Produkte die in der Datenbank von Sauro und Lewis (2016) enthalten sind, welches ungefähr einer Schulnote von A bis B- entspricht. Die AR-Applikation wiederum hat eine von 97.9%-99.9% höhere wahrgenommene Usability, was einer ungefähren Schulnote von A+ gleichkommt (Abbildung 35). Beide Systeme werden demnach für die gewählte Aufgabenstellung überdurchschnittlich gut wahrgenommen, wobei die AR-Applikation den Nutzern ein deutlich zufriedenstellenderes Ergebnis bietet.

Der gleiche Einfluss wie bei den Usability Metriken Effektivität sowie Effizienz lässt sich auch auf die Größe der Zufriedenstellung feststellen. Das Orientierungsvermögen zeigt bei den Kartennutzern eine nicht signifikante, aber schwache positive Korrelation zu den SUS-Punktzahlen. Bei dieser Navigationsaufgabe konnte SUS höher bewertet werden, wenn das Orientierungsvermögen besser eingeschätzt wurde. So ist es möglich, dass diesen Personen die Navigation mit der Karte einfacher fällt und sich somit auch eine höhere Zufriedenstellung einstellt. Signifikant allerdings ist der Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Arbeitslast und SUS in beiden Gruppen. Wenn die Arbeitslast steigt sinkt die Bewertung des SUS-Fragebogens. Dieser Effekt ist bei der MAP-Gruppe etwas deutlicher zu erkennen, was an der generell höheren Arbeitslast beim analogen System liegen könnte (Tabelle 5). Anhand der qualitativen Beobachtungen lässt sich bei dem analogen System eine sehr gemischte Meinung erkennen. Während einige das System einwandfrei nutzen konnten, wurde auf der anderen Seite die Größe, Handhabung, Detailtreue sowie das Fehlen weiterer Landmarken kritisiert. Dieses Meinungsbild steht bei den Kartennutzern in Relation zum Orientierungsvermögen und der Arbeitslast, speziell bei den Dimensionen der geistigen Anforderung und Frustration, welches sich auf die Bewertung der Zufriedenstellung auswirken kann. Bei der AR-Applikation lässt sich ein positiveres Meinungsbild erkennen. Obwohl bei der Wahrnehmung der

Applikation einige Usability-Probleme erkannt wurden, wie unnatürliche Bewegungen des *GuideBOT's*, Unhandlichkeit, Privatsphäre und Unübersichtlichkeit, überwiegen die positiven Punkte, da der SUS-Fragebogen durchschnittlich sehr hoch bewertet wurde. So scheint sowohl die Funktionsweise als auch die Optik des AR-Systems bei den Nutzern sehr gut anzukommen und die Bedienung intuitiv sowie einfach zu sein.

6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird die vorliegende Arbeit zusammengefasst und reflektiert. Die eingangs gestellte Forschungsfrage sowie die zur Beantwortung dieser herangezogenen Methoden werden rekapituliert und in Bezug zu den hier gewonnenen Ergebnissen gesetzt. Eine Schlussfolgerung und ein zukünftiger Ausblick schließen dieses Kapitel ab.

6.1 Zielsetzung und Methodik

In unserem Alltag navigieren wir täglich durch unsere Umwelt. Dabei bedienen wir uns heutzutage verschiedenen Hilfsmitteln, wie einer Karte oder mit großer Wahrscheinlichkeit eher technischen Hilfsmitteln, wie unserem Smartphone, um diese Aufgabe zu meistern. Im Outdoor-Bereich ist GNSS die Standardtechnologie, die so gut wie jedem zur Verfügung steht und nicht nur bei der Positionierung, sondern auch bei der Wegfindung hilft. Wir verbringen allerdings den Großteil unseres Alltags im Innenbereich und oft auch in weitläufigen großen Gebäudekomplexen. Dennoch gibt es für den Indoor-Bereich keine allgemeingültige Technologie, wie sie GNSS für den Outdoor-Bereich darstellt. Dabei gibt es jedoch diverse Technologien, die dies schon heute ermöglichen. So bietet beispielsweise AR heutzutage die Möglichkeit nicht nur die Navigation im Innenraum, durch praktische Verschmelzung von Anweisungen mit der Umgebung, zu unterstützen, sondern den kompletten Prozess von der Positionierung bis hin zur Navigationsanweisung zu übernehmen. Zusätzlich benötigt die Positionierung keine weiter zu installierende Infrastruktur, wie es beispielsweise bei vielen signalbasierten Technologien der Fall ist. Der Erfolg solch einer Technologie wird überwiegend durch den technischen Fortschritt getrieben, jedoch sind die nicht technischen Einflüsse, wie die kulturellen Unterschiede, die soziale Akzeptanz sowie die menschlichen und kommerziellen Faktoren nicht zu unterschätzen. Die Usability ist hier ein wichtiges Konzept, welches die Nutzersicht eines Systems in das Zentrum schiebt und bewertet. In dieser Arbeit wird die Nutzersicht der Problematik der Indoor-Navigation mit AR evaluiert, indem eine AR-Navigations-Applikation (*ViewAR-GuideBOT*) auf Usability sowie empfundene Arbeitslast untersucht und einer Navigation mit Hilfe eines analogen Systems (Karte + Informationsschilder) gegenübergestellt wird. Hierzu wurde eine Usability-Evaluierung durchgeführt, die Kenngrößen für die Effizienz, Effektivität und Zufriedenstellung erfasst, indem die Navigationszeiten (Time on Task) und die Fehlerrate (Error-rate) aufgenommen sowie ein Standardfragebogen zur wahrgenommenen Usability durchgeführt. Aus diesen Kenngrößen lassen sich nicht nur ein gutes Maß für die Usability der AR-Lösung herleiten, sondern auch Vergleiche zu dem heutzutage noch als Standard verwendeten analogen System bilden. Um nicht nur quantitative Kennzahlen beziehungsweise Unterschiede zu erfassen, wurden zusätzliche Größen, wie die wahrgenommene Arbeitslast sowie

das Orientierungsvermögen über Fragebögen abgefragt und qualitative Aussagen beziehungsweise Beobachtungen ausgewertet.

Es sind dem Verfasser dieser Arbeit bis zum heutigen Zeitpunkt keine AR-Applikationen für den Indoor-Raum bekannt, die auf dem Markt verbreitet sind, die sowohl die Positionierung als auch die Führung während des *Wayfinding*-Prozesses bewältigen und auf Usability untersucht wurden. Ausgehend davon, dass AR-Technologie Usability-Vorteile bei der Indoor-Navigation bieten kann, befasste sich die Forschungsfrage dieser Arbeit damit, ob eine AR-Applikation effektiver, effizienter und für den Nutzer zufriedenstellender ist als ein analoges Vergleichssystem.

6.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Generell verfügen beide getesteten Systeme für die gewählte Aufgabenstellung eine gute Usability. Dennoch lässt sich in allen ausgewerteten Metriken ein eindeutiger Trend erkennen.



Arbeitshypothese: *Die AR-Lösung für die Indoor-Navigation führt die Nutzer genauer an ihr Ziel als die Navigation mit der analogen Karte.*

Bei der Effektivität gemessen an Task Success lässt sich kein Unterschied zwischen den beiden Designs erkennen, da alle Teilnehmer ihre Ziele in einer angemessenen Zeit finden konnten. Wird allerdings die Error-rate betrachtet, sprich die Anzahl an Irrtümern oder die Situationen der Konfusion, treten bei der Navigation mit dem analogen System mehr als doppelt so viele Fehler auf als bei der Navigation mit der AR-Applikation. Somit ist die AR-Variante für die gestellte Aufgabenstellung die effektivere Lösung.



Arbeitshypothese: *Die AR-Lösung für die Indoor-Navigation führt die Nutzer schneller an ihr Ziel als die Navigation mit der analogen Karte.*

Die Effizienz der beiden Systeme wird anhand der verwendeten Zeit für die Navigationsaufgaben gemessen. Dabei ist zu erkennen, dass die Ziele mit Hilfe der AR-Applikation durchschnittlich schneller erreicht wurden ($M= 14.36$, $SD=1.75$) als mit dem analogen System ($M= 16.75$, $SD=3.92$). Es war auch auffällig, dass die Navigationszeiten innerhalb der APP-Gruppe nicht so sehr variierten, wie innerhalb der Karten-Gruppe, was wiederum die AR-Applikation zum effizienteren System macht.



Arbeitshypothese: *Die AR-Lösung für die Indoor-Navigation führt die Nutzer zufriedener an ihr Ziel als die Navigation mit der analogen Karte.*

Als Maß für die Zufriedenstellung in dieser Arbeit wurde die wahrgenommene Usability nach dem *System Usability Scale* erfasst. So wurde die Usability für beide Systeme im Vergleich zu anderen Applikationen als überdurchschnittlich wahrgenommen, wobei die AR-Applikation in Schulnoten ausgedrückt ein A+ bekommen würde, während das analoge System eine Schulnote von B- bis A erreichen würde. Den Teilnehmerbewertungen des SUS nach ist die Navigation mit AR also die zufriedenstellendere Variante für die gewählte Aufgabenstellung.

Arbeitshypothese: Die AR-Lösung für die Indoor-Navigation ist für die Nutzer kognitiv weniger belastend als die Navigation mit der analogen Karte.

Die Arbeitsbelastung wurde in dieser Arbeit mit Hilfe des NASA-TLX-Fragebogens erfasst. Die beiden Systeme sind im Vergleich zu anderen durchgeführten NASA-TLX-Studien bezüglich ihrer Arbeitsbelastung als niedrig einzuschätzen. Werden jedoch die beiden Varianten gegenübergestellt, fällt auf, dass die Belastung bei der Karten-Gruppe durchschnittlich mehr als doppelt so hoch ist, als die Belastung in der APP-Gruppe. Dafür ausschlaggebend sind die Dimensionen der Frustration, zeitlichen Anforderung und speziell jene der geistigen Anforderung, was dafür spricht, dass die kognitive Belastung bei der AR-Applikation niedriger ist.

6.3 Schlussfolgerungen

Aus der Beantwortung der einzelnen Arbeitshypothesen lässt sich die Antwort, auf die eingangs gestellte Forschungsfrage klar formulieren.

Die gewählte AR-Applikation ist als Werkzeug zur Indoor-Navigation effektiver, effizienter als das gewählte analoge System und wird von den Nutzern als zufriedenstellender und nützlicher beurteilt.

Die Gründe für die höhere Usability sind erkennbar in den zusätzlich erfassten Daten der Einschätzung des Orientierungsvermögens sowie der wahrgenommenen Arbeitslast und den qualitativen Beobachtungen. Während das Orientierungsvermögen so gut wie keinen Einfluss auf die Usability-Metriken bei der Verwendung der AR-Applikation hat, ist bei den Kartennutzern ein klarer Zusammenhang zu erkennen. Die signifikant höhere Arbeitsbelastung nach dem NASA-TLX und die Beobachtungen zeigen, dass die Karten-Gruppe viel mehr Aufgaben zu erledigen hatten, die wiederum mit einem besseren Orientierungsvermögen einfacher zu bewältigen waren. Diese Aufgaben werden bei der AR-Applikation vom *GuideBOT* abgenommen und der Nutzer / Anwender muss nur noch das Ziel auswählen sowie dem *GuideBOT* folgen.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit beweisen, dass eine AR-Lösung bei der Indoor-Navigation unabhängig von zusätzlicher Infrastruktur zur Positionierung, schnell und einfach umgesetzt werden kann. Zudem konnte gezeigt werden, dass in der Literatur beschriebene Probleme (Qualität der Services), wie die Genauigkeit und

Kostenfaktoren von solchen Services, sich in den letzten Jahren stark verbessert haben. Darüber hinaus konnte verdeutlicht werden, dass nicht technische Einflussfaktoren, wie die Usability dieser AR-Lösung, für die Indoor-Navigation sehr hoch ist und selbst in einer Demoversion, wie sie in dieser Arbeit umgesetzt wurde, trotzdem sehr gut abschneidet.

In einigen Beobachtungen lassen sich dennoch Usability-Probleme erkennen, die allerdings keinen großen Einfluss auf die Endergebnisse haben. Wie in der Einleitung beschrieben, schien die Haltung des Smartphones während der Navigation bei einigen wenigen Benutzern negativ aufgefallen zu sein. Des Weiteren macht es den Eindruck, dass die soziale Akzeptanz von AR noch eher gering ist, da es für manche Teilnehmer unangenehm war die Kamera auf den Raum und folglich indirekt auf andere Personen zu richten. Dies zeigt wiederum, dass es weiterhin essenziell ist, die Usability sowie User Experience von AR-Lösungen zu untersuchen, damit diese praktischen Anwendungen in unserem Alltag allgemein akzeptiert werden und Verwendung finden.

6.4 Ausblick

Wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben schreitet die technologische Entwicklung von AR-Systemen kontinuierlich voran. Die Genauigkeit der Positionierung mit Hilfe von AR sowie die Darstellung beziehungsweise Verschmelzung von Realität und Virtualität wird zunehmend besser. Gleichzeitig steigern sich die Möglichkeiten der Interaktion mit AR. HUD's, HMD's sowie AR-Brillen ermöglichen eine zunehmend immersivere Darstellung und natürlichere Manipulation sowie Steuerung von virtuellen Inhalten. Die Navigation mit Hilfe von AR wird im Indoor-Bereich sicherlich vermehrt Anwendung finden. Speziell durch den technischen Fortschritt sowie die Vielzahl an Interaktionsmöglichkeiten bleibt die Überprüfung von Usability und User Experience immer eine aktuelle Aufgabe.

Anknüpfend an die vorliegende Arbeit wäre es gut, die Navigation mit Hilfe von AR auch einer anderen digitalen Navigationsapplikation gegenüberzustellen. Besonders die unterschiedliche Auswirkung sowie das Verständnis von abstrahierten Anweisungen und der direkten immersiven Darstellung bei AR stellen ein interessantes Forschungsthema dar.

Einzelne Einflussfaktoren auf die Navigation könnten gesondert untersucht werden. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit wird deutlich, dass sich das Alter der Teilnehmer auf die Effizienz (Time on Task) der bei beiden Lösungen auswirkt. Dieser Einfluss ist bei der Verwendung des AR-Systems allerdings nur leicht ausgeprägt, was wiederum bedeuten könnte, dass AR auch für ältere Menschen hilfreicher sein kann als ein analoges System.

Des Weiteren könnte unter Berücksichtigung eines UCD-Ansatzes eine komplette Indoor-Navigations-Applikation mit Verwendung von AR entworfen werden. Einige

Kommentare bezüglich der Wahrnehmung der hier genutzten AR-Applikation zeigen Verbesserungsmöglichkeiten, wie die Darstellung von Hinweispfeilen und den Einsatz einer Übersichtskarte, welche in einem UCD-Zyklus sicher gut implementiert werden könnten. Vor allem mit dem Fokus auf die weiter gefasste User Experience, kann der Nutzungskontext einer Indoor-Navigations-Applikation genauer erforscht werden. So resultiert daraus nicht nur eine AR-Navigations-Applikation mit hoher Usability für diese spezielle Aufgabe, sondern kann gleichzeitig weitere Bedürfnisse in diesem Kontext befriedigen. Die Möglichkeit interaktive Gamifications mit räumlicher Komponente zu implementieren würde sicherlich eine Steigerung der User Experience zur Folge haben. Ein virtueller Museums-Guide wäre hierbei ebenfalls denkbar, der eine valide Alternative zu den bekannten Audioguides bietet.

Abschließend könnten Verbesserungen der Darstellungs- und Interaktionsmöglichkeiten, wie beispielsweise virtuelle Kartenoverlays während der Navigation, Auswirkungen auf den räumlichen Wissenserwerb haben. Dies wiederum bietet einen weiteren zukünftigen Forschungsansatz.

7 Literatur

Apple Developers (2019) *Adding Indoor Maps to your App and Website*. Verfügbar unter: <https://developer.apple.com/videos/play/wwdc2019/241> (Zugegriffen: 19. Juli 2020).

Apple Inc. (2020) *Apple Newsroom - LiDAR*. Verfügbar unter: <https://www.apple.com/de/newsroom/search?q=Lidar> (Zugegriffen: 1. Jänner 2021).

Arndt, H. (2006) *Integrierte Informationsarchitektur: Die erfolgreiche Konzeption professioneller Websites*. Springer Berlin Heidelberg New York.

Autohaus Anders GmbH (2019) *Wie funktioniert Augmented Reality bei Mercedes-Benz? // Das Anders Tutorial 2019, youtube.com*. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=tIWWM5toZqw&t=280s> (Zugegriffen: 3. Jänner 2021).

Azuma, R. T. (1997) „A survey of augmented reality“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), S. 355–385.

Bai, Y. B. u. a. (2012) „Overview of RFID-Based Indoor Positioning Technology“, *Geospatial Science Research*. doi: 10.1007/978-3-319-93554-6_62.

Bangor, A. u. a. (2009) „Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale“, *Journal of usability studies*, 4(3), S. 114–123.

Bangor, A., Kortum, P. T. und Miller, J. T. (2008) „An empirical evaluation of the system usability scale“, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), S. 574–594. doi: 10.1080/10447310802205776.

Basiri, A. u. a. (2016) „The non-technical challenges of Location Based Services markets: Are the users' concerns being ignored?“, *Proceedings of 2016 International Conference on Localization and GNSS, ICL-GNSS 2016*. IEEE. doi: 10.1109/ICL-GNSS.2016.7533866.

Basiri, A. u. a. (2017) „Indoor location based services challenges, requirements and usability of current solutions“, *Computer Science Review*. Elsevier Inc., 24, S. 1–12. doi: 10.1016/j.cosrev.2017.03.002.

Bezmalinovic, T. (2020) *Facebook kauft AR-Cloud-Startup Scape*. Verfügbar unter: <https://mixed.de/facebook-kauft-ar-cloud-startup-scape/> (Zugegriffen: 19. Juli 2020).

Bhorkar, G. (2017) „A Survey of Augmented Reality Navigation“. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/abs/1708.05006>.

Billinghurst, M., Clark, A. und Lee, G. (2014) „A Survey of Augmented Reality Foundations and Trends R in Human-Computer Interaction“, *Human-Computer*

Interaction, 8(3), S. 73–272. Verfügbar unter:
<http://dx.doi.org/10.1561/1100000049>.

Bitforge AG (2020) *AR Cloud – der logische nächste Schritt für Augmented Reality*, Bitforge. Verfügbar unter: <https://bitforge.ch/augmented-reality/ar-cloud-der-logische-naechste-schritt-fuer-augmented-reality/> (Zugegriffen: 19. Juli 2020).

Blankenbach, J. (2017) „Indoor-Positionierung & lokale Positionierungssysteme“, in *Leitfaden Mobile GIS – Von der GNSS-basierten Datenerfassung bis zu Mobile Mapping*. Dr. Klaus Brand, GI Geoinformatik GmbH, Augsburg Prof. Dr.-Ing. Jörg Blankenbach, RWTH Aachen Prof. Dr. rer. nat. Thomas H. Kolbe, TU München Runder Tisch GIS e. V. c/o Technische Universität München Geschäftsstelle am Lehrstuhl für Geoinformatik, S. 63–76. Verfügbar unter:
https://rundertischgis.de/images/2_publicationen/leitfaeden/MobileGIS_V3/Leitfaeden 3.0.pdf.

Brooke, J. (1996) „SUS: A ‚Quick and Dirty‘ Usability Scale“, in.

Brown, M. und Pinchin, J. (2013) „Exploring Human Factors in Indoor Navigation“, *Horizon Digital Economy Research*, (April 2013), S. 1–6. Verfügbar unter:
<https://www.researchgate.net/publication/258728932>.

Budiu, R. (2017) *Quantitative vs. Qualitative Usability Testing*, NN/g Nielsen Norman Group. Verfügbar unter: <https://www.nngroup.com/articles/quant-vs-qual/#:~:text=Quantitative vs.,Qualitative Usability Testing,benchmarking programs and ROI calculations.> (Zugegriffen: 16. August 2020).

Cadena, C. u. a. (2016) „Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: Toward the robust-perception age“, *IEEE Transactions on Robotics*, 32(6), S. 1309–1332. doi: 10.1109/TRO.2016.2624754.

Caudell, T. P. und Mizell, D. W. (1992) „Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes“, in *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, S. 659–669 Bd.2. doi: 10.1109/HICSS.1992.183317.

Chatzopoulos, Di. u. a. (2017) „Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go“, *IEEE Access*. IEEE, 5, S. 6917–6950. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2698164.

Chersi, F. und Burgess, N. (2015) „The Cognitive Architecture of Spatial Navigation: Hippocampal and Striatal Contributions“, *Neuron*. Elsevier Inc., 88(1), S. 64–77. doi: 10.1016/j.neuron.2015.09.021.

Chung, J., Pagnini, F. und Langer, E. (2016) „Mindful navigation for pedestrians: Improving engagement with augmented reality“, *Technology in Society*. Elsevier Ltd, 45, S. 29–33. doi: 10.1016/j.techsoc.2016.02.006.

Cooke, L. (2010) „Assessing concurrent think-aloud protocol as a usability test method: A technical communication approach“, *IEEE Transactions on*

Professional Communication, 53(3), S. 202–215. doi: 10.1109/TPC.2010.2052859.

Cornell, E. H., Sorenson, A. und Mio, T. (2003) „Human sense of direction and wayfinding“, *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), S. 399–425. doi: 10.1111/1467-8306.9302009.

Darken, R. P. und Peterson, B. (2001) „Spatial Orientation, Wayfinding, and Representation.“, in *Handbook of Virtual Environment Technology*.

Delail, B. Al, Weruaga, L. und Zemerly, M. J. (2012) „CAViAR: Context aware visual indoor augmented reality for a University Campus“, *Proceedings of the 2012 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology Workshops, WI-IAT 2012*. IEEE, S. 286–290. doi: 10.1109/WI-IAT.2012.99.

Dey, A. u. a. (2018) „A systematic review of 10 Years of Augmented Reality usability studies: 2005 to 2014“, *Frontiers Robotics AI*, 5(APR). doi: 10.3389/frobt.2018.00037.

Diaz, C. u. a. (2017) „Designing for depth perceptions in augmented reality“, *Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2017*, S. 111–122. doi: 10.1109/ISMAR.2017.28.

Dong, J. u. a. (2019) „ViNav: A Vision-Based Indoor Navigation System for Smartphones“, *IEEE Transactions on Mobile Computing*. IEEE, 18(6), S. 1461–1475. doi: 10.1109/TMC.2018.2857772.

Döring, N. und Bortz, J. (2016) *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 5. vollstä, *Forschungsmethoden und Evaluation*. 5. vollstä. Herausgegeben von S. Pöschl-Günther und Springer-Verlag. Berlin Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch). Verfügbar unter: <https://ubdata.univie.ac.at/AC11196947>.

Le Dortz, N., Gain, F. und Zetterberg, P. (2012) „WiFi fingerprint indoor positioning system using probability distribution comparison“, *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*. IEEE, S. 2301–2304. doi: 10.1109/ICASSP.2012.6288374.

Downs, R. M. und Stea, D. (1973) *Image and environment: cognitive mapping and spatial behavior*. 1. publ.. London Chicago, Ill.: Arnold Aldine. Verfügbar unter: <https://ubdata.univie.ac.at/AC06429869>.

Du, R. u. a. (2020) „Experiencing Real-time 3D Interaction with Depth Maps for Mobile Augmented Reality in DepthLab“, *UIST 2020 - Adjunct Publication of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, S. 108–110. doi: 10.1145/3379350.3416136.

Dünser, A. u. a. (2012) „Exploring the use of handheld AR for outdoor navigation“, in *Computers and Graphics (Pergamon)*. doi: 10.1016/j.cag.2012.10.001.

Elzakker, C. P. J. M. van (2004) „The use of maps in the exploration of geographic data“.

Enge, P. und Misra, P. (1999) „Scanning the Issue/Technology - Special Issue on Global Positioning System“, *PROCEEDINGS OF THE IEEE*, 87(1), S. 3–15. doi: 10.1109/JPROC.1999.736338.

Engel, J., Sturm, J. und Cremers, D. (2013) „LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM“, *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, S. 1449–1456.

Epstein, R. A. u. a. (2017) „The cognitive map in humans: spatial navigation and beyond“, *Nature Neuroscience*, 20(11), S. 1504–1513. doi: 10.1038/nn.4656.

Ericsson, K. A. und Simon, H. A. (1993a) *Protocol Analysis : Verbal Reports As Data*. Cambridge, Mass: A Bradford Book. Verfügbar unter: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1761&site=ehost-live>.

Ericsson, K. A. und Simon, H. A. (1993b) *Protocol Analysis : Verbal Reports As Data*. Cambridge, Mass: A Bradford Book.

Etherington, D. (2019) *Google launches 'Live View' AR walking directions for Google Maps*, *techcrunch.com*. Verfügbar unter: <https://techcrunch.com/2019/08/08/google-launches-live-view-ar-walking-directions-for-google-maps/> (Zugegriffen: 20. Dezember 2020).

Farid, Z., Nordin, R. und Ismail, M. (2013) „Recent advances in wireless indoor localization techniques and system“, *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013. doi: 10.1155/2013/185138.

Feiner, S. u. a. (1997) „A Touring Machine: Prototyping 3D Holographic Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment“, *Personal Technologies*, S. 208–217.

Garcia, E. u. a. (2015) „A robust UWB indoor positioning system for highly complex environments“, *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2015-June(June), S. 3386–3391. doi: 10.1109/ICIT.2015.7125601.

Geis, T. (2010) *Usability und User Experience unterscheiden*. Verfügbar unter: <https://www.procontext.de/aktuelles/2010/03/usability-und-user-experience-unterscheiden.html> (Zugegriffen: 9. August 2020).

Gkoufas, Y. und Katrinis, K. (2018) „Copernicus: A Robust AI-Centric Indoor Positioning System“, *IPIN 2018 - 9th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. IEEE, (September), S. 206–212. doi: 10.1109/IPIN.2018.8533821.

Google (2020) *A new wave of AR Realism with the ARCore Depth API*. Verfügbar

unter: <https://developers.googleblog.com/2020/06/a-new-wave-of-ar-realism-with-arcore-depth-api.html> (Zugegriffen: 31. Dezember 2020).

Google (ohne Datum) *INDOOR-KARTEN FÜR INNENRÄUME*. Verfügbar unter: <https://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/> (Zugegriffen: 19. Juli 2020).

Google AI Blog (2019) *Using Global Localization to Improve Navigation*, *Google AI Blog*. Verfügbar unter: <https://ai.googleblog.com/2019/02/using-global-localization-to-improve.html> (Zugegriffen: 29. Juni 2020).

Gould, J. D. und Lewis, C. (1985) „Designing for usability-key principles and what designers think“, *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 28(3), S. 50–53. doi: 10.1145/800045.801579.

Grier, R. A. (2015) „How high is high? A meta-analysis of NASA-TLX global workload scores“, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2015-Janua, S. 1727–1731. doi: 10.1177/1541931215591373.

Grubert, J., Langlotz, T. und Grasset, R. (2011) „Augmented Reality Browser Survey“, *Technical Report*, (ICG-TR-1101). Verfügbar unter: <http://www.icg.tu-graz.ac.at/publications/augmented-reality-browser-survey-1>.

Häder, M. (2010) *Empirische Sozialforschung von Michael Häder*.

Handrich, J. und Vandenhouten, R. (2019) „Erweiterung eines landmarkenbasierten Innenraumortungsverfahrens für Mobilgeräte mit ARCore“, *Wissenschaftliche Beiträge Th Wildau*, 23, S. 27–32. doi: 10.15771/0949-8214.

Hart, S. G. (2006) „NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later“, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, S. 904–908.

Hart, S. G. und Staveland, L. E. (1988) „Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research“, *Advances in Psychology*, 52(C), S. 139–183. doi: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9.

Hartson, R. und Pyla, P. S. (2012) *The UX Book*. Herausgegeben von R. Hartson und P. S. B. T.-T. U. X. B. Pyla. Boston: Elsevier. doi: 10.1016/C2010-0-66326-7.

Hassenzahl, M. (2008) „User experience (UX): Towards an experiential perspective on product quality“, *ACM International Conference Proceeding Series*, (September 2008), S. 11–15. doi: 10.1145/1512714.1512717.

Hassenzahl, M., Burmester, M. und Koller, F. (2008) „Der User Experience (UX) auf der Spur: Zum Einsatz von“, *Usability Professionals 2008*, S. 78-82. *Stuttgart: German Chapter der Usability Professionals Association.*, S. 78–82. Verfügbar unter: http://attrakdiff.de/files/up08_ux_auf_der_spur.pdf.

Hauschildt, D. und Kirchhof, N. (2010) „Advances in thermal infrared localization: Challenges and solutions“, *2010 International Conference on Indoor Positioning*

and Indoor Navigation, *IPIN 2010 - Conference Proceedings*. IEEE, (September), S. 1–8. doi: 10.1109/IPIN.2010.5647415.

Hegarty, M. u. a. (2002) „Development of a self-report measure of environmental spatial ability“, *Intelligence*, 30(5), S. 425–447. doi: [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(02\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00116-2).

Heyde, C. (2014) „Techniken und Möglichkeiten der Realisierung von Random-Stichproben“, in *Stichproben-Verfahren in der Umfrageforschung*, S. 37–65. doi: 10.1007/978-3-531-18882-9.

Hoflinger, F. u. a. (2012) „Acoustic Self-calibrating System for Indoor Smartphone Tracking (ASSIST)“, *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN 2012 - Conference Proceedings*, (November), S. 13–15. doi: 10.1109/IPIN.2012.6418877.

Höllerer, T. und Schmalstieg, D. (2016) *Augmented Reality: Principles and Practice*. Addison-Wesley Professional.

Holm, S. (2012) „Ultrasound positioning based on time-of-flight and signal strength“, *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN 2012 - Conference Proceedings*. IEEE, (November), S. 1–6. doi: 10.1109/IPIN.2012.6418728.

Hua, A. und Wijkmark, R. (2019) „Evaluation of Mobile Augmented Reality for Indoor Navigation“.

Huang, H., Schmidt, M. und Gartner, G. (2012) „Spatial knowledge acquisition with mobile maps, augmented reality and voice in the context of GPS-based pedestrian navigation: Results from a field test“, *Cartography and Geographic Information Science*, 39(2), S. 107–116. doi: 10.1559/15230406392107.

Huey, L. C., Sebastian, P. und Drieberg, M. (2011) „Augmented reality based indoor positioning navigation tool“, *2011 IEEE Conference on Open Systems, ICOS 2011*, (September 2011), S. 256–260. doi: 10.1109/ICOS.2011.6079276.

IKEA Möbelvertrieb OHG (2020) *Ikea Place App*. Verfügbar unter: <https://www.ikea.com/at/de/customer-service/mobile-apps/> (Zugegriffen: 31. Dezember 2020).

Ishikawa, T. und Montello, D. R. (2006) „Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places“, *Cognitive Psychology*, 52(2), S. 93–129. doi: 10.1016/j.cogpsych.2005.08.003.

ISO 9241-11 (2018) *DIN EN ISO 9241-11:2018-11 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO 9241-11:2018); Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:2018*.

ISO 9241-210 (2010) *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210:*

Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme.

Joshi, R. u. a. (2020) „Indoor Navigation with Augmented Reality“, in *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Springer Verlag, S. 159–165. doi: 10.1007/978-981-13-8715-9_20.

Joyce, A. (2019) *Formative vs. Summative Evaluations*, NN/g Nielsen Norman Group. Verfügbar unter: <https://www.nngroup.com/articles/formative-vs-summative-evaluations/> (Zugegriffen: 15. August 2020).

Kasprzak, S., Komninos, A. und Barrie, P. (2013) „Feature-based indoor navigation using augmented reality“, *Proceedings - 9th International Conference on Intelligent Environments, IE 2013*, (March 2015), S. 100–107. doi: 10.1109/IE.2013.51.

Kemper, J. und Linde, H. (2008) „Challenges of passive infrared indoor localization“, *5th Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2008, WPNC'08*, 2008, S. 63–70. doi: 10.1109/WPNC.2008.4510358.

Kim, K. u. a. (2018) „Revisiting trends in augmented reality research: A review of the 2nd Decade of ISMAR (2008-2017)“, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. IEEE, 24(11), S. 2947–2962. doi: 10.1109/TVCG.2018.2868591.

Kirakowski, J. und Cierlik, B. (1998) „Measuring the Usability of Web Sites“, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 42(4), S. 424–428. doi: 10.1177/154193129804200405.

Kirakowski, J. und Corbett, M. (1988) „Measuring User Satisfaction“, in *Proceedings of the Fourth Conference of the British Computer Society on People and Computers IV*. USA: Cambridge University Press, S. 329–338.

Kirakowski, J. und Corbett, M. (1993) „SUMI: the Software Usability Measurement Inventory“, *British Journal of Educational Technology*, 24(3), S. 210–212. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.1993.tb00076.x>.

Koch, C. u. a. (2014) „Natural markers for augmented reality-based indoor navigation and facility maintenance“, *Automation in Construction*, 48(December 2017), S. 18–30. doi: 10.1016/j.autcon.2014.08.009.

Koláčný, A. (1969) „Cartographic Information—a Fundamental Concept and Term in Modern Cartography“, *The Cartographic Journal*. Taylor & Francis, 6(1), S. 47–49. doi: 10.1179/caj.1969.6.1.47.

Kortum, P. und Peres, S. C. (2014) „The Relationship Between System Effectiveness and Subjective Usability Scores Using the System Usability Scale“, *International Journal of Human-Computer Interaction*. Taylor & Francis, 30(7), S. 575–584. doi: 10.1080/10447318.2014.904177.

Kozłowski, L. T. und Bryant, K. J. (1977) „Sense of direction, spatial orientation,

and cognitive maps.“, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. US: American Psychological Association, 3(4), S. 590–598. doi: 10.1037/0096-1523.3.4.590.

Kriz, P., Maly, F. und Kozel, T. (2016) „Improving Indoor Localization Using Bluetooth Low Energy Beacons“, *Mobile Information Systems*, 2016. doi: 10.1155/2016/2083094.

Kunhoth, J. u. a. (2020) „Indoor positioning and wayfinding systems: a survey“, *Human-centric Computing and Information Sciences*. Springer Berlin Heidelberg, 10(1). doi: 10.1186/s13673-020-00222-0.

Levine, M., Marchon, I. und Hanley, G. L. (1984) „The placement and misplacement of you-are-here maps.“, *Environment and Behavior*. US: Sage Publications, 16(2), S. 139–157. doi: 10.1177/0013916584162001.

Lewis, J. R. (1992) „Psychometric Evaluation of the Post-Study System Usability Questionnaire: The PSSUQ“, *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*. SAGE Publications, 36(16), S. 1259–1260. doi: 10.1177/154193129203601617.

Lewis, J. R. (2018) „Measuring Perceived Usability: The CSUQ, SUS, and UMUX“, *International Journal of Human-Computer Interaction*. Taylor & Francis, 34(12), S. 1148–1156. doi: 10.1080/10447318.2017.1418805.

Li, A. und Fessenden, T. (2016) *Augmented Reality: What Does It Mean for UX?* Verfügbar unter: <https://www.nngroup.com/articles/augmented-reality-ux/> (Zugegriffen: 13. Juni 2020).

Li, J. u. a. (2020) „Camera localization for augmented reality and indoor positioning: a vision-based 3D feature database approach“, *International Journal of Digital Earth*. Taylor & Francis, 13(6), S. 727–741. doi: 10.1080/17538947.2018.1564379.

Li, N. und Becerik-Gerber, B. (2011) „Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment“, *Advanced Engineering Informatics*. Elsevier Ltd, 25(3), S. 535–546. doi: 10.1016/j.aei.2011.02.004.

Lindo, A. u. a. (2015) „Multiband Waveform Design for an Ultrasonic Indoor Positioning System“, *IEEE Sensors Journal*, 15(12), S. 7190–7199. doi: 10.1109/JSEN.2015.2472978.

Liu, H. u. a. (2007) „Survey of wireless indoor positioning techniques and systems“, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 37(6), S. 1067–1080. doi: 10.1109/TSMCC.2007.905750.

Longo, L. und Dondio, P. (2016) „On the relationship between perception of usability and subjective mental workload of web interfaces“, *Proceedings - 2015*

IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, WI-IAT 2015, 1(December), S. 345–352. doi: 10.1109/WI-IAT.2015.157.

MacEachren, A. M. und Kraak, M.-J. (2001) „Research Challenges in Geovisualization“, *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), S. 3–12. doi: 10.1559/152304001782173970.

Mackenzie, I. (2013) *Human-Computer Interaction, Human-computer interaction*. Waltham, Mass. : doi: 10.1016/B978-0-12-405865-1.00001-7.

Mandai, A. u. a. (2005) „Beep: 3D indoor positioning using audible sound“, *2005 2nd IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC2005*. IEEE, 2005, S. 348–353. doi: 10.1109/ccnc.2005.1405195.

Miesnieks, M. (2020) *6D.ai Joins Niantic Making A Major Step Toward Building The AR Cloud, Blog-Post*. Verfügbar unter: <https://medium.com/6d-ai/6d-ai-joins-niantic-making-a-major-step-toward-building-the-ar-cloud-1594be62e85f> (Zugegriffen: 1. Jänner 2021).

Milgram, P. und Kishimo, F. (1994) „A taxonomy of mixed reality“, *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12), S. 1321–1329.

Montello, D. R. (2001) „Spatial Cognition“, *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, (1998), S. 14771–14775. doi: 10.1016/b0-08-043076-7/02492-x.

Montello, D. R. (2002) „Cognitive map-design research in the twentieth century: Theoretical and empirical approaches“, *Cartography and Geographic Information Science*, 29(3), S. 283–304. doi: 10.1559/152304002782008503.

Montello, D. R. (2005) „Navigation“, in *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*. Cambridge University Press, S. 257–294. doi: 10.1017/CBO9780511610448.008.

Montello, D. R. und Xiao, D. (2011) „Linguistic and Cultural Universality of the Concept of Sense-of-Direction“, in Egenhofer, M. u. a. (Hrsg.) *Spatial Information Theory*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 264–282.

Muehlenhaus, I. (2013) „Web Cartography: Map Design for Interactive and Mobile Devices“, in.

Mulloni, A., Seichter, H. und Schmalstieg, D. (2011) „Handheld augmented reality indoor navigation with activity-based instructions“, *Mobile HCI 2011 - 13th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, S. 211–220. doi: 10.1145/2037373.2037406.

Münzer, S. u. a. (2006) „Computer-assisted navigation and the acquisition of route and survey knowledge“, *Journal of Environmental Psychology*, 26(4), S. 300–308. doi: 10.1016/j.jenvp.2006.08.001.

Münzer, S., Lörch, L. und Frankenstein, J. (2019) „Wayfinding and Acquisition of Spatial Knowledge With Navigation Assistance“, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 26(1), S. 73–88. doi: 10.1037/xap0000237.

Münzer, S., Zimmer, H. D. und Baus, J. (2012) „Navigation assistance: A trade-off between wayfinding support and configural learning support“, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 18(1), S. 18–37. doi: 10.1037/a0026553.

Muršić, S. (ohne Datum) *Augmented Reality*. Verfügbar unter: <https://augmentedtoys.org/augmented-reality/> (Zugegriffen: 31. Dezember 2020).

Naroditsky, O., Kuen-Han, L. und Dimitrios, K. (2019) „Visual Inertial Odometry Health Fitting“. Verfügbar unter: <http://appft1.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PG01&p=1&u=%2Fnetahtml%2FPTO%2Fsrchnum.html&r=1&f=G&l=50&s1=%2220190164040%22.PGNR.&OS=DN/20190164040&RS=DN/20190164040>.

Narzt, W. u. a. (2006) „Augmented reality navigation systems“, *Universal Access in the Information Society*, 4(3), S. 177–187. doi: 10.1007/s10209-005-0017-5.

NASA (ohne Datum) *NASA TLX: TASK LOAD INDEX*. Verfügbar unter: <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/> (Zugegriffen: 22. Juli 2020).

Navarro, E. u. a. (2010) „Wi-Fi Localization Using RSSI Fingerprinting“, S. 1–6. Verfügbar unter: <http://digitalcommons.calpoly.edu/cpesp/17>.

Neges, M. u. a. (2017) „Combining visual natural markers and IMU for improved AR based indoor navigation“, *Advanced Engineering Informatics*. Elsevier Ltd, 31, S. 18–31. doi: 10.1016/j.aei.2015.10.005.

Nerurkar, E., Lynen, S. und Zhao, S. (2017) „System and method for concurrent odometry and mapping“. Verfügbar unter: <https://patents.google.com/patent/US20170336511A1/>.

Niantic Inc. (2020a) *Pokemon go*. Verfügbar unter: <https://pokemongo.nianticlabs.com/> (Zugegriffen: 31. Dezember 2020).

Niantic Inc. (2020b) *Welcoming 3D Spatial Mapping Leader 6D.ai to Niantic: Accelerating Real-World AR Innovation, Blog-Post*. Verfügbar unter: <https://nianticlabs.com/blog/6d> (Zugegriffen: 1. Jänner 2021).

Nielsen, J. (1993) *Usability engineering*.

Nielsen, J. (2006) *Quantitative Studies: How Many Users to Test?* Verfügbar unter: <https://www.nngroup.com/articles/quantitative-studies-how-many-users/> (Zugegriffen: 8. September 2020).

Nielsen, J. (2012) *Usability 101: Introduction to Usability, NN/g Nielsen Norman Group*. Verfügbar unter: <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/> (Zugegriffen: 9. August 2020).

Nivala, A. M. (2007) *Usability perspectives for the design of interactive maps*, Department of Computer Science and Engineering. Verfügbar unter: [attachments%5CUsabilidadWebMapping%5CUsabilityPerspectivesDesignInteractiveMaps.pdf](#).

Nivala, A. M., Tiina Sarjakoski, L. und Sarjakoski, T. (2007) „Usability methods' familiarity among map application developers“, *International Journal of Human Computer Studies*, 65(9), S. 784–795. doi: 10.1016/j.ijhcs.2007.04.002.

Norman, D. (2013) *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition*. Basic Books. Verfügbar unter: <https://books.google.de/books?id=nVQPAAAAQBAJ>.

Norman, D. A. (1988) *The psychology of everyday things., The psychology of everyday things*. New York, NY, US: Basic Books.

Norman, D. A., Miller, J. und Henderson, A. (1995) „We Go About Doing It : HI at Apple Computer“, (January), S. 4–5. doi: 10.1145/223355.223477.

Norman, D. und Draper, S. (1986) „User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction“, in.

Norman, D. und Nielsen, J. (2016) *The Definition of User Experience (UX)*, NN/g Nielsen Norman Group. Verfügbar unter: <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/> (Zugegriffen: 9. August 2020).

Ooms, K. (2012) „Maps, how do users see them?“, S. 214.

Ooms, K. (2016) „Cartographic User Research in the 21st Century: Mixing and Interacting“, *6th International Conference on Cartography and GIS Proceedings*, (June), S. 367–377. Verfügbar unter: <https://cartography-gis.com/docsbca/iccgis2016/ICCGIS2016-38.pdf>.

Pike, M. u. a. (2014) „Measuring the effect of think aloud protocols on workload using fNIRS“, *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, S. 3807–3816. doi: 10.1145/2556288.2556974.

Rajagopal, N. u. a. (2019) „Improving Augmented Reality Relocalization Using Beacons and Magnetic Field Maps“, *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*.

Reid, G. B. und Nygren, T. E. (1988) „The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload“, *Advances in psychology*. Amsterdam [u.a.]: North-Holland, S. 185–218.

Renwick, D. (2019) *What is mixed methods research?*, *Optimal Workshop*. Verfügbar unter: <https://blog.optimalworkshop.com/what-is-mixed-methods-research/> (Zugegriffen: 16. August 2020).

- Richter, M. und Flückinger, M. (2013) *Usability engineering kompakt, Computer Science Handbook, Second Edition*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-34832-7.
- Robinson, A. H. (1952) *The look of maps : an examination of cartographic design*. Madison, Wis.: Univ. of Wisconsin Pr. Verfügbar unter: <https://ubdata.univie.ac.at/AC04739793>.
- Robinson, A. H. und Petchenik, B. B. (1976) *The nature of maps : essays toward understanding maps and mapping*. Chicago, Ill.: Univ. of Chicago Press. Verfügbar unter: <https://ubdata.univie.ac.at/AC02669146>.
- Rosala, M. (2019) *How to Analyze Qualitative Data from UX Research: Thematic Analysis, NN/g Nielsen Norman Group*. Verfügbar unter: <https://www.nngroup.com/articles/thematic-analysis/>.
- Roth, R. (2019) „How do user-centered design studies contribute to cartography?“, *Geografie-Sbornik CGS*, 124(2), S. 133–161. doi: 10.37040/geografie2019124020133.
- Roth, R. E. u. a. (2017) „User studies in cartography: opportunities for empirical research on interactive maps and visualizations“, *International Journal of Cartography*. Taylor & Francis, 3(sup1), S. 61–89. doi: 10.1080/23729333.2017.1288534.
- Roth, R. E., Ross, K. S. und MacEachren, A. M. (2015) „User-centered design for interactive maps: A case study in crime analysis“, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(1), S. 262–301. doi: 10.3390/ijgi4010262.
- Roto, V. u. a. (2012) *ALL ABOUT UX - Information for user experience professionals*. Verfügbar unter: <http://www.allaboutux.org/ux-definitions> (Zugegriffen: 3. August 2020).
- Rudlof, C. (2006) *Handbuch Software-Ergonomie. Usability Engineering*.
- Rummel, B. und Ruegenhagen, E. (2015) *System Usability Scale – jetzt auch auf Deutsch.*, *SAP User Experience Community*. Verfügbar unter: <https://experience.sap.com/skillup/system-usability-scale-jetzt-auch-auf-deutsch/> (Zugegriffen: 23. November 2020).
- Sakpere, W., Adeyeye-Oshin, M. und Mlitwa, N. B. W. (2017) „A state-of-the-art survey of indoor positioning and navigation systems and technologies“, *South African Computer Journal*, 29(3), S. 145–197. doi: 10.18489/sacj.v29i3.452.
- Santos, M. E. C. u. a. (2014) „Usability scale for handheld augmented reality“, *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*, S. 167–176. doi: 10.1145/2671015.2671019.
- Sauro, J. und Lewis, J. R. (2009) „Correlations among prototypical usability metrics: Evidence for the construct of usability“, *Conference on Human Factors in*

Computing Systems - Proceedings, S. 1609–1618. doi: 10.1145/1518701.1518947.

Sauro, J. und Lewis, J. R. (2016) *Quantifying the User Experience, Second Edition: Practical Statistics for User Research*.

Schmalstieg, D. und Höllerer, T. (2016) *Augmented Reality - Principles and Practice*. Addison-Wesley Professional.

Sertatil, C., Altinkaya, M. A. und Raoof, K. (2012) „A novel acoustic indoor localization system employing CDMA“, *Digital Signal Processing: A Review Journal*. Elsevier Inc., 22(3), S. 506–517. doi: 10.1016/j.dsp.2011.12.001.

Sheinker, A. u. a. (2016) „A method for indoor navigation based on magnetic beacons using smartphones and tablets“, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. Elsevier Ltd, 81, S. 197–209. doi: 10.1016/j.measurement.2015.12.023.

Siegel, A. W. und White, S. H. (1975) „The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments“, in *Advances in child development and behavior.*, S. 9–55. doi: 10.1016/S0065-2407(08)60007-5.

Slocum, T. A. u. a. (2001) „Cognitive and usability issues in geovisualization“, *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), S. 61–75. doi: 10.1559/152304001782173998.

Snap Inc. (2020) *Snapchat*. Verfügbar unter: <https://snap.com/en-US/news/post/snap-augmented-reality-platform> (Zugegriffen: 31. Dezember 2020).

Speicher, M. (2015) „What is Usability? A Characterization based on ISO 9241-11 and ISO/IEC 25010“, S. 1–10. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/abs/1502.06792>.

Stevens, N. J. u. a. (2018) „Mental Workload Assessment Methods“, in *Human Factors in Land Use Planning and Urban Design*, S. 23. Verfügbar unter: <https://doi-org.uaccess.univie.ac.at/10.1201/9781315587363>.

Sutherland, I. E. (1968) „A Head-Mounted Three Dimensional Display“, in *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (AFIPS '68 (Fall, part I)), S. 757–764. doi: 10.1145/1476589.1476686.

Ta, V. C. u. a. (2018) „Smartphone-Based User Positioning in a Multiple-User Context with Wi-Fi and Bluetooth“, *IPIN 2018 - 9th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. IEEE, (September), S. 206–212. doi: 10.1109/IPIN.2018.8533809.

Tolman, E. C. und Honzik, C. H. (1930) „Introduction and removal of reward, and maze performance in rats“, *University of California Publications in Psychology*, 4(17), S. 257–275.

- Tsang, P. S. und Velazquez, V. L. (1996) „Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings“, *Ergonomics*, 39(3), S. 358–381. doi: 10.1080/00140139608964470.
- Tsou, M. H. (2011) „Revisiting web cartography in the United States: The rise of user-centered design“, *Cartography and Geographic Information Science*, 38(3), S. 250–257. doi: 10.1559/15230406382250.
- UXQB (2017) *CPUX-UT Curriculum*. Verfügbar unter: https://uxqb.org/wp-content/uploads/documents/CPUX-UT_DE_Curriculum.pdf.
- Valentin, J. u. a. (2018) „Depth from motion for smartphone Ar“, *SIGGRAPH Asia 2018 Technical Papers, SIGGRAPH Asia 2018*, 37(6). doi: 10.1145/3272127.3275041.
- Ventura, J. u. a. (2014) „Global localization from monocular SLAM on a mobile phone“, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. IEEE, 20(4), S. 531–539. doi: 10.1109/TVCG.2014.27.
- Vertanen, K. (ohne Datum) *NASA-TLX in HTML and JavaScript*. Verfügbar unter: <https://www.keithv.com/software/nasatlx/> (Zugegriffen: 22. Juli 2020).
- Volkswagen (2020) *Volkswagen ID.3 - optional Augmented Reality Head-up Display*, *youtube.com*. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=03n2H_EY2zA (Zugegriffen: 20. Dezember 2020).
- Wagner, D. und Schmalstieg, D. (2003) „First steps towards handheld augmented reality“, *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC*, S. 127–137. doi: 10.1109/iswc.2003.1241402.
- Ware, C. (2012) „Exploration and Navigation Loop“, in *Information Visualization : Perception for Design*, S. 353–365.
- Wilcox, R. (2012) „Correlation and Tests of Independence“, *Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing*, S. 441–469. doi: 10.1016/b978-0-12-386983-8.00009-3.
- Winter, S. (2019) „Geoinformation zur Navigationsunterstützung“, in *Geoinformatik*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, S. 69–89. doi: 10.1007/978-3-662-47096-1_65.
- Wolbers, T. u. a. (2008) „Spatial updating: How the brain keeps track of changing object locations during observer motion“, *Nature Neuroscience*, 11(10), S. 1223–1230. doi: 10.1038/nn.2189.
- Zhang, X. u. a. (2019) „An ARCore based user centric assistive navigation system for visually impaired people“, *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(5). doi: 10.3390/app9050989.

Anhang

Anhang A: Stammdaten

TestpersonID: _____ Datum: __ / __ / 20 _____ Uhrzeit: __: __

Fragebogen zur Person Einverständnis-Erklärung

Allgemeine Information

Alter: _____

Geschlecht: weiblich männlich

Beruf: _____

Erfahrung mit Augmented Reality

Ich weiß nicht was AR ist

Ich weiß was AR ist

Ich habe AR schon hierbei benutzt: _____

Kenntnis der Albertina

Ich war noch nie in der Albertina

Ich kenne die Räumlichkeiten der Albertina

Letzter Besuch: _____

Einverständnis-Erklärung

Ich stimme zu, dass die aufgenommenen Daten für die Masterarbeit von Marcel Rönisch verwendet und veröffentlicht werden dürfen.

Unterschrift: _____ Datum: _____

Vom Testleiter auszufüllen

Karte

GUIDEBOT

Zeit: _____

Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien

Kontakt:
marcel@roenisch.de



Anhang B: Fragebogen – Santa Barbara Sense of Direction

TestpersonID: _____ Datum: __ / __ / 20 _____ Uhrzeit: __: __

Santa Babara Sense of Direction - Fragebogen

Dieser Fragebogen enthält verschiedene Aussagen über Ihre räumlichen Fähigkeiten, sowie Vorlieben und Erfahrungen beim Finden von Wegen. Bitte geben Sie bei jeder Aussage auf einer Skala von 1 bis 7 an, wie stark sie dieser zustimmen, wobei 1 bedeutet, dass Sie der Aussage sehr zustimmen, 7, dass Sie die Aussage stark ablehnen und 4, dass sie der Aussage weder zustimmen noch sie ablehnen.

Kreuzen Sie bitte in jeder Zeile nur eine der sieben Optionen an.

Beispiel: „Aussage“						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
(1) trifft sehr zu	(2)	(3)	(4)	(2)	(6)	(7) trifft gar nicht zu
Ich bin sehr gut im Geben von Wegbeschreibungen.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Ich kann mir nur schlecht merken, wo ich Dinge liegen gelassen habe.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Ich bin sehr gut im Schätzen von Entfernungen.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Mein „Orientierungssinn“ ist sehr gut.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Wenn ich über meine Umgebung nachdenke, verwende ich meist die vier Himmelsrichtungen (N,S,O,W).						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
In einer neuen Stadt verlaufe ich mich sehr leicht.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Landkarten lesen macht mir Spaß.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Ich habe Probleme, Wegbeschreibungen zu verstehen.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Ich bin sehr gut im Kartenlesen.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Als Beifahrer im Auto erinnere ich mich nicht sehr gut an die gefahrenen Strecken.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Ich gebe nicht gerne Wegbeschreibungen.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Für mich ist es nicht wichtig, zu wissen wo ich bin.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Normalerweise überlasse ich anderen die Wegeplanung für längere Fahrten.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
In der Regel kann ich mich an einen neuen Weg erinnern, wenn ich ihn lediglich einmal zurückgelegt habe.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
Ich habe keine sehr gute „innere Karte“ meiner Umgebung.						
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7

Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien

Kontakt:
marcel@roenisch.de



Anhang C: Fragebogen – System Usability Scale

TestpersonID: _____ Datum: __ / __ / 20 _____ Uhrzeit: __: __

System-Usability-Scale

Kreuzen Sie bitte in jeder Zeile nur eine der fünf Optionen an.

Beispiel:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	(1) Stimme überhaupt nicht zu	(2)	(3)	(4)	(5) Stimme voll zu
Ich denke, dass ich das System gerne häufig benutzen würde.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich fand das System unnötig komplex.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich fand das System einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich glaube, ich würde die Hilfe einer technisch versierten Person benötigen, um das System benutzen zu können.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem System waren gut integriert.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich denke, das System enthielt zu viele Inkonsistenzen.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Menschen den Umgang mit diesem System sehr schnell lernen.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich fand das System sehr umständlich zu nutzen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich fühlte mich bei der Benutzung des Systems sehr sicher.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
Ich musste eine Menge lernen, bevor ich anfangen konnte das System zu verwenden.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien
 Kontakt:
 marcel@roenisch.de



NASA Task-Load-Index

Gewichtung

Nennen Sie bei den 15 folgenden Vergleichen die für Ihr Gesamtempfinden, hinsichtlich der Arbeitslast und bezüglich der Aufgabe, bedeutsamere Kategorie. Zur Erinnerung:

Geistige Anforderung

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (**z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...**)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

Körperliche Anforderung

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (**z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...**)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

Zeitliche Anforderung

Wie viel **Zeitdruck** empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe **langsam** und **geruhsam** oder **schnell** und **hektisch**?

Leistung

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

Anstrengung

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

Frustration

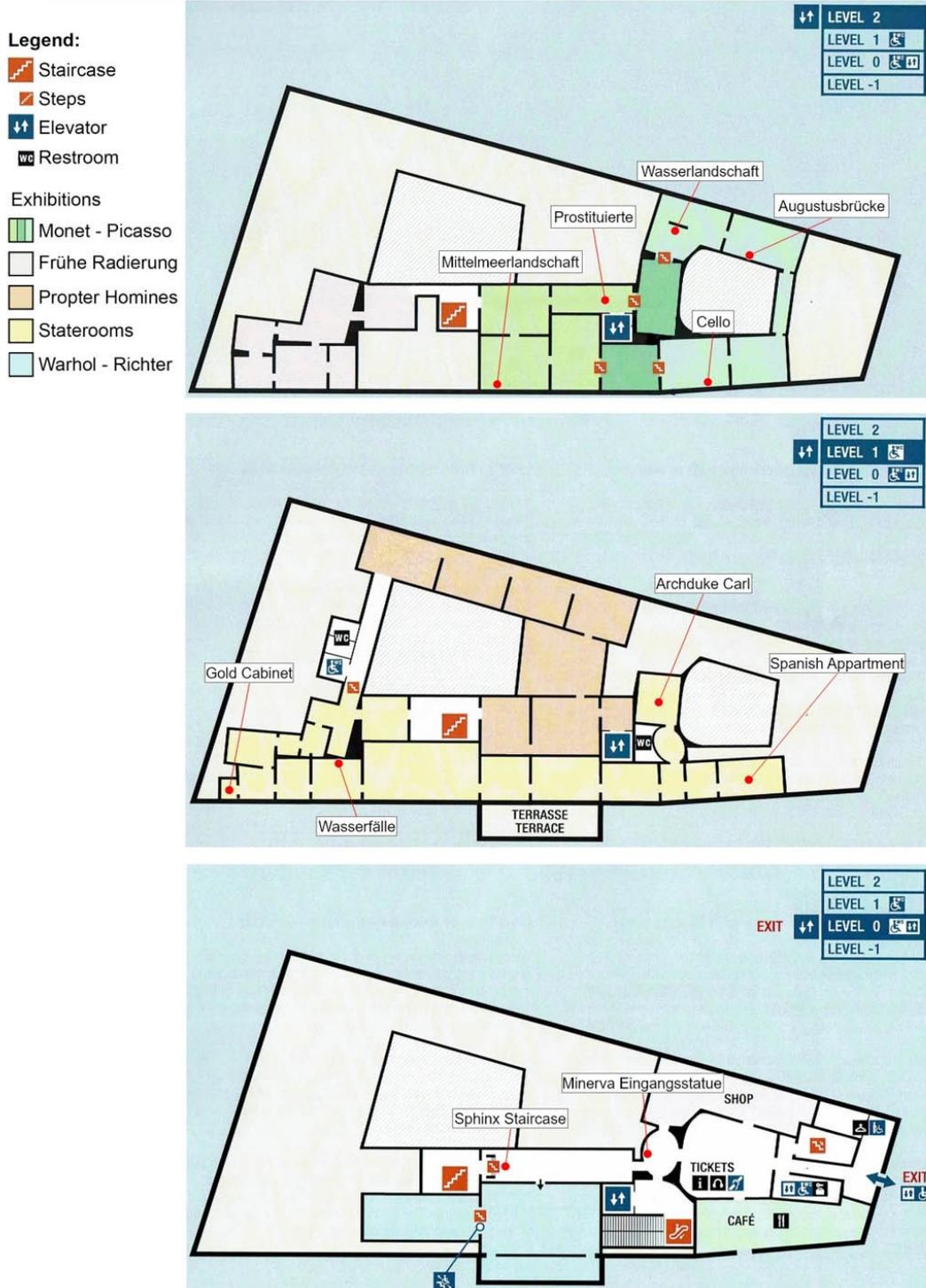
Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien
Kontakt:
marcel@roenisch.de





Anhang E: Die analoge Karte für die MAP-Gruppe



Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien

Kontakt:
marcel@roenisch.de



Anhang F: Aufgabeninformationsschilder

1. **Gesucht**

Bild: **Cello** von Vasili Shukaev!

Lage: 2. Stock

Ausstellung: Monet – Picasso



Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien
Kontakt:
marcel@roenisch.de

2. Gesucht

Bild: **Mittelmeerlandschaft** von Pablo Picasso

Lage: 2. Stock

Ausstellung: Monet – Picasso



Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien

Kontakt:
marcel@roenisch.de

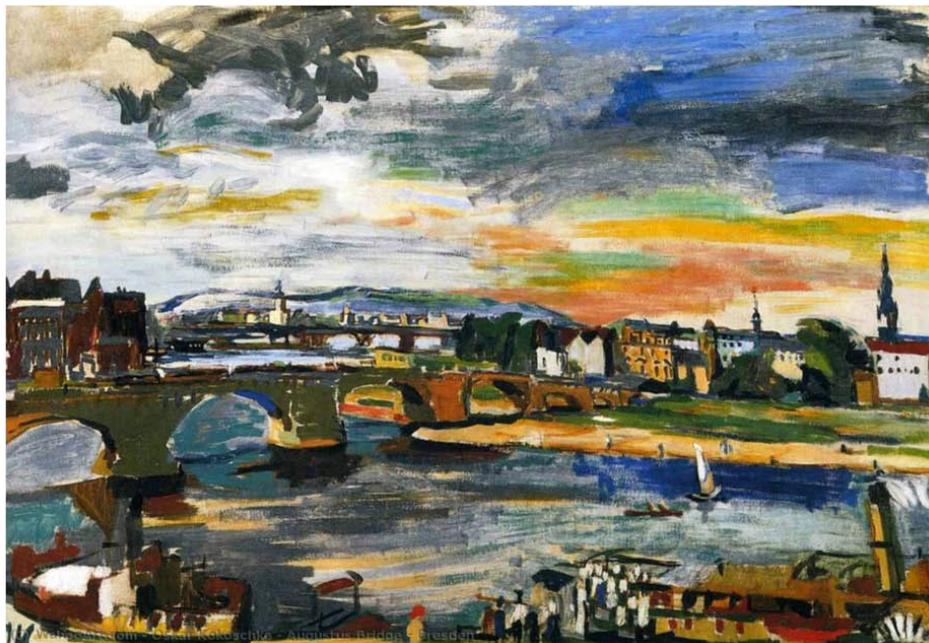


3. Gesucht

Bild: **Augustusbrücke** von Oskar Kokoschka

Lage: 2. Stock

Ausstellung: Monet – Picasso



Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien

Kontakt:
marcel@roenisch.de



5. Gesucht

Bild: **Wasserfälle von Tivoli**

Lage: 1. Stock

Ausstellung: Staterooms



Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien

Kontakt:
marcel@roenisch.de



4. Gesucht

Raum: **Gold Cabinet**

Lage: 1. Stock

Ausstellung: Staterooms



Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien

Kontakt:
marcel@roenisch.de



6. Gesucht

Raum: Arbeitszimmer von Archduke Carl

Lage: 1. Stock

Ausstellung: Staterooms



Usability-Test im Rahmen der Masterarbeit von Marcel Rönisch an der Universität Wien

Kontakt:
marcel@roenisch.de



Erklärung

Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

22.02.2021

Datum



Unterschrift