



Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

„Augmented Reality in der öffentlichen Ver- und Entsorgung“

vorgelegt von

Jonas Schlechtweg-Tag

GIS_104817, UNIGIS MSc Jahrgang 2017

Betreuer:

Dr. Christian Neuwirth

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Hallstadt, 23.01.2020

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, diese Masterarbeit selbstständig ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Diese Arbeit ist bislang keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht worden.

Hallstadt, 23.01.2020, Jonas Schlechtweg-Tag

SPERRVERMERK

Die vorliegende Masterarbeit mit dem Titel „Augmented Reality in der öffentlichen Ver- und Entsorgung“ enthält vertrauliche Daten des Unternehmens *IP SYSCON GmbH*.

Die Masterarbeit darf nur dem Erst- und Zweitgutachter sowie befugten Mitgliedern des Prüfungsausschusses zugänglich gemacht werden. Eine Veröffentlichung und Vervielfältigung der Masterarbeit ist – auch in Auszügen – nicht gestattet.

Eine Einsichtnahme der Arbeit durch Unbefugte bedarf einer ausdrücklichen Genehmigung des Verfassers und des Unternehmens *IP SYSCON GmbH*.

GENDER HINWEIS

Aus Gründen der leichten Lesbarkeit wird in der vorliegenden Masterarbeit die gewohnte männliche Sprachform bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verwendet. Dies impliziert jedoch keine Benachteiligung des weiblichen Geschlechts, sondern soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

DANKSAGUNG

Als Student in einem Fernstudiengang gibt es viele Aufgaben zu erledigen, die stets in zeitlicher Konkurrenz zu den beruflichen, aber besonders familiären Anforderungen und Gegebenheiten stehen. Aus diesem Grund möchte ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bei allen bedanken, die mich während meines Studiums und während der Anfertigung der Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Dem gesamten UNIGIS-Team und besonders unserer Tutorin Julia Moser danke ich für die informativen, spannenden und geselligen Präsenztage in Salzburg, die aufgrund der netten Kommilitonen und -innen sehr kurzweilig abliefen. Zudem konnte ich mir zu jeder Zeit sicher sein, dass sämtliche Fragen zu Inhalten oder Organisatorischem sehr zeitnah, gewissenhaft und geduldig beantwortet wurden.

Meinem ehemaligen Arbeitgeber arc.grün GmbH und meiner Chefin Gudrun Rentsch möchte ich für die Möglichkeit danken, neben meiner beruflichen Tätigkeit das Fernstudium durchzuführen. Zusätzlich durfte ich die letzten eineinhalb Jahre bis September 2019 in Elternteilzeit arbeiten, was unserer Familie Einiges an zusätzlicher gemeinsamer Zeit einbrachte.

Zudem möchte ich bei meinem Arbeitgeber IP SYSCON GmbH, besonders bei Ulrike Pickelmann und Roland Hachmann, bedanken, die mir bei der gesamten Durchführung der Masterarbeit beratend zur Seite standen und mir detaillierte Einblicke in die Thematik Ver- und Entsorgung ermöglicht haben. Weiterhin konnte ich durch die Unterstützung gezielt Anwender in diesem Bereich ansprechen und für Umfragen und Interviews gewinnen. Während der Beendigung der Masterarbeit wurde es mir ermöglicht, mich beruflich neu zu orientieren und eine interessante und spannende Arbeitsstelle bei IP SYSCON GmbH zu beginnen. Vielen Dank für das Vertrauen und die stets gut funktionierende Kooperation.

Ein besonderer Dank gilt meinem Masterarbeitsbetreuer Dr. Christian Neuwirth, der mir die Bearbeitung des Themas ermöglicht hat, und dessen Hinweise, kritische Anmerkungen und weiterführende Fragen ich sehr geschätzt habe.

Meinen Eltern danke ich sehr für ihr großes Interesse und Förderung meines Zweitstudiums sowie für das Korrekturlesen sämtlicher Arbeiten. Zudem haben Sie und die Schwiegereltern meiner Frau mir stets die Möglichkeit gegeben, neben allem universitären wie beruflichen Stress auch Zeiten zum gemeinsamen Abschalten zu finden.

Ohne den Rückhalt meiner Frau Antonia und unserer Söhne Justus, Theodor und Gustav wäre ein solches Fernstudium niemals möglich gewesen. Das entgegengebrachte Verständnis für die Dauer des Studiums zeitlich nicht so verfügbar zu sein, ist nicht selbstverständlich. Für ihre Unterstützung und die Fähigkeit, mir auch in anstrengenden Momenten jederzeit ein Lachen und gute Laune zu ermöglichen, danke ich besonders.

KURZFASSUNG

Die ältesten Überlieferungen von Leitungsnetzen stammen aus dem alten Ägypten vor circa 3.300 Jahren. Diese dienten der Wasserversorgung von großräumigen Siedlungsstrukturen sowie der Bewässerung der Landwirtschaft. Mit der zunehmenden technischen Entwicklung sind über Jahrtausende immer komplexer werdende Leitungsnetze entstanden, die neben dem Transport von Wasser und Abwasser auch zur Energieversorgung mit Gas, Fernwärme und Strom sowie der Nachrichtenübermittlung genutzt werden. Da inzwischen eigentlich alle Infrastrukturen von Leitungsnetzen abhängig sind, ist es von großer Wichtigkeit, diese in ihrer Dimension funktions- und zukunftsfähig zu halten, was mit einer möglichst detaillierten Dokumentation einhergeht.

Da in vielen öffentlichen Verwaltungen der digitale Fortschritt noch nicht so weit vorangeschritten ist, thematisiert diese Arbeit den Einsatz von Augmented Reality für den Anwendungsbereich der öffentlichen Ver- und Entsorgung. Es konnte durch verschiedene Methoden wie Literaturrecherche, Interviews, Messebesuche und einen Anwenderfragebogen ein repräsentatives System erstellt werden. Nach Berücksichtigung aller Kriterien soll dies vorrangig als mobile Leitungsauskunft für Planung, Wartung und Schadensvermeidung dienen.

Zudem wurden passende systemrelevante Komponenten ermittelt. Als Hardware ist aufgrund der relativ großen Auflösung ein Tablet einzusetzen, da dieses in der Regel über alle relevanten Tools verfügt, die für ein komplettes und genaues Tracking/Registrierung ausreichen. Für ein besseres Verständnis wurde zusätzlich ein Systemdiagramm erstellt, das das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten visualisiert.

Um weiterhin zu überprüfen, ob und welche Vor- und Nachteile eine AR Visualisierung erzielt, wurde eine Wahrnehmungsstudie durchgeführt, bei der eine 2D Kartenansicht mit einer Augmented Reality Darstellung verglichen wurde. Bemängelt wurden neben erhöhten Kosten und Zeitinvestition der derzeitige schlechte Mobilfunkausbau, der vor allem in sehr rural geprägten Gebieten zu Problemen bei der Datenverfügbarkeit führt. Werden die negativen Aspekte allerdings im Vorfeld einer Anwendungsentwicklung berücksichtigt, können bereits hier teilweise Vermeidungsmaßnahmen stattfinden.

Besonders die direkte Einbettung der Objekte in die realistische Umgebung und die daraus resultierende Erfahrbarkeit von Relationen zwischen Objekten einerseits und Objekten und Umwelt andererseits sind als Vorteile hervorzuheben, wobei in einer späteren Arbeit die Tiefenwahrnehmung von Untergrundstrukturen zu untersuchen wäre, da hier der größte Nutzen einer Anwendung vermutet wird.

Durch die Erarbeitung des repräsentativen Systems und die gewonnenen Erkenntnisse aus der Wahrnehmungsstudie konnte eine Basis für eine mögliche Entwicklung einer prototypischen Anwendung geschaffen werden.

ABSTRACT

The oldest traditions of pipeline systems come from ancient Egypt, about 3,300 years ago. These provided the water supply of huge settlement structures and the irrigation for agriculture. In the course of the increasing technical development, more and more complex pipeline networks have been created over thousand of years, which are used not only for the transport of water and sewage, but also for energy supply by gas, district heating and electricity as well as the transmission of messages. Since all infrastructures now depend on supply networks, it is very important to keep them functional and suitable in their dimensions for the future, which is accompanied by the most detailed documentation possible.

Since digital progress has not flourished so far in many public administrations, this work focuses on the use of augmented reality for the application field of public supply and disposal. A representative system could be created using various methods such as literature research, interviews, field visits and a questionnaire for users. After all criteria have been incorporated, this should primarily serve as mobile pipeline information for planning, maintenance and prevention of damage.

Suitable system-relevant components have also been identified. Due to the relatively large resolution, a tablet is to be used as hardware, since it generally also has all the relevant tools that are sufficient for complete and accurate tracking and registration. For a better understanding, a system diagram has also been created, which visualizes the interaction of the individual components.

In order to further check whether and which advantages and disadvantages an AR visualization achieves, a perception study was carried out in which a 2D map view was compared with an AR representation. In addition to cost and time investments, the current poor mobile phone network was criticized, which leads to poor availability of data, particularly in very rural areas. However, if the negative aspects are taken into account in the run-up to application development, preventive measures can then already be taken. In particular, the direct embedding of the objects in the realistic environment and the resulting experience of relationships between objects on the one hand and objects and

the environment on the other hand should be emphasized as advantages, whereby the depth perception of underground structures would have to be examined in a later paper, since one of the greatest benefits of an application is to be expected there.

Through the development of the representative system and the knowledge gained from the perception study, a basis for a potential development of a prototype application could be created.

INHALTSVERZEICHNIS

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	I
SPERRVERMERK	II
GENDER HINWEIS	III
DANKSAGUNG	IV
KURZFASSUNG	VI
ABSTRACT	VIII
INHALTSVERZEICHNIS	X
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XII
TABELLENVERZEICHNIS	XIV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XV
1 EINFÜHRUNG	1
1.1 Motivation	1
1.2 Literaturüberblick	4
1.3 Zielsetzung	16
1.4 Aufbau der Arbeit	16
2 AUGMENTED REALITY - GRUNDLAGEN	18
2.1 Begriffsklärung und Definitionen	18
2.2 Geschichtlicher Überblick	19
2.3 Technische Komponenten	23
2.3.1 Tracking und Registrierung	24
2.3.2 Hardware	30
2.3.3 Software	34
2.3.4 Beispiele für technischen Systemaufbau	38
2.4 Anwendungsgebiete und -beispiele	42
3 METHODIK	52
3.1.1 Messebesuche und Interviews	53
3.1.2 Fragebogen	58
3.1.3 Anwendungsfälle und graphische Darstellung	62
3.2 Wahrnehmungsstudie	65
3.2.1 Grundlagen visueller Wahrnehmung	67
3.2.2 Erstellung der Visualisierungen	72
3.2.3 Fragebogen	86

4	ERGEBNISSE	91
4.1	Anwendung und Systemdiagramm	91
4.2	Wahrnehmungsstudie	99
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	107
5.1	Überprüfung der Zielsetzung.....	107
5.2	Ausblick.....	109
	LITERATURVERZEICHNIS	111

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Gartner-Hype-Cycle 2009.....	2
Abb. 2: Gartner-Hype-Cycle 2018.....	3
Abb. 3: Aufbau Prototyp Forschungsprojekt <i>Vidente</i>	5
Abb. 4: Aufbau des mobilen AR-Systems	6
Abb. 5: 3D-Visualisierung mit verbesserter Tiefenwahrnehmung.....	7
Abb. 6: Überwachung und Vermessung mit AR	10
Abb. 7: Interaktive Visualisierung mit vor Ort Datenerfassung	10
Abb. 8: AR Visualisierung über Arbeitsbereich.....	11
Abb. 9: unterirdisches Leitungsinformationssystem, CV-Version.....	12
Abb. 10: AR Ansicht bei dynamischem Tracking in markerloser Umgebung	14
Abb. 11: 3D Rekonstruktion für bessere Texturierung	15
Abb. 12: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum von MILGRAM & KISHINO 1994.....	18
Abb. 13: Sword of damocles von SUTHERLAND 1968	20
Abb. 14: AR-System zur Unterstützung bei der Zusammenstellung von Kabelbäumen	20
Abb. 15: AR-System KARMA	21
Abb. 16: Ansichten ARQuake.....	22
Abb. 17: Pokémon Go.....	23
Abb. 18: Schematischer Aufbau AR-System	24
Abb. 19: Auswahl verschiedener Marker	28
Abb. 20: PDA Jepower	31
Abb. 21: UMPC.....	32
Abb. 22: Microsoft Hololens und Google Glass.....	33
Abb. 23: Softwareaufbau Studierstube ES	37
Abb. 24: ARGIS Framework	39
Abb. 25: Systemarchitektur VIDENTE	41
Abb. 26: Daten-Pipeline.....	42
Abb. 27: AR als Operationsunterstützung	43
Abb. 28: Display Hololens beim Militäreinsatz.....	45
Abb. 29: AR Unterstützung bei Produktionsschulung (BMW)	45
Abb. 30: AR für Bürgerpartizipation bei Grünplanung	47
Abb. 31: Archeoguide reale Sicht (links), AR Rekonstruktion (rechts)	47
Abb. 32: HUD Volkswagen Tiguan Allspace.....	48
Abb. 33: AR als kooperative Lehrbuchanreicherung.....	49
Abb. 34: IKEA Place.....	50
Abb. 35: Workflow Methodik	52
Abb. 36: Startfolie Umfrage Bestandsanalyse	60
Abb. 37: Übersichtslageplan der erfassten Objekte.....	66

Abb. 38: Faktoren der Figur-Hintergrund Trennung: a) Kontrast, b) Abgrenzung, c) Einfachheit, d) geringe Größe/kleinteilige Struktur	68
Abb. 39: Faktoren von visueller Gruppierung: a) Kontinuität, b) gemeinsame Region, c) Verbundenheit, d) Nähe und Ähnlichkeit, e) gemeinsame Bewegungsrichtung .	69
Abb. 40: Konzeptioneller Ablauf der Visualisierungserstellung	73
Abb. 41: Leica Zeno 20.....	74
Abb. 42: Objekterfassung mit Lotstock	76
Abb. 43: Auswahl der Datenquelle in AuGeo	79
Abb. 44: Einstellungen für Standort und Anzeige in AuGeo	79
Abb. 45: Bildschirmfoto von AuGeo in Hoch- und Querformat	80
Abb. 46: Ungenaue Platzierung des AR-Popups aufgrund unzureichenden GPS-Signals	83
Abb. 47: Überlappung der AR-Popups aufgrund räumlicher Nähe.....	84
Abb. 48: 2D Kartenlayout	85
Abb. 49: Derzeitig verwendete Technik im Außendienst.....	95
Abb. 50: Zukünftig gewünschter Einsatz von Hardware im Außendienst.....	95
Abb. 51: Systemdiagramm	97
Abb. 52: Ergebnis AR: Wie lautet die Schachtnummer des Objektes?	99
Abb. 53: Ergebnis 2D: Wie lautet die Schachtnummer des rot umrandeten Objektes?	100
Abb. 54: Ergebnis AR: Welche Kanalart ist abgebildet?	100
Abb. 55: Ergebnis 2D: Welcher Kanalart gehört der rot umrandete Hydrant an?.....	101
Abb. 56: Ergebnis AR: Wie viele Mischwasserschächte sind vorhanden	101
Abb. 57: Ergebnis 2D: Wie viele Mischwasserschächte sind vorhanden?	102
Abb. 58: Ergebnis AR: Auf welcher Fläche liegt das Objekt?.....	103
Abb. 59: Ergebnis 2D: Auf welcher Fläche liegt das rot umrandete Objekt.....	103

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Übersicht der sensorbasierten Trackingmethoden.....	27
Tab. 2: Übersicht Hardware.....	34
Tab. 3: Datenstruktur der Punktoobjekte	39
Tab. 4: Datenstruktur der Linienobjekte	40
Tab. 5: Übersicht Messebesuche und Interviews.....	54
Tab. 6: Statistik der Umfrage Bestandsanalyse	59
Tab. 7: Aufbau Fragebogen Bestandanalyse	60
Tab. 8: Vorlage Use Case	65
Tab. 9: Technische Daten Leica Zeno 20	74
Tab. 10: Attributtabelle der feature class „Wasser_Armaturen“ für die 2D Visualisierung	77
Tab. 11: Attributtabelle der feature class „Wasser_Armaturen“ für die AR Visualisierung	77
Tab. 12: Attributtabelle der feature class „Kanal_Schacht“ für die 2D Visualisierung ..	78
Tab. 13: Attributtabelle der feature class „Kanal_Schacht“ für die AR Visualisierung ..	78
Tab. 14: Technische Daten Samsung Galaxy Tab S 10.5 SM-T805	81
Tab. 15: Technische Daten Huawei P20 Lite	82
Tab. 16: Statistik des Fragebogens Wahrnehmungsstudie	86
Tab. 17: Aufbau Fragebogen Wahrnehmungsstudie	87
Tab. 18: Kategorisierung der Anwendungen aus der Literaturanalyse.....	92
Tab. 19: Vor- und Nachteile der AR Anwendung aus Teilnehmersicht	104

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb	Abbildung
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
ARGIS	Augmented Reality Geographical Information System
AV	Augmented Virtuality
BIM	Building Information Modeling
CAFM	Computer-Aided Facility Management
CV	Computer Vision
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System
HMD	Head-Mounted-Display
HUD	Head-Up-Display
INS	Inertial Navigation System
IoT	Internet of Things
MAR	Mobile Augmented Reality
MR	Mixed Reality
OGC	Open Geospatial Consortium
PDA	Personal Digital Assistant
RTK	Real Time Kinematic
SDK	Software Development Kit
Tab	Tabelle
UI	User Interface
UML	Unified Modeling Language
UMPC	Ultra Mobile PC
VIO	Visual-Inertial Odometry
VR	Virtual Reality

1 EINFÜHRUNG

Das erste Kapitel dieser Arbeit ist einer ausführlichen Einführung in das Thema gewidmet und soll neben einem grundlegenden Überblick des derzeitigen Forschungsstandes auch die Notwendigkeit der Betrachtung des Themengebietes aus wissenschaftlicher Sicht vermitteln.

1.1 Motivation

*„Imagine an environment where most physical objects know where they are,
what they are, and can (in principle) network with any other object.*

*With this infrastructure, reality becomes its own database. Multiple consensual virtual
environments are possible, each oriented to the needs of its constituency”*

(VINGE 2009)

Mit diesem Zitat aus seinem Artikel „Mixed and augmented reality: Scary and wondrous“ beschreibt Vernon Steffen Vinge, amerikanischer Mathematiker, Informatiker und Science-Fiction-Autor, die Vorstellung, dass die reale, physische, uns umgebende Welt durch die immer stärkere Vernetzung mit Daten und Informationen zu einer Art Softwarekonstrukt werden könnte. Diese Möglichkeit ist einerseits sehr eindrucksvoll, interessant und spannend, andererseits kann sie aber auch beängstigend und einengend wirken.

Durch immer komplexer werdende Strukturen und diffizilere Ver- und Entsorgungsnetze werden Datenmengen auch in kleinen Kommunen und Städten rasant größer. In vielen öffentlichen Verwaltungen ist allerdings der digitale Fortschritt noch nicht so weit entwickelt, obwohl dadurch ein deutlich effizienteres Verwaltungshandeln und Vermeidungen von Schadensfällen im Kontext von Grabungen oder Bohrungen erzielt werden könnten (SCHALL & SCHMALSTIEG et al. 2009; HERLITSCHKA & VALTINER 2017). Durch die Transformation von 2D Zeichnungen zu 3D Modellen kam es in der Bauindustrie jedoch zu einer großen Revolution, welche durch die Einführung von BIM noch verstärkt wurde. Um allerdings das volle Potential von 3D Planungsmodellen ausschöpfen zu können, ist es sinnvoll, BIM mit zugehörigen AR Systemen zu koppeln, um Objekte und Strukturen zu visualisieren und zu erfassen, die für das menschliche Auge sonst nicht sichtbar wären

(FENAIS et al. 2018). Diese Kohärenz bildet einen wichtigen Bestandteil für ein effizientes Management einer gesamten städtischen Infrastruktur (ORTEGA et al. 2019).

Im Gegensatz zu Virtual Reality ist der Begriff Augmented Reality für die breite Masse der Bevölkerung allenfalls seit dem Spiel Pokémon GO, meist aber immer noch nicht bekannt. AR verbindet die reale Welt mit virtuellen Objekten und reichert diese mit Informationen, Strukturen oder Objekten an (AZUMA 1997). Obwohl AR nicht diesen Bekanntheitsgrad aufweist, ist die Technologie an sich dennoch kein vorübergehender Hype, sondern vielmehr von inzwischen hoher Relevanz, was der Gartner-Hype-Cycle deutlich aufzeigt. Er stellt dar, welche Phasen der öffentlichen Aufmerksamkeit eine neue Technologie bei deren Einführung durchläuft und dient zur Bewertung der Einführung neuer Technologien (FENN et al. 2017). Im Jahr 2009 befand sich AR noch auf der Schwelle zwischen technologischem Trigger und Höhepunkt der Erwartungen. Der Durchbruch der Technologie wurde in den darauffolgenden 5-10 Jahren erwartet (siehe Abb. 1).

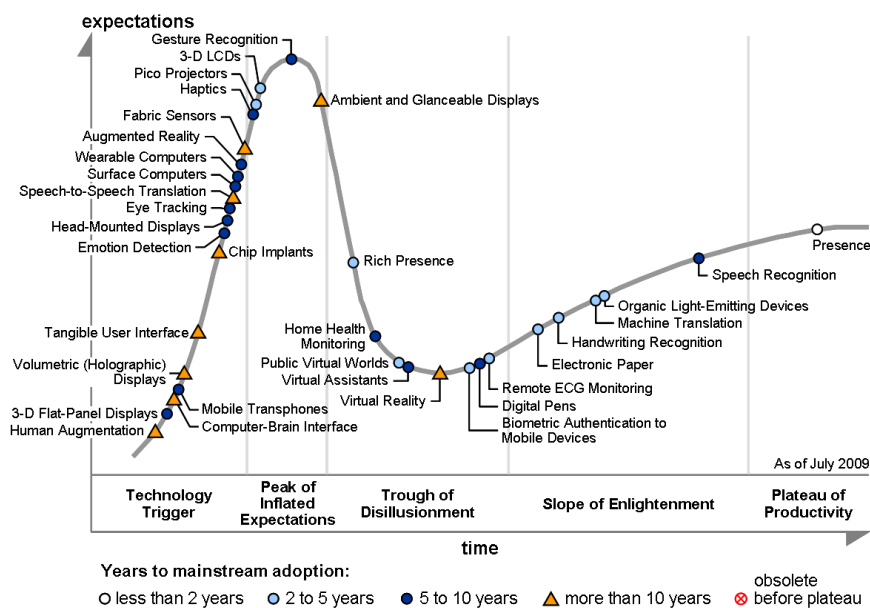


Abb. 1: Gartner-Hype-Cycle 2009

(<https://www.wordbee.com/blog/localization-industry/how-to-survive-technological-hypes/>)

Bereits 2013 hatte AR den Peak an Erwartungen überschritten und bewegte sich auf das „Tal der Tränen“ zu. Bei der letzten Einstufung im Jahr 2018 (siehe Abb. 2) befand sie sich am Ende dieses Abschnitts, wobei immer noch eine Reifezeit von 5-10 Jahren bis zur Produktivität prognostiziert wurde.

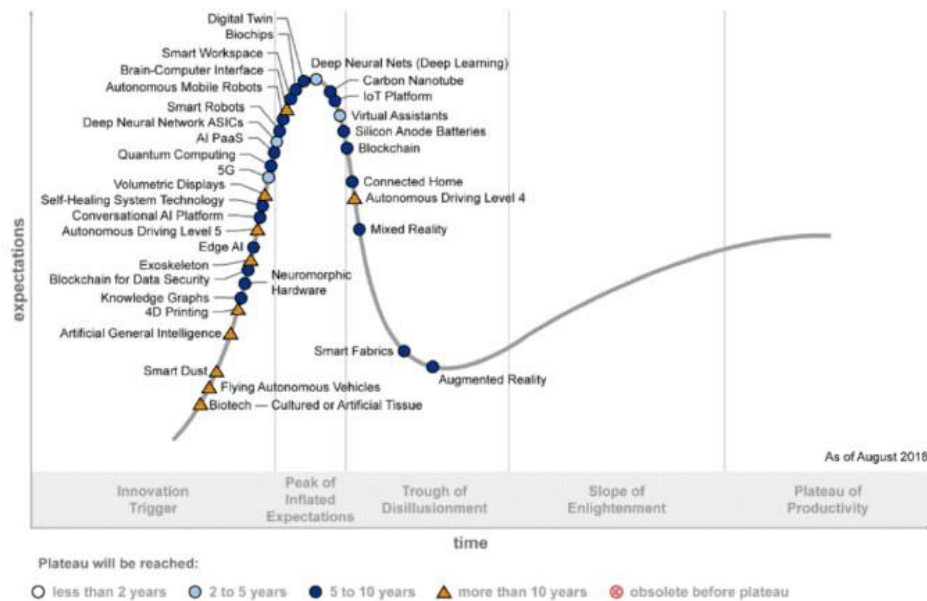


Abb. 2: Gartner-Hype-Cycle 2018

(<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>)

Daraus lässt sich erwarten, dass jetzt die Phasen kommen, in denen zunächst das Verständnis für die Vorteile der Technologie vorhanden ist und diese dann auch auf dem Markt umgesetzt wird. Daraufhin wird das Plateau der Produktivität erreicht, was impliziert, dass die Technologie akzeptiert wird, so dass diese auch produktiv genutzt werden kann (FENN et al. 2017). Auch die International Data Corporation (IDC), ein international tätiges Marktforschungs- und Beratungsunternehmen, prognostiziert besonders für AR eine rasante Marktentwicklung. Ist bei VR der Anstieg des Umsatzes von 2,1 Mrd. US-Dollar (2016) auf 18,6 Mrd. US-Dollar bereits als immens anzusehen, so wird dieser durch den Anstieg des AR Umsatzes von 0,2 Mrd. US-Dollar (2016) auf 48,7 Mrd. US-Dollar pulverisiert (STATISTA 2017).

Trotz signifikanter Vorteile der sich immer rasanter entwickelnden Technologie und den damit verbundenen Komponenten sowie einer rosigen Zukunftsprognose ist Augmented Reality der Durchbruch zu einer weit verbreiteten Anwendung noch immer nicht gänzlich gelungen. In dieser Arbeit soll nun untersucht werden, ob AR im Bereich der Ver- und Entsorgung bereits verwendet wird und welche Anwendung für öffentliche Akteure den meisten Nutzen verspricht, so dass diese dann beispielsweise in einer späteren Projektarbeit umgesetzt werden könnte. Es wird zudem überprüft, ob und wenn ja welche Vorteile es bei einer Visualisierung mit AR gegenüber einer geläufigeren 2D Ansicht gibt.

1.2 Literaturüberblick

In der Literatur finden sich einige Publikationen, die als Grundlage für die meisten folgenden Forschungsarbeiten in dieser Thematik herangezogen wurden. MILGRAM & KISHINO (1994) setzten durch ihr Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum verschiedene Technologien der Mixed Reality (AR, VR, AV) in Bezug zur realen bzw. virtuellen Welt und schufen so eine Einordnung der jeweiligen Begrifflichkeiten. Als Basiswerk speziell für den Themenbereich Augmented Reality muss AZUMA (1997) genannt werden, da hier die vorher publizierten Papers aktualisiert und als wissenschaftlicher Überblick zusammengefasst wurden. Zudem wurde AR weiter abgegrenzt und definiert und der derzeitige Stand der Entwicklung, deren Einsatz und Probleme erläutert. Ähnlich wie die Arbeit von AZUMA (1997) ist auch eine aktuellere aus dem Jahr 2014 von BILLINGHURST et al. einzuordnen. Hier wird neben einer Zusammenfassung der 50 Jahre langen Forschung und Entwicklung in AR auch eine umfangreiche Darstellung der damit verbundenen Technologien wie beispielsweise Tracking oder Rendering gegeben. Zudem sind einige gelungene AR Projekte erläutert und ein Ausblick in weitere Forschungsmöglichkeiten gegeben.

Speziell für den Themenkomplex Ver- und Entsorgung und den damit verbundenen und somit relevanten Aspekten sind folgende Publikationen zu berücksichtigen, die auch in die Betrachtung möglicher Anwendungssysteme einfließen. ROBERTS et al. (2002) zeigen in ihrer Arbeit den ersten Einsatz von AR, GPS und INS für die Visualisierung von unterirdischen Datensätzen, in diesem Fall erdverlegte Rohre und Kabel. Neben der Diskussion der Probleme, die verschiedenen Technologien zusammenzuführen und den Herausforderungen der damaligen Entwicklung (sehr sperrige und schwere Komponenten, teilweise ungenaue Datengrundlage), ist der modulare Aufbau des Prototyps hervorzuheben, der sich für die Anforderungen verschiedener Applikationen unterschiedlicher Budgets dementsprechend anpassen lässt.

RANZINGER et al. (2007) zeigen in ihrem Beitrag einen neuen Ansatz zur mobilen Bereitstellung unterirdischer Leitungsdokumentation. Dazu wird die Technologie von AR verwendet, um verdeckte und abstrakte Informationen unterirdischer Trassen intuitiv in 3D auf einem mobilen Computer zu visualisieren. Potentiale und Anforderungen eines solchen Systems werden beschrieben und ein Prototyp vorgestellt, der im Rahmen des

Forschungsprojektes *Vidente* (2006-2008, Kooperation von *GRINTEC GmbH* und dem Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen der TU Graz) entwickelt wurde. Verwendet wurde hier ein Ultra Mobile PC (*Samsung Q1*) mit einer *uEye* USB-Kamera mit speziellem Weitwinkelobjektiv und ein *u-blox ANTARIS 4* GPS (kompakter und leistungsfähige Empfangseinheit), welches die Auswertung von satellitengestützten Fehlerkorrektursignalen auf Grundlage von *EGNOS* unterstützt (Lagegenauigkeit im Bereich von 3-4 m). Um die Orientierung des AR-Clients zu bestimmen, wurde eine Inertialmesseinheit (*InterSense InertiaCube3*) mit integriertem elektronischem Kompass eingesetzt (siehe Abb. 3).

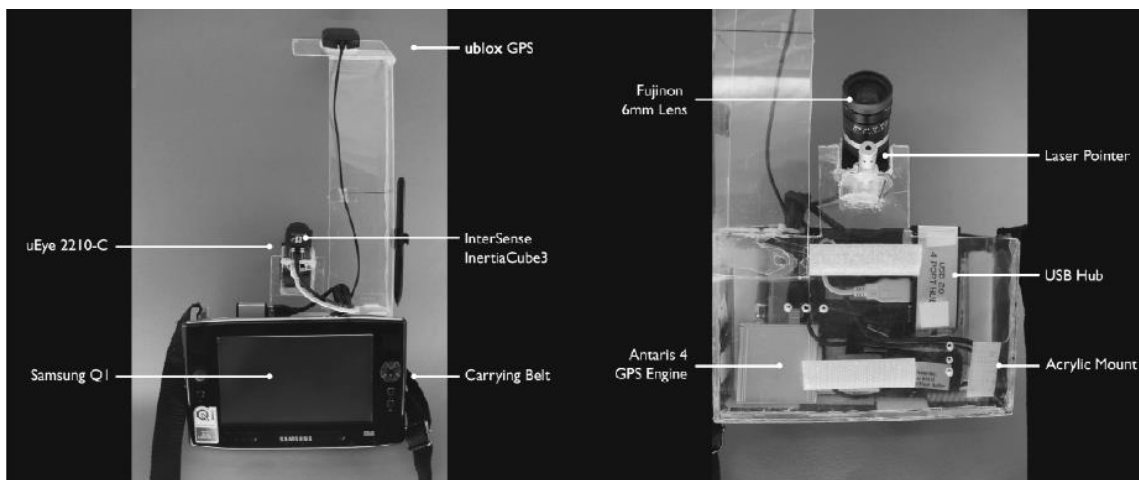


Abb. 3: Aufbau Prototyp Forschungsprojekt *Vidente*
(RANZINGER et al. 2007)

Als Grundlage für die Implementierung der Anwendung wurde *Studierstube* genutzt, ein von SCHMALSTIEG et al. (2003) an der TU Graz entwickeltes Software-Framework, das die Einbindung von Software-Hardware-Schnittstellen für die Verarbeitung von Tracking- und Video-Input unterstützt und auf das auch in späteren Projekten öfter zurückgegriffen wurde. Diskutiert werden zudem erste Einsatzversuche und die damit verbundenen Herausforderungen bei der Implementierung. Zielgruppe des Prototyps sind Außendienstmitarbeiter, denen das System in Abhängigkeit ihrer aktuellen Position und Orientierung eine graphisch plastische 3D-Echtzeitvisualisierung des vor Ort befindlichen, unterirdischen Leitungsnetzes auf einem mobilen, handheld-basiertem Computer bereitstellt. Neben den Anforderungen, die eine mobile, außendienstfähige AR-Client-Plattform benötigt, werden auch weitere Untersuchungen wie die Ableitung von 3D-Informationen aus bestehenden Geodatenbanken von Leitungsbetreibern oder die

Machbarkeit und Realisierung von Daten-Pipelines zur dynamischen Bereitstellung georeferenzierter 3D-Grafikmodellen in Echtzeit durchgeführt. Als Einsatzmöglichkeiten, die einen positiven Beitrag zur Optimierung von Geschäftsprozessen bieten, werden Instandhaltung, Auskunft, Störungsmanagement und Netzplanung aufgeführt.

Ausgehend vom eben erwähnten Projekt *Vidente* wurden einige weitere Publikationen der TU Graz durch Gerhard Schall, Dieter Schmalstieg und Erick Mendez veröffentlicht, die für weitere Forschungen ebenso eine große Relevanz darstellen. So zeigten SCHALL et al. (2008) ein mobiles AR-System für den Einsatz im Außendienst (Netzwerkplanung und -inspektion), das in der Lage ist, virtuelles Redlining (manuelles Annotieren von Papierkarten oder 2D GIS auf einem Laptop im Außendiensteinsatz) zu ermöglichen. Primäres Einsatzgebiet ist somit die Visualisierung und Interaktion von/mit Untergrundinfrastrukturen. Weiterhin wurde auf die Anforderungen des Systems, z.B. ausreichende Rechenkapazität, lange Akkulaufzeit, ergonomische Hardware eingegangen. Daraus resultierend fand auch hier ein Ultra Mobile PC (*Sony Vaio UX* mit Schalung aus leichtem ABS-Kunststoff) Verwendung, an welchem ein GPS (*Novatel OEM1 RTK*) und INS (*Inertia-Cube3*) Empfänger sowie eine hochwertige, hochauflösende Industriekamera (*UEye 2210*) angebracht wurden. Weiterhin wurden in die Griffe Joysticks und Knöpfe eingebaut, um eine Interaktion des Anwenders mit der Applikation oder den Geodaten zu ermöglichen (siehe Abb. 4).

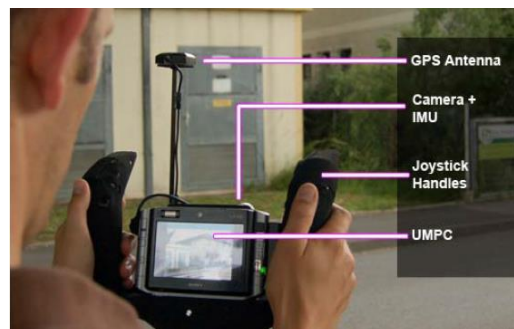


Abb. 4: Aufbau des mobilen AR-Systems
(SCHALL et al. 2008)

Als Grundlage für das System dienen 3D Modelle, die aus bestehenden 2D Datenbanken transformiert werden. Im Einsatz und der darauf basierenden Auswertung mittels Interviews wurde der Vorteil der 3D-Visualisierung besonders in Bezug auf die Tiefenwahrnehmung hervorgehoben (siehe Abb. 5).

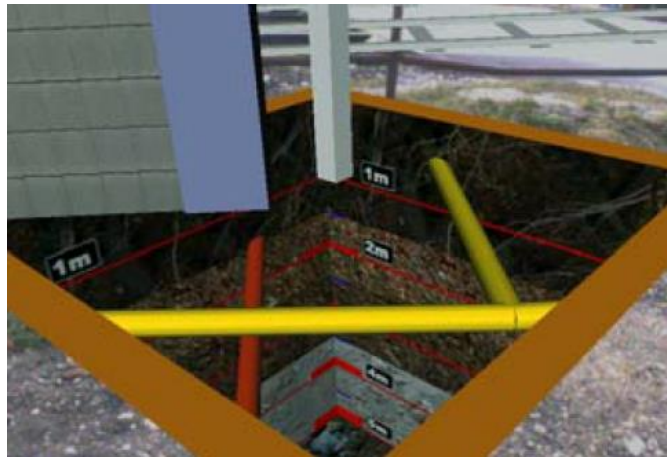


Abb. 5: 3D-Visualisierung mit verbesserter Tiefenwahrnehmung
(SCHALL et al. 2008)

Zudem konnte über eine geeignete Klassifizierung der Daten eine verbesserte Visualisierung und somit Erfassung der Objekte erzielt werden. Ebenso positiv anzumerken ist die Möglichkeit, über Screenshots Bilder zu generieren, die später als Grundlage für Diskussionen, Präsentationen oder der Dokumentation dienen.

SCHALL & MENDEZ et al. (2009) präsentieren hier ein AR-System zur Unterstützung von Außendienstmitarbeitern von Versorgungsunternehmen bei Tätigkeiten wie Wartung, Planung oder Vermessung unterirdischer Infrastruktur. Auch diese Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes *Vidente* durchgeführt. Verwendet wurde hier derselbe Aufbau, der bei SCHALL et al. (2008) bereits erläutert wurde. Hier lag der Fokus aber nicht auf der Funktionalität des Redlinings, sondern auf der detaillierten Analyse und Diskussion der Systemkomponenten und der Herausarbeitung von Problemen bei der mobilen Anwendung, die als Anstoß für weitere prototypische Anwendungen gesehen werden. Ansatzpunkte waren beispielsweise bessere ergonomische Eigenschaften des Geräts, besonders in Bezug auf Gewicht, Gleichgewicht und Griffbarkeit oder ein schlechtes GPS-Tracking in schwierigem Gelände (z.B. Straßenschluchten). Um eine Filterung der Objekte zu verbessern und diese für den Anwender kontextbezogener zu gestalten, wird eine interaktive Trennung von Fokus und Kontext gefordert, wie von KALKOFEN et al. (2007) bereits erläutert. Dadurch kann die Aufmerksamkeit des Nutzers auf Objekte im Fokus gelenkt werden, während es dennoch möglich ist, Kontextinformationen wahrzunehmen. Dies führt dazu, dass räumliche Anordnungen von verborgenen Objekten korrekt übermittelt werden, während Fokusobjekte hinsichtlich einer korrekten Okklusionsbehandlung nicht vollständig verborgen sind.

SCHALL & SCHMALSTIEG et al. legen 2009 in einer weiteren Arbeit den Fokus auf grundsätzliche Möglichkeiten für den Einsatz von MR in der mobilen Leitungsauskunft. Wie bereits mehrfach erwähnt, befasst sich das Projekt *Vidente* mit dem Forschungsziel eines ausendiensttauglichen Prototyps zur mobilen Leitungsauskunft, das hier detailliert präsentiert wird. Der Aufbau der Hardware ist bei SCHALL et al. (2008) beschrieben, der Software Framework basiert wiederum auf *Studierstube*. Verbesserungsvorschläge werden im Bereich des Trackings genannt (innovatives Sensor Fusion Modell), durch die eine höhere Trackinggenauigkeit vor allem in dicht bebauten Gebieten erzielt wird und in der optimierten Visualisierung der Tiefenwahrnehmung. Die Geodaten sind durch eine automatische Mehrphasen-Pipeline in 3D-Leitungsmodelle übersetzt, da diese in ein XML-basiertes Format konvertiert werden, was dann als 3D Modell computergraphisch visualisiert wird. Als Einsatzfelder wurden durch den prototypischen Einsatz und die gemeinsame Analyse mit Anwendern folgende Fälle betrachtet:

- Inspektion von Leitungsabschnitten
- Planung und Vorbereitung von lokalen Grabungsarbeiten (z.B. Unterstützung bzw. Optimierung von Spray-Markierungen)
- Unterstützung bei Wartungsarbeiten
- Lokalisierung von beschädigten oder defekten, unterirdisch verlegten Kabeln und Leitungen
- Vor-Ort Verifikation und Korrektur von Planungsszenarien oder Altdaten
- Korrektur oder Redlining der Geometrie oder Attribute durch intuitive Interaktion
- Datenaufnahme
- Bestandsvermessung

Ziel ist es, dadurch weniger Versuchsbohrungen und Grabungen durchführen zu müssen und schnellere und effizientere Arbeitsabläufe zu erzielen. Dies hat zur Folge, dass weniger Verkehrsbehinderungen und geringere Schäden für die Umwelt erzielt werden können.

SCHALL et al. (2010) zeigen auch hier wieder das Forschungsprojekt *Vidente*. In die bereits oben erwähnten Aspekte wie Hardware, Software Framework sind einige technologische Änderungen (z.B. verbessertes INS und Sensor Fusion Tracking) eingearbeitet. Durch den Paradigmenwechsel hin zu smarten Versorgungsnetzen, der durch die damals technologischen Innovationen möglich wurde, sind andere Anforderungen an Nutzer gestellt. Diese sind z.B. zunehmende Verfügbarkeit und Verwendung gemeinsam genutzter Daten (Datenredundanz), zunehmende Nachfrage nach zeitlicher und dynamischer Funktionalität in Geoinformationen und der Wunsch nach naturgetreuen Darstellungen von Objekten (HUISMAN & FORER 2008). Zusätzlich zu den oben aufgelisteten Einsatzmöglichkeiten von SCHALL & SCHMALSTIEG et al. (2009) ist hier die Möglichkeit einer visuellen Anleitung bei Grabungsvorgängen erwähnt. Dafür wird der *Vidente*-Client direkt auf dem Dashboard der jeweiligen Baumaschine installiert. Im Zuge der Smart Grids ist es auch möglich, Sensordaten in eine AR-Anwendung einzubetten, um komplexere hydrologische Prozesse und Vorgänge abbilden und analysieren zu können. Um möglichst viele Anwendungsfälle einzusetzen und eine genaue und einheitliche Datenhaltung zu führen, liegen Schwerpunkte der Forschung auf dem beidseitig möglichen Datenfluss und dessen Synchronisation vom Innen- zum Außendienst und umgekehrt.

In einem weiteren Beitrag von SCHALL et al. (2013) werden Szenarien und Prozesse im Tiefbau aufgezeigt und analysiert, die in Zusammenhang von Geodaten und Bestands- und Datenerfassungen (Planungen) stehen. Zu diesem Zweck wurde mobile AR-Technologie verwendet, um vor Ort die Überwachung und Vermessung von geometrischen und semantischen Attributen räumlicher 3D-Daten zu steuern. Anhand von Feldversuchen wurden solche Einsätze auch praktisch durchgeführt und anschließend evaluiert. Ausschlaggebend für diese Untersuchungen waren schlechte Datenhaltung der unterirdischen Versorgungsnetze einhergehend mit hohen Sachschäden und Personalkosten sowie massiven Störungen der Verkehrsteilnehmer in Folge von erhöhten Bauaktivitäten. Um die Anforderungen der vorher in Zusammenarbeit mit Versorgungsunternehmen erarbeiteten Use Cases (Qualitätskontrolle der Daten, Grabungsüberprüfung, Korrektur/Vermessung/Identifizierung von Versorgungsleitungen, Dokumentation von Schäden, räumliche Visualisierung von komplexen Infrastrukturprojekten) zu erreichen, wurde bei der Konstruktion des Prototyps großer Wert auf Ergonomie, Leistungsfähigkeit, Interaktion und vor allem Genauigkeit gelegt. Mit Hilfe einer Kombination

verschiedener Sensoren mit kinematischem GPS in Echtzeit konnten dadurch Genauigkeiten im Zentimeterbereich erzielt und ein zusätzlich angebrachtes Laserentfernungsmessgerät zum Vermessen genutzt werden (siehe Abb. 6).

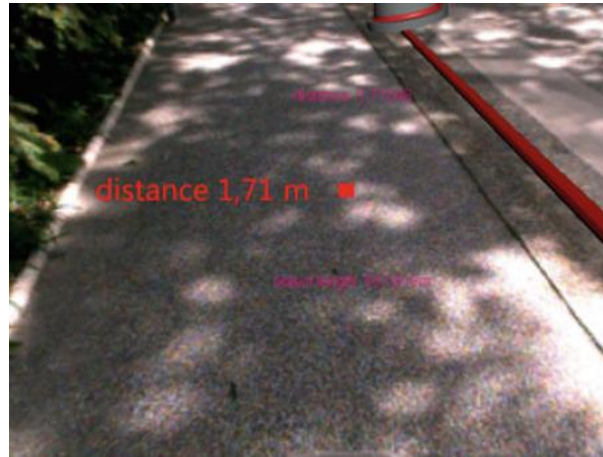


Abb. 6: Überwachung und Vermessung mit AR
(SCHALL et al. 2013)

Weiterhin wurden verschiedene Visualisierungstechniken entwickelt, insbesondere um sogenannte *Hidden Objects* sichtbar zu machen. Nach Durchführung einiger Testphasen und der damit verbundenen Evaluierung durch die Anwender konnte eine Verbesserung der Arbeitsabläufe besonders durch die verbesserte und interaktive Visualisierung (siehe Abb. 7), das Datenerfassen ohne weitere Nachbearbeitungsschritt im Büro und durch das direkte Bearbeiten der Geodaten vor Ort erzielt werden.



Abb. 7: Interaktive Visualisierung mit vor Ort Datenerfassung
(SCHALL et al. 2013)

Im Gegensatz zu den vorher erwähnten Publikationen zeigen *CHI et al. 2013* keine prototypische Verwendung/Aufbau einer AR-Anwendung, sondern fassen diese für die Gebiete Architektur, Ingenieurwesen, Bauwesen und Facility Management zusammen. Dabei liegt der Fokus auf den Technologien Lokalisierung, Natural UI, Cloud Computing und

mobilen Endgeräten. Es werden innovative Entwicklungen der genannten Thematiken, wie ein AR-Display auf einem Bauhelm oder der vermehrte, da einfachere Einsatz von Cloud Computing und mobilen Endgeräten erläutert. So wird beispielsweise eine Lösung von TALMAKI et al. (2010) diskutiert, die eine AR-Anwendung entwickelten, die über den Arbeitsbereich eines Baggers gelegt wurde, um dem Fahrzeugführer und weiteren Mitarbeitern visuelle Zusatzinformationen über unterirdische Versorgungsstrukturen zu übermitteln (siehe Abb. 8).

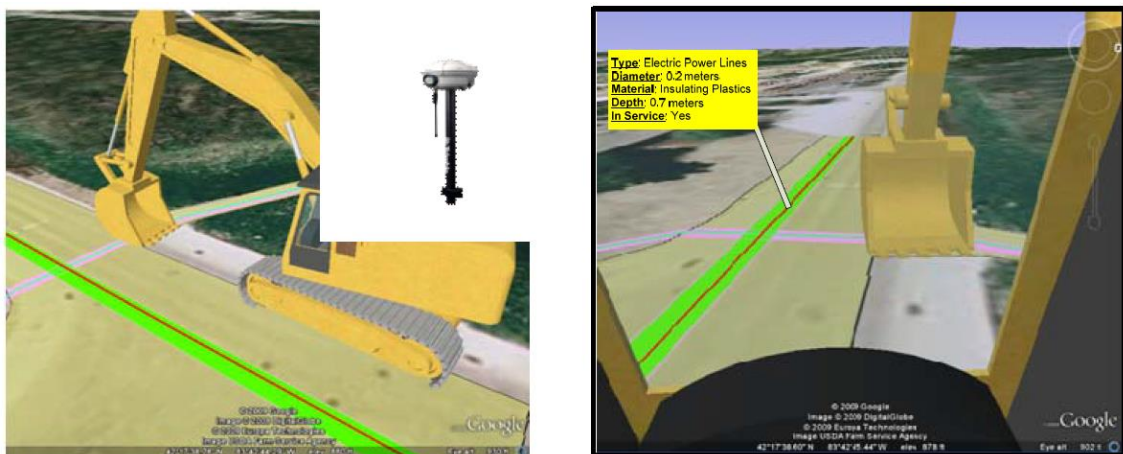


Abb. 8: AR Visualisierung über Arbeitsbereich
(TALMAKI et al. 2010)

Nach einigen Praxistests des Systems konnte festgestellt werden, dass die Sicherheit durch die zusätzliche Visualisierung deutlich erhöht war und zudem Zeit- und Kostenüberschreitungen minimiert werden konnten.

ZHANG et al. präsentieren 2016 in ihrem Artikel die wichtigsten Themen und Aspekte von Outdoor MAR und ARGIS. Besonders betont wird in diesem Zusammenhang der Vorteil, die reale Welt als eigentliche Karte zu nutzen und die GIS-Daten mit Hilfe von AR direkt zu visualisieren, um einerseits die Anforderungen an die Hard- und Software zu reduzieren und andererseits das Anwendungserlebnis zu verbessern. Um die Funktionen der einzelnen Bestandteile des gesamten System Frameworks zu optimieren, wurde eine mobile, realitätsbasierte AR-Lösung für ein unterirdisches Leitungsinformationssystem entwickelt und verschiedenen Praxistests (z.B. unterschiedliche Tageszeiten, Wetterbedingungen, Untergrundarten, Registrierungs- und Trackingmethoden wie CV oder Sensor) unterzogen (siehe Abb. 9).

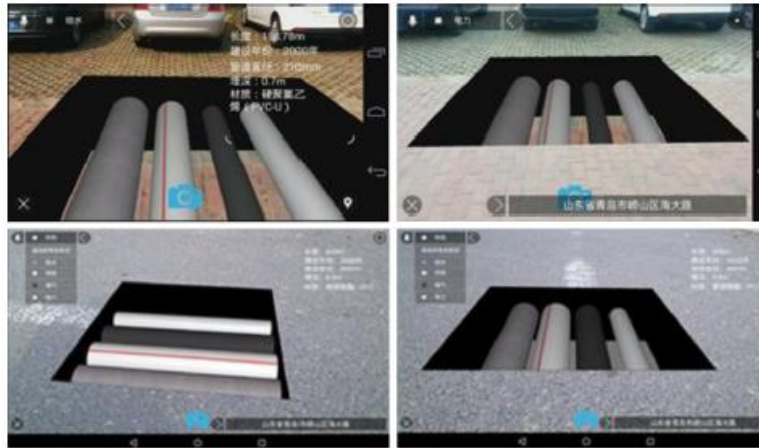


Abb. 9: unterirdisches Leitungsinformationssystem, CV-Version
(ZHANG et al. 2016)

Nach Abschluss der Evaluierung konnte so festgestellt werden, dass die CV-Version eine bessere Leistung im Virtual-Real-Fusionseffekt sowie ein interaktiveres Erlebnis erzielt. Die Sensor-Version dagegen erwies sich als robuster gegenüber Umwelteinflüssen, so dass die zukünftige Forschung in eine Kombination der beiden Varianten einsteigen sollte.

Eine andere Thematik im Fachbereich der Ver- und Entsorgung behandelten MIRAUDA et al. (2017), da hier ein mobiler AR-Prototyp, basierend auf einer Multimedia Smartphone Technologie, für die Verbesserung des Wasser Monitorings und der Unterstützung bei der Auswahl von Strategien und Maßnahmen zur Vorhersage, Vorbeugung und Minderung von Umweltschäden und /-risiken vorgestellt wird. Bei Feldversuchen zeigte sich, dass durch die Anwendung Vermessungen (auch in schwierigem Gelände, z.B. bei Hochwasser) beschleunigt und die Beschäftigung weniger spezialisierter Nutzer ermöglicht wurden. Dadurch könnten in Zukunft Prozesse und somit Arbeitszeit verkürzt und die Kosten für das Wasser Monitoring verringert werden, was zur Sicherung und korrekten Nutzung der Wasserressourcen beiträgt. Benötigt werden hierfür ein Mobilgerät mit einer Webcam und verschiedenen Sensoren (z.B. Gyroskop, GPS, Kompass) sowie Sensormessungen von hydraulischen und hydrologischen Modellen, die dann durch den Einsatz von AR georeferenziert dargestellt werden. Grundlage bildet eine mehrschichtige Systemarchitektur mit einem mobilen Frontend (Smartphone oder Tablet) und einem operativen Geodatenbereich als Backend. Der Frontend interagiert und kommuniziert mit einem Webdienst, der dann auf Anforderung des Clients die Geodatenbank abfragt. Diese gibt die Informationen an den Client zurück, so dass das Gerät die empfangenen

Daten in Echtzeit mit den Umgebungsszenen unter Berücksichtigung der Anwenderposition- und -ausrichtung zusammenführen kann. Grundsätzlich ordnet die Systemarchitektur Datenbankinformationen POIs, in diesem Anwendungsfall z.B. Messstationen, zu. Diese werden von der Kamera (see-through Technik) erfasst und über die reale Umgebung gelegt. Die Anwendung kann sowohl im Onlinemodus, der auf sämtliche Daten aus der Datenbank zugreift, als auch im Offlinemodus betrieben werden. Hier müssen die gewünschten Daten zuvor auf dem Mobilgerät gespeichert werden. Neben den bereits erwähnten Vorteilen wurden auch explizit Nachteile wie hoher Stromverbrauch und Blendung des Bildschirms bei Consumergeräten erwähnt.

Eine weitere Arbeit, die im Themenfeld der Wasserversorgung anzuordnen ist, stammt von CAO et al. (2017). Hier wurde mit Hilfe von AR versucht, das Entwässerungssystem des alten Stadtgebiets von Ganzhou (Millionenstadt in China) digital zu rekonstruieren. Die Wasserversorgung ist in vielen modernen Großstädten ein weit verbreitetes Problem, da die Entwässerung durch den hohen Versiegelungsgrad und Starkregenereignisse nicht genügend dimensioniert ist. Da das alte Stadtgebiet allerdings nie überschwemmt wurde, erhoffte man sich durch die Rekonstruktion wichtige Erkenntnisse, um das alte System mit modernen Systemen zu vergleichen, die dann daraufhin angepasst werden können. Dazu wurde zunächst das alte Entwässerungssystem (alte Pläne waren noch vorhanden) analysiert, digitalisiert, in fünf Bestandteile (Fushougou, Stausee, Stadtmauer, Gräben und Wasserfenster) untergliedert und mit ArcGIS analysiert (z.B. Wassereinzugsgebiet, durchschnittliche Querschnittsfläche von Entwässerungsgräben, Fassungsvermögen des Wasserspeichers). Für die Entwicklung des AR-Systems wurde AR-Toolkit verwendet, so dass folgende Funktionen möglich wurden:

- Visuelle Überlagerung der georeferenzierten Daten und Bildern
- Abfrage von Attributinformationen des Rohrgrabens
- Navigation
- Raumanalysen, wie z.B. dreidimensionale Rohrgrabenanalyse zur Bestimmung relevanter Abstände
- Analyse der Rohrstopfen

Nach Beendigung des Forschungsprojektes konnten so eine Vielzahl von Maßnahmen (z.B. angepasste und nachhaltige Stadtplanung, Stärkung der Kombination von Wasserspeicherung und Entwässerung, andere Dimensionierung und Material der Rohrleitungen) getroffen werden, um die Problematik bezüglich des neuen, städtischen Entwässerungssystems zu entschärfen.

Li et al. (2018) konzentrieren sich in ihrer Arbeit auf das Rendering von unterirdischen Versorgungsstrukturen, basierend auf dem BeiDou Navigation Satellite System und gleichzeitiger Lokalisation und Kartenerstellung. Durch Differentialkorrekturen, die vom bodengestützten AR-System empfangen wurden, konnten so genauere Benutzerkoordinaten in Echtzeit erfasst werden. Zudem wurde Visual-Inertial Odometry verwendet, um ein stetiges, dynamisches Tracking der Versorgungsleitungen auch in relativ markerlosen Umgebungen zu ermöglichen (siehe Abb. 10).

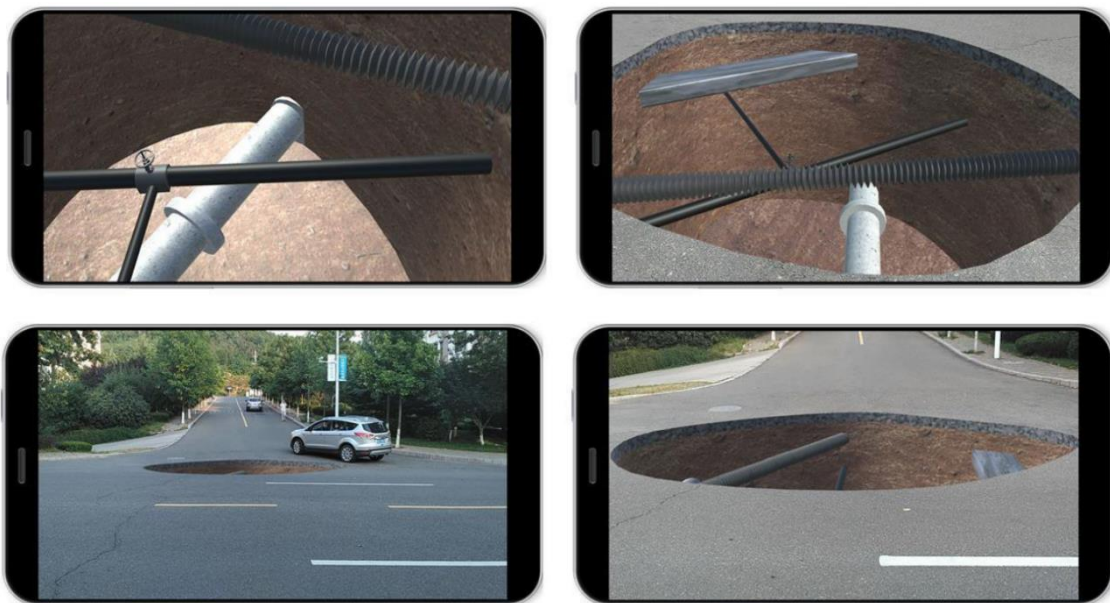


Abb. 10: AR Ansicht bei dynamischem Tracking in markerloser Umgebung
(Li et al. 2018)

Verwendet wurde ein Smartphone (*Lenovo Phab 2*), welches mit einer 16-Millionen Pixel Kamera ausgestattet ist und eigene Bewegungsinformationen erfassen kann. Zudem ist die Ansicht relativ breit, so dass mehr Umgebungsmerkmale empfangen werden können, was zu einer Stabilisierung des Modelltrackings beiträgt. Weiterhin verfügt es über eine Tiefenkamera, mit der Infrarotstrukturen gesendet und empfangen werden können. Durch das Arbeiten mit dem Sensoralgorithmus kann die Entfernung und die Größe

des Objektes ermittelt und sogar eine 3D-Rekonstruktion der Umgebung erstellt werden. Anstelle von RTK wird ein Handheld, das per Bluetooth mit dem Smartphone verbunden ist, verwendet, um Differentialkorrekturen zu empfangen. Die daraus berechneten Endkoordinaten werden dann an den Datenserver gesendet und je nach Standort die dementsprechenden Pipelinedaten zurückgeschickt. Die Breiten- und Längengradkoordinaten werden dann vom Endgerät in Weltkoordinaten von *Unity3D* umgewandelt. Im statischen Betrieb erreicht das Smartphone das Tracking der Objekte ausschließlich durch Berechnung seiner eigenen Position, im dynamischen Modus fließt die Kameraorientierung und die Position aus der VIO mit ein. Durch eine 3D-Rekonstruktion der Umgebung können dann transparente Texturen der Pipelines passender visualisiert werden (siehe Abb. 11)



Abb. 11: 3D Rekonstruktion für bessere Texturierung
(Li et al. 2018)

Tatsächlich gibt es bereits viele Forschungsarbeiten, die sich mit dem Einsatz von AR oder speziellen Anforderungen an das System für das breit gefächerte Themengebiet der Ver- und Entsorgung beschäftigen. Allerdings muss auch erwähnt werden, dass sich diese hauptsächlich auf mobile Leitungsdokumentation und Visualisierung von unterirdischen Versorgungsleitungen im Außenbereich beziehen. Viele andere Tätigkeiten wie das Durchführen und Überwachen von horizontalen Richtungsbohrungen oder der Indoor-Einsatz sind nach Abschluss der Literaturrecherche bis jetzt nicht mit AR Technologie in Verbindung gesetzt (FENAI et al. 2018) oder werden nur am Rande erwähnt. Dieses Kapitel stellt somit auch die Grundlage für die spätere Erstellung des repräsentativen und abgeleiteten Systems sowie des damit verbundenen Diagramms dar, was im weiteren Verlauf der Arbeit durch eine quantitative Befragung überprüft und ergänzt wird.

1.3 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit soll gezeigt werden, ob und inwieweit Augmented Reality im Bereich der Ver- und Entsorgung in der öffentlichen Verwaltung eingesetzt werden kann oder bereits eingesetzt wird. Dabei steht zunächst die Erstellung eines, durch die Bestands- und Bedarfsanalyse ermittelten, repräsentativen Systems als zentrales Ziel im Vordergrund. Zudem sollen dann durch eine Wahrnehmungsstudie praxisorientiert Vor- und Nachteile von einer 2D Kartenansicht und AR Visualisierungen ermittelt werden, die in Verbindung mit dem analysierten System als Ansatzpunkt für eine spätere prototypische Anwendungsentwicklung dienen.

Grundlage hierfür bilden folgende operative Teilschritte.

Zunächst wird (1) über eine detaillierte Literaturrecherche und Stakeholderanalyse neben bereits erfolgten prototypischen Anwendungen auch der aktuelle Einsatz abgefragt und zudem ermittelt, (2) in welchem Bereich/Anwendungsgebiet innerhalb der Ver- und Entsorgung der größte Bedarf für die Verwendung einer AR-Anwendung besteht. Daraus kann (3) ein geeignetes und repräsentatives Anwendungssystem abgeleitet werden. Durch eine (4) Wahrnehmungsstudie, die 2D und AR Visualisierungen miteinander vergleicht, sollen Vor- bzw. Nachteile aufgezeigt und ein möglicher Einsatz kritisch hinterfragt werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in 5 Kapitel, welche nachfolgend kurz erläutert werden.

In Kapitel 1 (siehe S. 1 ff) erfolgt die Hinführung zum Thema über einen Aufriss des aktuellen Forschungsstandes. Ebenso werden die Relevanz der Arbeit sowie deren Zielsetzung und Forschungsfragen behandelt. Der derzeitige Forschungsstand stellt zudem einen essentiellen Bestandteil der Bestands- und Bedarfsanalyse sowie des daraus resultierenden Anwendungssystems dar.

Der gesamte Themenkomplex Augmented Reality und dessen technologische Grundlagen wie Tracking, Hardware, Software werden in Kapitel 2 (siehe S. 18 ff) beschrieben.

Daneben wird auch ein Blick auf die historische Entwicklung geworfen und weitere Anwendungsgebiete aufgezeigt.

Das Forschungsdesign wird in Form der verwendeten Methodik und Konzeption in Kapitel 3 (siehe S. 53 ff) dargelegt. Dafür werden beide Forschungsbestandteile der Arbeit betrachtet. Für die Bestandsanalyse, die die Grundlage für die Entwicklung und Ausführung des Modellsystems bildet, werden Messebesuche und die dort geführten Interviews näher erläutert. Dazu wird der Fragebogen mit seiner Intention, Zielgruppe und Inhalten beschrieben sowie die Theorie von Anwendungsfällen und dazugehörigen Diagrammen erläutert. Der zweite Forschungssteil der Arbeit resultiert aus den Ergebnissen der Bestandsanalyse und ist in Form einer Wahrnehmungsstudie, Vergleich von 2D und AR Visualisierung, gestaltet, wobei zu Beginn ein kurzer Aufriss über die Grundlagen der visuellen Wahrnehmung erfolgt. Daraufhin werden die notwendigen Arbeitsschritte von der Erfassung der Testdaten über deren Bearbeitung bis hin zur endgültigen Visualisierung näher definiert. Zudem werden verwendete Soft- sowie Hardwares dargelegt und hinsichtlich ihrer Auswahl diskutiert. Zum Ende dieses Kapitels werden die Aspekte des Fragebogens der Wahrnehmungsstudie behandelt.

Die aus der Literaturrecherche und weiteren durchgeführten Analysen (siehe Kapitel 3, S. 53 ff) gewonnenen Ergebnisse werden in Kapitel 4 (siehe S. 91 ff) präsentiert. Auch hier findet wiederum eine Aufteilung der beiden Forschungsbestandteile statt, so dass zunächst die Ergebnisse der Bestandsanalyse näher diskutiert werden, bevor das daraus resultierende modellierte System näher betrachtet wird. Abschließend liegt der Fokus auf der Ergebnissicherung der Wahrnehmungsstudie.

In Kapitel 5 (siehe S. 108 ff) steht die Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse im Vordergrund, anhand derer die Zielsetzung der Arbeit beantwortet und kritisch hinterfragt wird. Abschluss der Arbeit bildet ein Ausblick auf den Einsatz von Augmented Reality in der öffentlichen Ver- und Entsorgung.

2 AUGMENTED REALITY - GRUNDLAGEN

Im nachfolgenden Kapitel wird die Technologie Augmented Reality sowie deren Historie und der derzeitige Einsatz näher beschrieben und eine Abgrenzung von verwandten Begriffen vorgenommen.

2.1 Begriffsklärung und Definitionen

Übersetzt man den englischen und verwendeten Terminus Augmented Reality frei in die deutsche Sprache, so erhält man den Begriff „Erweiterte Realität“. Basis für den heutigen Stand der Forschung bildet das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (siehe Abb. 12) MILGRAM & KISHINO (1994), bei dem sich die Autoren auf die Analogie von Erweiterter und Virtueller Realität (VR) beziehen.

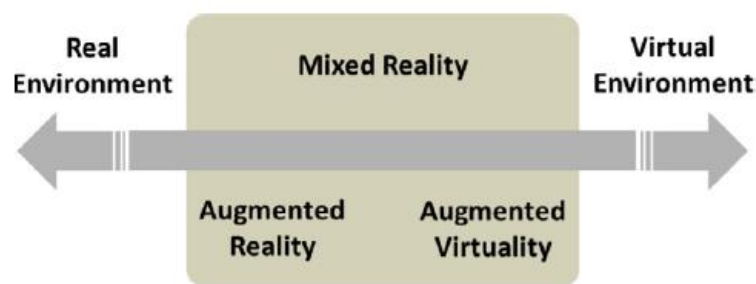


Abb. 12: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum von MILGRAM & KISHINO 1994
(BEHZADAN et al. 2008)

Innerhalb des Kontinuums findet AR als Teilbereich der Mixed Reality (MR) einen Platz zwischen der Realität und der Virtualität. Im Gegensatz zur Augmented Virtuality (AV, Erweiterte Virtualität), bei der eine virtuelle Umgebung mit einem realen Objekt dynamisch angereichert werden kann, orientiert sich AR stärker an der realen als an der virtuellen Welt. Während bei VR der Nutzer komplett in eine virtuelle Welt/Umgebung eintaucht und von der realen Umgebung mit allen Sinneswahrnehmungen abgeschnitten ist (z.B. VR-Gaming), besteht bei AR die Idee, dass der Anwender seine reale Umgebung wahrnimmt und dennoch von virtuellen Dingen umgeben ist (AZUMA 1997). Bezüglich der Erweiterung der Wahrnehmung wird in der Forschung keine Einschränkung hinsichtlich der Sinneswahrnehmungen gemacht (d.h. visuell, taktil, akustisch, ...), wobei allerdings festzustellen ist, dass in der Regel eine visuelle Erweiterung thematisiert und

angewandt wird. Abzugrenzen sind zudem die Begriffe Diminished und Mediated Reality, welche nach AZUMA et al. (2001) als Unterkategorien von AR betrachtet werden. Hier werden reale Objekte von virtuellen Objekten ganz oder teilweise überlagert beziehungsweise reale Elemente bei der Visualisierung entfernt (VAN KREVELEN & POELMAN 2010).

Die allgemein verwendete und für die weitere Forschung zumeist akzeptierte Definition von AZUMA (1997) beschreibt Augmented Reality als eine Variation von virtuellen Umgebungen, da virtuelle dreidimensionale Objekte in Echtzeit in eine reale 3D- Umgebung integriert sind.

2001 aktualisierten AZUMA et al. die Definition, indem sie die Objekte auf grafische Komponenten reduzierten und drei wesentliche Eigenschaften festlegten. Ein AR-System kombiniert reale und virtuelle Objekte in einer realen Umgebung, ist interaktiv in Echtzeit und schafft einen dreidimensionalen Bezug von virtuellen und realen Objekten.

MUNRO et al. (2017) definieren Augmented Reality als Medium, in dem digitale Informationen die physische Welt überlagern, sowohl räumlich als auch zeitlich erfasst/registriert und interaktiv in Echtzeit.

2.2 Geschichtlicher Überblick

Die ersten Entwicklungen, aus denen später AR hervorgehen sollte, gehen bis in die 1950er Jahre zurück, als sich Morton Heilig (Kameramann) überlegte, dass Kino ein Erlebnis sein kann, bei dem der Zuschauer mit allen seinen Sinnen in die Aktivität eines Bildschirms eingebunden wird. 1962 baute er einen Prototyp („Sensorama“) seiner Vision, die er 1955 in „The Cinema of the future“ beschrieb und leitete damit die digitale Datenverarbeitung ein (HEILIG 1992).

Kurz danach (1966) entwickelte Ivan Sutherland gemeinsam mit Bob Sproull an der Harvard Universität und der Universität Utah das Head Mounted Display (siehe Abb. 13). Zwei Jahre später konnte er als erster ein AR-System auf Basis eines optischen, durchblickenden HMD in Verbindung mit einem mechanischen Tracking realisieren, mit dem

es bereits möglich war, dreidimensionale Grafiken zu erzeugen, die der realen Welt überlagert schienen.

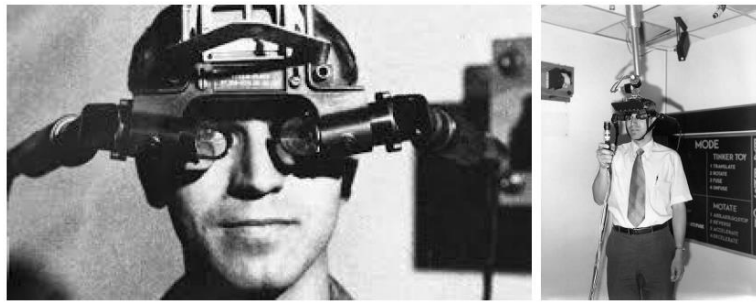


Abb. 13: Sword of damocles von SUTHERLAND 1968
(BILLINGHURST et al. 2014)

Dies zeigt auch folgendes Zitat von Sutherland.

*"The user of one of today's visual displays can easily make solid objects transparent –
he can see through matter"*

(SUTHERLAND 1968)

Diese Arbeit spielte für die weitere Forschung im Bereich der VR eine wichtige Rolle. Für die meisten Forschungen in AR wurden während der 1970er und 1980er Jahre allerdings relevante Produkte eher in militärischen und staatlichen Institutionen geschaffen (BILLINGHURST et al. 2014). 1975 gelang es dann erstmals Myron Krueger mit seiner Installation *Videoplace*, dass Anwender mit virtuellen Objekten interagieren konnten (KRUEGER et al. 1985). Es dauerte bis in die frühen 1990er bis der Begriff Augmented Reality eingeführt wurde. CAUDELL & MIZELL (1992), Wissenschaftler von Boeing, entwickelten ein AR-System zur Unterstützung der Mitarbeiter bei der Zusammenstellung von Kabelbäumen (siehe Abb. 14).

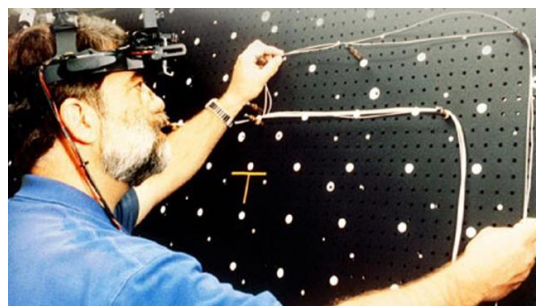


Abb. 14: AR-System zur Unterstützung bei der Zusammenstellung von Kabelbäumen
(CAUDELL & MIZELL 1992)

Im selben Jahr baute L.B. Rosenberg in den U.S. Air Force Armstrong Labs ein AR-System (*Virtual Fixtures*), das durch die Überlagerung sensorischer Informationen die menschliche Leistung des Menschen bei direkt ausgeführten und ferngesteuerten Aufgaben verbessern sollte (ROSENBERG 1992). FEINER et al. (1993) entwickelten *KARMA* (Knowledge based Augmented Reality for Maintenance Assistance), ein System für die Empfehlung automatisch geeigneter Anweisungssequenzen für Reparatur- und Wartungsvorgänge (siehe Abb. 15).

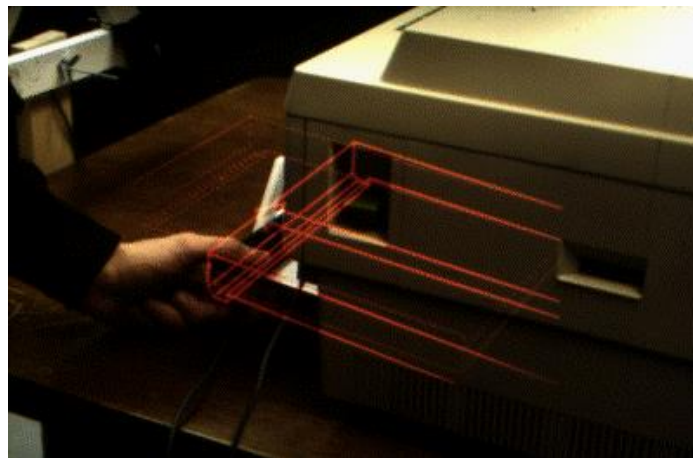


Abb. 15: AR-System KARMA
(FEINER et al. 1993)

Gegen Mitte/Ende der 1990er Jahre wurde die Forschung dann energischer vorangetrieben, die für die weitere Entwicklung von AR-Technologien wie Tracking, Anzeigen und Interaktion von großer Bedeutung waren (BILLINGHURST et al. 2014) oder den Begriff innerhalb der MR abgrenzten und definierten (siehe Kap. 2.1, MILGRAM & KISHINO 1994). Hervorzuheben hierfür sind AZUMA 1997 mit seinem Grundlagensurvey (siehe Kap. 2.1), REKIMOTO 1998 (Entwicklung des ersten, wenn auch noch kabelverbundenen, mobilen AR-Handheld Display), BILLINGHURST et al. (1997; 1998) und SZALAVÁRI et al. (1998), die untersuchten wie AR verwendet werden könnte. Sie entwickelten Systeme (*NaviCam*, *Studierstube*), die den Anwendern ermöglichten, gemeinsam AR-Inhalte anzuzeigen und mit diesen zu interagieren. Besonders *Studierstube* muss im Hinblick auf die Thematik Ver- und Entsorgung genannt werden, da der Software Framework oftmals die Basis für spätere Anwendungen in diesem Bereich darstellte. Zu dieser Zeit begannen auch diverse AR-Konferenzen, darunter der *International Workshop and Symposium on Augmented Reality*, das *International Symposium on Mixed Reality* und der *Designing Augmented Reality Environments Workshop* sowie die Bildung von Organisationen wie das

Mixed Reality Systems Laboratory (MRLab) in Nottingham und das *Arvika-Konsortium* in Deutschland (VAN KREVELEN & POELMAN 2010), welches die Entwicklung von AR-Technologien zur Unterstützung von Arbeitsprozessen in Entwicklung, Produktion und Service für komplexe technische Produkte und Anlagen vorantrieb (FRIEDRICH 2002). Bis dahin war AR-Software nur innerhalb spezieller Forschungslabors verfügbar, was sich allerdings mit der Veröffentlichung von ARToolKit (1999), der ersten Open Source Software Plattform für AR änderte (KATO & BILLINGHURST), die auch heute im Schnitt noch ca. 1.000 x pro Monat heruntergeladen wird (SOURCEFORGE). Im selben Jahr zeigten auch HÖLLERER et al. mit *MARS* (Mobile Augmented Reality System) ein mobiles AR-System, das verschiedene Benutzeroberflächen verwendet und sowohl Outdoor als auch Indoor die Überlagerung, Interaktion und Verwaltung von räumlichen Daten in der realen Welt ermöglicht. Ein Jahr später folgte dann mit *ARQuake* (siehe Abb. 16) das erste mobile, Outdoor AR-Game (THOMAS et al. 2000), das auf dem *International Symposium for Wearable Computers* vorgestellt wurde.



Abb. 16: Ansichten ARQuake
(PIEKARSKI et al. 2004)

Nach 2000 entwickelte sich die Technologie im Bereich der Handys und mobilem Computing rasant weiter, was dazu führte, dass WAGNER & SCHMALSTIEG 2003 das erste Handheld AR-System präsentierten, welches autonom auf einem PDA ausgeführt wurde, dem Vorläufer der heutigen Smartphones. Im Jahr 2009 kommt es dann zu einem Wendepunkt, da sich AR von einer nahezu ausschließlich in der Forschung angewandten Technologie zu einer kommerziellen Verfügbarkeit veränderte. Dies begründete zum einen die Portierung der ARToolkit Library in Adobe Flash, zum anderen die Entwicklung der Smartphones (besonders iPhone ab 2007 sowie Android Plattform ab 2008) und die Verwendung von AR im Bereich globaler Marketingkampagnen (BILLINGHURST et al. 2014). Spätestens mit der Veröffentlichung des AR-Games *Pokémon GO* im Jahr 2016 (siehe Abb. 17), das wahrscheinlich bis heute noch die meist verwendete und bekannte mobile

AR-Anwendung darstellt, ist diese Technologie auch der breiten Bevölkerung bekannt (BOULOS et al. 2017; ALHA et al. 2019).

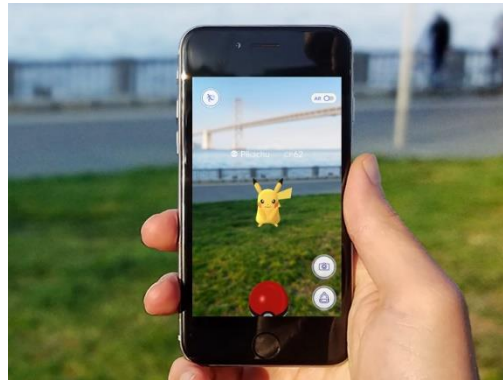


Abb. 17: Pokémon Go

(<https://www.notebookcheck.com/Pokemon-Go-Handy-Spiel-wird-zum-Goldesel.171276.0.html>)

Um die Technologie im Bereich der Ver- und Entsorgung und generell in vielen nicht prototypischen Lösungen mit geographischem Datenhintergrund einsetzen zu können, bedurfte es zunächst der Möglichkeit einer mobilen AR-Lösung. Da mobile Anwendungen wie erwähnt erst Mitte der 2000er Jahre vermehrt eingesetzt wurden, kamen dementsprechend viele prototypische Systeme erst zu dieser Zeit auf (siehe Kap. 1.2). Da heutzutage besonders mobile AR-Systeme gefragt (CHATZOPOULOS et al. 2017) und auch die Endgeräte für alle Nutzergruppen verfügbar sind, ist der Fokus besonders auf diesen Anwendungsbereich zu legen (AZUMA et al. 2011). Fortschritte in z.B. Mobile Computing, Cloud Computing oder Network Caching ermöglichen neue Formen der Nutzererfahrungen. Inzwischen ist der Mensch mit Hilfe der Technik in der Lage, verschiedenste Informationen von Mobilgeräten mit den eigenen Sinnen zu verschmelzen, was vorher in dieser Intensität und Varianz nicht möglich war (DE SA & CHURCHILL 2012; CHATZOPOULOS et al. 2017).

2.3 Technische Komponenten

Zum besseren Verständnis und Einordnung der aktuellen Möglichkeiten und Gegebenheiten beschäftigt sich das folgende Kapitel mit einer Zusammenfassung der verschiedenen technischen Komponenten einer AR Anwendung, wobei der Fokus auf MAR gelegt wird, da hier nach aktuellem Stand der Forschung das größte Einsatzpotential im Bereich der Ver- und Entsorgung gegeben ist. Auch wenn die technologischen

Anforderungen rapide gestiegen sind, sind es immer noch die selben Schlüsselkomponenten wie bei der Pionierarbeit von SUTHERLAND (1968), die zum Aufbau eines AR-Systems benötigt werden.

So ist es für den Anwender notwendig, ein Anzeigesystem (Hardware) einzusetzen, das mit Hilfe eines speziellen Software-Framework GIS-Daten von einem Datenbanksystem erhält und mittels Szenengenerator visualisiert. Zudem muss ein Tracking-/Registrierungssystem verwendet werden, das die genaue Position des Geräts und des erfassenden Objektes mit mehreren Sensoren bestimmt (siehe Abb 18).

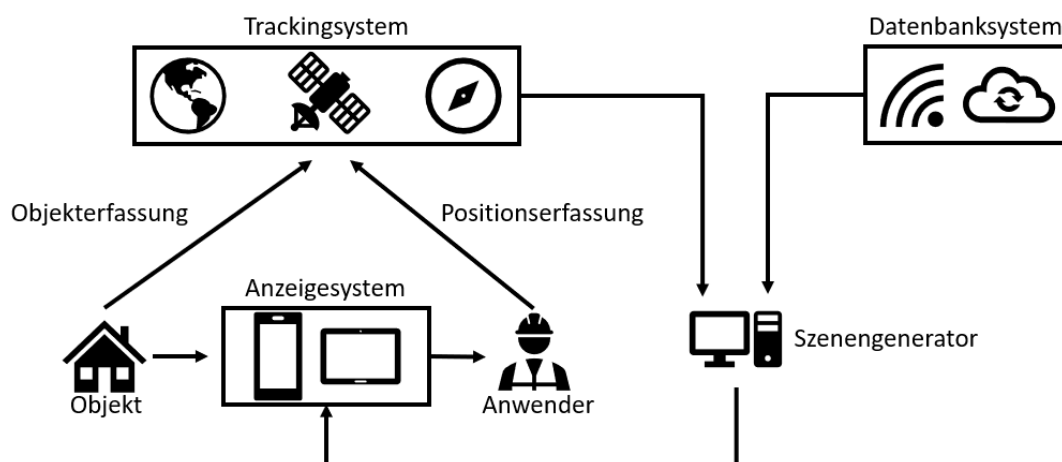


Abb. 18: Schematischer Aufbau AR-System
(eigene Darstellung)

2.3.1 Tracking und Registrierung

„Tracking and registration is the process to evaluate current pose information so as to align virtual content with physical objects in real world“

(CHATZOPOULOS et al. 2017)

Bevor ein AR-System virtuelle Objekte in einer realen Umgebung darstellen kann, muss das System in der Lage sein, die Realität zu erfassen und die Bewegungen des Nutzers mit den sechs Freiheitsgraden (*six degrees of freedom: x,y,z for position and yaw, pitch, roll for orientation*) zu verfolgen (VAN KREVELEN & POELMAN 2010).

Grundsätzlich besteht der Registrierungsprozess aus vier wesentlichen Schritten (BEHZADAN et al. 2015):

1. Positionierung des Ansichtsvolumen (definiert das dreidimensionale Raumvolumen, das nach einer Projektion in das Ansichtsfenster passt) der Augen des Benutzers im globalen Koordinatensystem
2. Positionierung der virtuellen Objekte im globalen Koordinatensystem
3. Bestimmung der Form des Ansichtsvolumens
4. Konvertierung des Koordinatensystems der virtuellen Objekte vom globalen Koordinatensystem in das Koordinatensystem des Benutzerauges

Der Prozess kann in *sensor-based* und *vision-based* Tracking/Registrierung unterschieden werden, wobei es viele verschiedene Methoden jeder Art gibt (ZHANG et al. 2016). Der Großteil der Registrierungsmethoden basiert allerdings auf visionsbasierten Modellen, welche für Outdoor-AR-Systeme aufgrund der großen Räumlichkeit und Vielzahl der Objekte nur sehr schwer zu implementieren sind, so dass oftmals kombinierte Varianten entwickelt werden (WEI et al. 2016).

Grundsätzlich kann angemerkt werden, dass die Illusion dann am eindrucklichsten ist, wenn die Integration der virtuellen Objekte in die reale Umgebung so genau wie möglich ist (KLEIN & MURRAY 2007), was dazu führt, dass das Tracking oftmals die technologische Herausforderung bei der Entwicklung einer mobilen AR-Anwendung ist (SCHALL et al. 2010). Allerdings ist hier die erforderliche Genauigkeit stark von der Art des zu entwickelnden Systems bzw. des Einsatzgebietes abhängig (CARMIGNIANI et al. 2011).

sensor-based Tracking/Registration

Die sensorgestützten Methoden beinhalten hauptsächlich magnetsensorische, inertialsensorische (Beschleunigungsmesser/Trägheit, Gyroskop) und elektromagnetische (z.B. GPS) Techniken (siehe Tab. 1). Während ein Erdmagnetsensor oder ein GPS die Orientierung und die dreidimensionale Position im globalen Koordinatensystem sichern können, muss der Inertialsensor regelmäßig kalibriert werden, da dieser nur eine relative Position halten kann und sich sonst Fehlerwerte akkumulieren (You et al. 2018).

Bei magnetischem Tracking nutzt das Gerät die Eigenschaften von Magnetfeldern (i.d.R. Erdmagnetfeld), um die Position des Empfängers in Bezug auf den Sender, der als Ankerposition der realen Welt dient, zu ermitteln (BILLINGHURST et al. 2014). Viele mobile AR-Anwendungen nutzen diese Technologie, um die Ausrichtung des Geräts festzulegen (CHATZOPOULOS et al. 2017). Magnetbasierte Tracker weisen eine hohe Aktualisierungsrate und sind unabhängig von Okklusion und anderen optischen Störungen (BILLINGHURST et al. 2014). Das magnetbasierte Verfahren hat allerdings große Probleme durch Verzerrungen bei Einfluss von elektromagnetischen Feldern und muss mit anderen Methoden kombiniert werden, um alle sechs Freiheitsgrade zu ermöglichen (CHATZOPOULOS et al. 2017).

Beschleunigungsmesser/Trägheitsmesser und Gyroskop zählen zu den inertialsensorischen Methoden und wie GPS und RTK GPS als Teil von Hybridtrackingsystemen verwendet, die keine Vorbereitung der Umgebung benötigen (VAN KREVELEN & POELMAN 2010). IMU (Interial Measurement Unit) Sensoren werden eingesetzt, um neben der relativen Ausrichtung auch die Geschwindigkeit eines verfolgten Objektes zu ermitteln (BILLINGHURST et al. 2014). Die Methode hat gegenüber anderen große Vorteile, da sie nahezu keine Reichweitenbeschränkung besitzt. Zudem ist sie unanfällig gegenüber Okklusion und anderen Interferenzen/Störquellen (BILLINGHURST et al. 2014; CHATZOPOULOS et al. 2017). Allerdings müssen Intertialsensoren regelmäßig kalibriert und mit den Daten des Ausgangszustandes versehen werden, da sie mit der Zeit in Position und Orientierung abdriften (CHATZOPOULOS et al. 2017). Aufgrund dieser Tatsache sollten Inertialsensoren mit anderen, korrigierenden Sensoren verwendet werden, wenn sehr genaues Tracking erforderlich ist (BILLINGHURST et al. 2014).

Zu elektromagnetischen Trackingmethoden gehören neben den bekannten Methoden GPS, RTK GPS auch Wi-Fi, Infrarot und Bluetooth. Diese ermitteln die Position anhand des Zeitpunkts des Eintreffens und der empfangenen Stärke der elektromagnetischen Signale oder der Phasendifferenz der elektromagnetischen Signale. Wi-Fi, Infrarot und Bluetooth werden allerdings nur sehr spärlich für relevante Anwendungen eingesetzt, da entweder die Genauigkeit zu niedrig ist (Wi-Fi) oder bekannte/aufgenommene Umgebungen erforderlich sind. Zudem ist die Technik zu störanfällig (Infrarot) oder weist zu niedrige Übertragungreichweiten (Bluetooth) auf (CHATZOPOULOS et al. 2017). GPS-Technologie dagegen ermöglicht die Positionsbestimmung im Außenbereich über den

größten Teil der Erdoberfläche, wobei die durchschnittliche Genauigkeit bei etwas unter 3 m liegt (BILLINGHURST et al. 2014). Wird also ausschließlich ein GPS verwendet, besteht das Problem, dass sich sowohl Indoor als auch in städtischer Umgebung ungenaue Positionsbestimmungen aufgrund von Abschirmungen (z.B. Gebäude) ergeben. Somit ist es für komplexe Ver- und Entsorgungsnetz innerhalb der Stadt als singulär eingesetzte Methode zu vernachlässigen (CHATZOPOULOS et al. 2017). Allenfalls wird es in Anwendungen eingesetzt, bei denen eine genaue Positionsregistrierung nicht erforderlich ist oder es mit anderen Trackingmethoden kombiniert werden kann. Verwendet man dagegen ein RTK GPS, kann die Genauigkeit bereits in den Zentimeterbereich verbessert werden (VAN KREVELEN & POELMAN 2010; BILLINGHURST et al. 2014).

Tab. 1: Übersicht der sensorbasierten Trackingmethoden
(angepasst nach CHATZOPOULOS et al. 2017)

Methode	Sensor	Abdeckung	Genauigkeit	Lokalität
Inertial	Beschleunigungsmesser/Trägheitsmesser	Überall	0,01 m	Innen/Außen
	Gyroskop	Überall (Problem: starke elektromagn. Felder)	0,2 °	Innen/Außen
Elektromagnetisch	Wi-Fi	~ 90 m	2,5 m	Innen
	Infrarot	~ 6 m	0,03 – 0,1 m	Innen
	Bluetooth	~ 10 m	0,1 - 10 m	Innen
	GPS	Überall (Problem: Abschirmungen)	~ 3m	Außen
	RTK GPS	Überall (Problem: Abschirmungen)	~ 0,01 m	Außen
Magnetisch	Magnetometer	Überall (Problem: starke elektromagn. Felder)	0,5 °	Innen/Außen

Im Allgemeinen zeichnen sich sensorgestützte Verfahren durch eine hohe Aktualisierungsfrequenz aus, einhergehend mit geringen Verzögerungen. Dadurch kann der Einsatz auch in weitläufigen Gebieten erfolgen, wobei anzumerken ist, dass die Genauigkeit oft nicht so hoch ist wie bei visionsbasiertem Tracking (You et al. 2018). Für die Verwendung im Bereich der Ver- und Entsorgung sind aufgrund der gegebenen Voraussetzungen Kombinationen von Intertialsensoren, Magnetsensoren und GPS/RTK GPS sinnvoll, was als Hybrid Tracking bezeichnet wird.

vision-based Tracking/Registration

Mit dieser Technologie werden die Positionen des Anwenders sowie des Objektes anhand von Daten bestimmt, die von optischen Sensoren erfasst wurden (BILLINGHURST et al. 2014). Grundsätzlich wird zwischen markerbasierten und markerlosen Methoden unterschieden (CHATZOPOULOS et al. 2017).

Visionsbasierte Methoden erfordern allerdings in der Regel mehr Rechenleistung und sind sehr abhängig von verschiedenen Umweltfaktoren wie Licht oder Wetterverhältnissen und bedürfen im Gegensatz zu kombinierten sensorbasierten Lösungen einer intensiven Vorbereitung der Umgebung (You et al. 2018).

Bei der markerbasierten Methode, eine der frühesten Trackinglösung (VAN KREVELEN & POELMAN 2010), werden verschiedene Marker/Bezugspunkte verwendet, die aufgrund einer vorgegebenen Geometrie und vordefinierten Eigenschaften, wie Form, Größe und Farbmuster sehr leicht zu identifizieren sind (siehe Abb. 19).

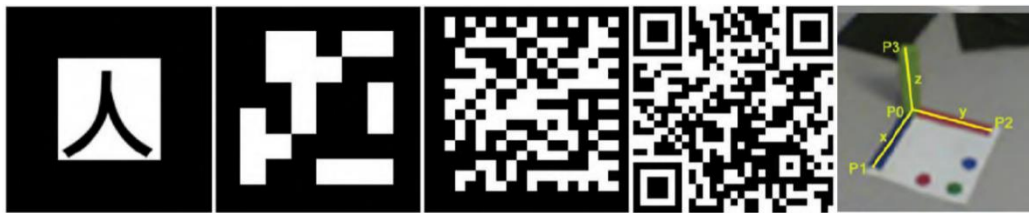


Abb. 19: Auswahl verschiedener Marker
(CHATZOPOULOS et al. 2017)

Dadurch sind sie auch sehr robust gegenüber verschiedenen Belichtungssituationen (CHATZOPOULOS et al. 2017), benötigen aber gleichzeitig aufgrund der minimalen Hardwareanforderung nur eine sehr geringe Rechenleistung und sind deswegen auf nahezu allen mobilen Consumer-Geräten (Smartphone, Tablet) einsetzbar (BILLINGHURST et al. 2014). In vielen Funktionsbibliotheken wie *ARToolkit*, *ARTag* und *OpenTracker* werden Marker für die Verfolgung verwendet (CHATZOPOULOS et al. 2017). Da es unabdingbar ist, die Marker anzubringen, diese auch zu pflegen/warten und da mindestens vier in der Umgebung liegende Passpunkte vorhanden sein müssen um die Position des Anwenders zu bestimmen (BILLINGHURST et al. 2014), ist die markerbasierte Methode nur für Innenanwendungen geeignet. Ein weiteres Problem besteht in der relativ leicht entstehenden Okklusion des angebrachten Bezugspunkts (CHATZOPOULOS et al. 2017).

Durch die stetige Verbesserung der Rechenleistung der für AR verwendeten Geräte ist es inzwischen möglich, die Position in Echtzeit anhand von Merkmalen zu registrieren, die bereits in der natürlichen Umgebung existieren. In diesem Fall spricht man von markerlosem Tracking (BILLINGHURST et al. 2014). Komplizierte Bildverarbeitungsalgorithmen wie SIFT, SURF, BRIEF, ORB, BRISK und FREAK werden verwendet (BILLINGHURST et al. 2014), um Merkmale in den aufgenommenen Bildern zu erkennen, die in ihrer Umgebung einzigartig sind. Dies können Punkte, Eckpunkte oder Schnittpunkte von Linien sein. Werden als Orientierungspunkte bezeichnet (VAN KREVELEN & POELMAN 2010). Für jedes dieser Merkmale wird ein eindeutiger Deskriptor berechnet, der diese identifiziert und auch voneinander unterscheidet. Durch Übereinstimmung von Merkmalen in der Szene und in dem zu verfolgendem Objekt kann die Position berechnet werden (BILLINGHURST et al. 2014). Dadurch benötigt das Verfahren im Vorfeld keine Informationen über die relevante Umgebung, benötigt aber im Gegensatz zur markerbasierten Methode deutlich höhere Rechenleistung, was im Zuge der Echtzeitanforderung auf mobilen Endgeräten ein großes Problem darstellt (VAN KREVELEN & POELMAN 2010). Ein weiterer Nachteil ist die Anfälligkeit hinsichtlich Bildverzerrung und verschiedenen Beleuchtungssituationen (CHATZOPOULOS et al. 2017).

Als gängigste Methode ist das bereits oben erwähnte Hybrid Tracking zu nennen. Bereits AZUMA schlug 1997 diese Form als geeignete und wichtige Methode vor, und sie gilt auch heute noch als vielversprechendste Variante, mit den Schwierigkeiten von mobilen Indoor und Outdoor AR-Anwendungen umzugehen (VAN KREVELEN & POELMAN 2010; CARMIGNANI et al. 2011). Da jede einzelne Methode ihre Vor- und Nachteile aufweist, besteht die beste Lösung darin, die inhärenten Einschränkungen jeder einzelnen Methode durch die Kombination geeigneter Methoden zu überwinden (BILLINGHURST et al. 2014; CHATZOPOULOS et al. 2017). Gegenwärtig umfassen die gebräuchlichen Hybrid Modelle die Verschmelzung von maximal drei Sensoren, z.B. Intertial – GPS - Magnetometer (YOU et al. 2018). So werden beispielsweise GPS-Trackingsysteme aufgrund ihrer geringen Genauigkeit häufig mit Inertialsensoren und/oder einer visuellen Methode kombiniert, um eine vollständige 6DOF Positionseinschätzung zu erhalten. Zudem ist es so möglich, verschiedene Arten von Signalverlusten zu kompensieren. So wird visuelles Tracking oft als Backup Methode eingesetzt, wenn das GPS Signal in einem Gebäude ausfällt. In der heutigen Zeit besitzen die meisten mobilen Geräte die Möglichkeit, Hybrid Tracking

auszuführen, da diese über Kameras, Beschleunigungsmesser, Gyroskope und GPS verfügen und zusätzlich über drahtlose Netzwerke auch die Möglichkeit haben, innerhalb von Gebäuden eine Position festzustellen (BILLINGHURST et al. 2014).

Abschließend lässt sich anmerken, dass es von entscheidender Bedeutung ist, eine geeignete Trackingmethode für die Anforderungen der jeweiligen Anwendung auszuwählen. Jedes der vorgestellten Verfahren besitzt Vor- und Nachteile, so dass ein wirklich robustes und genaues AR-Tracking eine Hybrid-Lösung erfordert (BILLINGHURST et al. 2014).

2.3.2 Hardware

Im Forschungsumfeld können in einzelnen prototypischen Anwendungen auch stationäre AR-Systeme Verwendung finden. Für das Einsatzgebiet im Bereich der Ver- und Entsorgung ist aber hauptsächlich der mobile Feldeinsatz von Interesse, so dass sich die vorgestellten Varianten auch ausschließlich auf darauf konzentrieren. Da in den letzten Jahren besonders im Bereich der Größe und des Gewichts des Geräts enorme Fortschritte erzielt werden konnten, bietet eine mobile Lösung die Nutzung in unbegrenzter Räumlichkeit (CHATZOPOULOS et al. 2017).

Als mobile Plattformen sind folgende Optionen aufzuführen:

Notebook Computers

Eher in früheren mobilen Systemen verwendet, wurden Notebooks in der Regel als Computing Plattform innerhalb eines zusätzlichen Rucksacks eingesetzt (PIEKARSKI et al. 2004). Aufgrund des im Vergleich zu moderneren Geräten höheren Gewichts und Größe, ist diese Variante für den täglichen Gebrauch eher ungeeignet, da zusätzliche Anzeigegeräte wie HMDs benötigt werden (BEHZADAN et al. 2008; CHATZOPOULOS et al. 2017).

Personal Digital Assistant

Bereits AZUMA et al. berichten 2001 von einem regelmäßigen Einsatz von PDAs, kleinen LCD-Flachbildschirmen mit angeschlossener Kamera zur Bereitstellung von AR-Visualisierungen. Im Gegensatz zu eben erwähnten Notebooks befinden sich hier alle relevanten Komponenten (Prozessor, Speicher, Anzeige, Interaktionsmöglichkeiten,...) in einem

Gerät, was einen einfacheren Feldeinsatz ermöglicht (AZUMA et al. 2001; BIMBER & RASKAR 2006). PDAs verwenden ausschließlich *Video-See-Through* Techniken, um virtuelle Objekte über die reale Umgebung zu legen (siehe Abb. 20).



Abb. 20: PDA Jepower
(https://www.jepower.net/android-pda-3-5-inch_p7.html)

Das bedeutet, dass der Nutzer nicht durch das Gerät durchschauen kann, sondern das Bild über eine Kamera aufgenommen und mit den AR-Inhalten überlagert wird (VAN KREVELEN & POELMAN 2010). Durch die in den letzten Jahren fortwährende Entwicklung und Verbreitung von Smartphones oder Tablet PCs sind PDAs allerdings deutlich weniger verbreitet (CARMIGNIANI et al. 2011). Zudem begrenzt die geringe Bildschirmgröße das Sichtfeld, was die Anzeigemöglichkeit von virtuellen Objekten einschränkt. Ebenso fällt die Leistungsfähigkeit der Geräte im Vergleich zu den genannten neueren Technologien ab (BIMBER & RASKAR 2006; CHATZOPOULOS et al. 2017).

Tablet PCs

Tablet PCs verfügen neben der Implementierung von allen benötigten Bestandteilen (s.o.) über ein großes Display und eine integrierte Touch Technologie. Dies erleichtert die Anzeige und interaktive Operationen (CHATZOPOULOS et al. 2017). Allerdings sind die Kosten im Vergleich zu kleinen Handhelds höher, und das Gewicht eignet sich nicht für einen lang andauernden Einhandbetrieb (CARMIGNIANI et al. 2011). Auch hier findet wie bei allen Handhelds *Video-See-Through* Technik Verwendung, wobei anzumerken ist, dass in speziellen Anwendungsfeldern, z.B. Medizin, auch *Optical-See-Through* Technik implementiert werden kann. Hier wird die Außenwelt durch eine transparente

Projektionsfläche wahrgenommen, in der die AR-Inhalte zusätzlich angezeigt werden (BIMBER & RASKAR 2006).

Ultra Mobile PCs

UMPCs werden vornehmlich in prototypischen Anwendungen verwendet, da diese Systeme, die über eine hohe Rechenleistung verfügen, sehr teuer sind und ähnlich wie PDAs nur eine relativ geringe Bildschirmgröße aufweisen (siehe Abb. 21).



Abb. 21: UMPC

(<https://www.giga.de/ratgeber/specials/umpc-ultra-mobile-pc-was-ist-das/>)

Vorteil ist die integrierte Touch Technologie, um Interaktionen ausführen zu können (HAUGSTVEDT & KROGSTIE 2012; CHATZOPOULOS et al. 2017).

Smartphones

Durch die bereits erwähnte weite Verbreitung und Entwicklung von Smartphones, die inzwischen über leistungsstarke Grafikprozessoren sowie Kameras und weitere für AR notwendige Sensoren verfügen, bilden diese aufgrund des relativ geringen Preises eine große Möglichkeit des flächendeckenden Einsatzes (BILLINGHURST et al. 2014). Zu bemängeln ist wiederum die kleine Anzeigegröße, die besonders für 3D-Benutzeroberflächen nicht ideal ist (CARMIGNIANI et al. 2011). Außerdem ist der Speicher im Vergleich zu z.B. Notebooks relativ langsam, was mit langsameren Zugriff und kleinen Caches einhergeht. Durch die eingebaute Kamera ist auch hier die *Video-See-Through* Technik für den Display der Daten im Einsatz. Durch das leichte Gewicht und die damit verbundene lange Tragbarkeit, sind Smartphones dennoch die vorherrschende Plattform für mobile Augmented Reality Anwendungen (CHATZOPOULOS et al. 2017).

HMDs/AR Glasses

Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Varianten, die nahezu ausschließlich auf den Einsatz von Kameras und somit der *Video-See-Through* Technologie bauen, können bei HMDs auch *Optical-See-Through* Technologien verwendet werden. Ersteres verwendet eine am Kopf befestigte Videokamera als Hintergrund für die AR-Überlagerung auf einer undurchsichtigen Anzeige. Deutlich verbreiteter und für die hier vorzufindenden Anforderungen ist allerdings die Möglichkeit, AR-Visualisierungen in eine transparenten Anzeige einzubetten (AZUMA et al. 2001; BIMBER & RASKAR 2006), wobei die Form meistens einer Brille ähnelt, die der Anwender direkt auf dem Kopf tragen kann (BILLINGHURST et al. 2014). Einer der Vorteile ist, dass die virtuellen Bilder direkt vor dem Auge des Benutzers eingeblendet werden, so dass folglich keine anderen physischen Objekte zwischen Augen und Anzeige liegen (BILLINGHURST et al. 2014). Dadurch wird die reale Welt natürlicher wahrgenommen als bei einer Visualisierung über zusätzliche Kamera mit Display. Allerdings kann dadurch der Blick auf die reale Welt nicht verzögert werden, was bei komplexen Daten dazu führen kann, dass z.B. Zeitverzögerung durch den Benutzer in Form von instabilen Bildern möglich sind (CARMIGNIANI et al. 2011). Zudem sind HMDs (z.B. Microsoft HoloLens, Google Glass, siehe Abb. 22) sehr teuer und dementsprechend noch nicht häufig eingesetzt (CHATZOPOULOS et al. 2017).



Abb. 22: Microsoft Hololens und Google Glass

(<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>, <https://www.google.com/glass/start/>)

Vergleicht man die verschiedenen Plattformen miteinander (siehe Tab. 2), ist relativ schnell ersichtlich, dass Tablet PCs und Smartphones die größten Vorteile aufweisen und somit zumeist eingesetzt wurden und wohl auch in Zukunft werden. Obwohl Smartphones Nachteile in der Rechen- und Wiedergabeleistung haben, ist im Anwendungsfeld der

Ver- und Entsorgung die Nutzbarkeit nachgewiesen (siehe 1.2). Zudem wird dieser Bereich aufgrund des alltäglichen Einsatzes kontinuierlich und sehr rasant weiterentwickelt, sodass die Leistungsunterschiede abnehmen sollten. Aufgrund der Performance und der unvergleichlichen Visualisierung würden sich sicherlich auch HMDs anbieten. Hier muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass aktuell die soziale Verträglichkeit und Akzeptanz dieser Lösung noch nicht gegeben ist, um diese in der täglichen Arbeit einzusetzen (BILLINGHURST et al. 2014). Demgegenüber sind Smartphones durch ihre große Verbreitung sozial akzeptiert und werden von Anwendern ohne Bedenken eingesetzt (CARMIGNIANI et al. 2011; CHATZOPOULOS et al. 2017).

Tab. 2: Übersicht Hardware
(angepasst nach CHATZOPOULOS et al. 2017)

Plattform	Rechenleistung	Wiedergabeleistung	Interaktion	Tragbarkeit	Laufzeit	soz. Akzeptanz
Notebook	hoch	hoch	Tastatur/ Maus	niedrig	2~4 h	niedrig
PDA	niedrig	niedrig	Tastatur/ Eingabestift	hoch	4~6 h	mittel
Tablet PC	mittel	mittel	Touch/ Eingabestift	mittel	5~8 h	hoch
UMPC	mittel	mittel	Tastatur/ Touch/ Eingabestift	mittel	4~8 h	mittel
Smartphone	niedrig	niedrig	Touch/ Stimme	hoch	5~8 h	sehr hoch
HMD	niedrig	mittel	Touch/ Stimme	hoch	~6 h	sehr niedrig

2.3.3 Software

Da es relativ kompliziert, zeit- und somit auch kostenintensiv ist ein mobiles AR-System zu entwickeln, bzw. neu aufzubauen, gibt es eine Vielzahl an Software-Frameworks und Softwarebibliotheken, die eine Entwicklung von Anwendungen erleichtern und beschleunigen (CHATZOPOULOS et al. 2017). Inzwischen gibt es eine Vielzahl an Vorlagen, so dass es auch ungeübten Entwicklern möglich ist, eine eigene AR-Anwendung zu

konzipieren (BILLINGHURST et al. 2014). Ein AR-Framework muss grundsätzlich in der Lage sein, neben Tracking/Registrierung, Anzeige und Interaktion auch eine drahtlose Vernetzung und Datenspeicherung auszuführen. Besonders mobile und kollaborative Lösungen benötigen für einen Datenabruf und Multiuserinteraktion (drahtlose) Netzwerke (VAN KREVELEN & POELMAN 2010).

Nachfolgend werden relevante Frameworks und Bibliotheken aufgeführt, wobei der Fokus wiederum auf mobilen Anwendungen liegt.

ARToolkit

ARToolkit ist eine der am weitesten verbreiteten Softwarebibliotheken für die Entwicklung von AR-Anwendungen und wurde am HITLab in Seattle, USA entwickelt. In einer frei verfügbaren Version bietet es markergestütztes Tracking. Erwirbt man eine kommerzielle Lizenz von *ARToolworks*, wird sogar markerloses Tracking durch natürliche Merkmale unterstützt. *ARToolkit* ist in der Programmiersprache C geschrieben, wodurch verschiedene Plattformen wie Android, Windows, Linux und Mac OS X Betriebssysteme unterstützt werden (VISTA IV et al. 2013; DOS SANTOS et al. 2016). Es besitzt außerdem eine sehr kurze Ausführungszeit, so dass es im Vergleich zu anderen markerbasierten SDKs (z.B. ARTag) relativ gut für Echtzeitanwendungen einzusetzen ist (KHAN et al. 2015). Da die Hauptfunktionalität allerdings das Tracking ist, bietet *ARToolkit* keine integrierte Unterstützung für Interaktionstechniken oder komplexe Grafiken, so dass es bei singulärer Nutzung sehr schwierig ist, damit eine vollständige AR-Anwendung zu entwickeln (BILLINGHURST et al. 2014). Diese Einschränkung kann allerdings mit der Bibliothek *osgART* behoben werden, da diese eine Verbindung zwischen *ARToolkit* und der *OpenSceneGraph* Bibliothek für Echtzeitrendering herstellt. *OpenSceneGraph* ist freiverfügbar/quelloffen, in C++ geschrieben und eines der am häufigsten verwendeten Szenengraphsysteme. Durch das Kombinieren von *ARToolkit* und *OpenSceneGraph* kann *osgART* die Erstellung interaktiver AR-Anwendungen mit fortgeschrittenen Rendering-Techniken erleichtern (BILLINGHURST et al. 2014). Weiterhin wurden, basierend auf *ARToolkit*, mehrere Frameworks wie *ARTag* und *ARToolKit Plus* entwickelt, die Optimierungen bezüglich auftretender Okklusion und differenten Lichtverhältnissen beinhalten (KHAN et al. 2015).

Um mobile Anwendungen zu entwickeln, ist es notwendig, auf *ARToolkit for Mobile* zurückzugreifen. Dies ist eine Bibliothek für mobile Plattformen einschließlich iOS und Android. Da es sich hierbei um eine Portierung der desktopbasierten Lösung handelt, ist ein natives Entwicklungskit notwendig, um es auf einer Android Plattform zu verwenden (BILLINGHURST et al. 2014).

Studierstube (ES)

Studierstube wurde 2002 von der Technischen Universität Wien/Graz unter der Leitung von SCHMALSTIEG et al. entwickelt. Der Framework basiert auf einer verteilten Architektur, die es dem Anwender relativ leicht ermöglichte, verschiedene Anzeigetypen (HMD, Desktop, ...) und Eingabegeräte sowie unterschiedliche Tracking Hardwares einzubinden (BILLINGHURST et al. 2014). Dadurch können mehrere Nutzer, die jeweils mit einem individuellen HMD ausgestattet sind, gleichzeitig 3D Wissenschaft erleben (SCHMALSTIEG et al. 2003). *Studierstube* ist als Sammlung von C++ Klassen realisiert, die auf dem *Open Inventor Toolkit* (OIV) aufbauen. Zentrum des OIV bildet ein objektorientiertes Szenendiagramm, in dem sowohl die geometrischen Elemente als auch die aktiven, interagierenden Objekte abgespeichert sind.

Studierstube ES, der Framework für mobile Plattformen, resultiert aus einer Implementierung von *ARToolkit Plus* in die Desktoplösung *Studierstube* (BILLINGHURST et al. 2014). Durch die nun fast zwei Jahrzehnte fortwährende Entwicklung ist *Studierstube ES* eines der erfolgreichsten MAR Software Frameworks und wurde in vielen prototypischen Anwendungen eingesetzt. Das System unterstützt ebenfalls verschiedene Anzeigegeräte und Eingabeschnittstellen. Zudem wurde ein Netzwerkmodul (*Muddleware*) entwickelt, um einen schnellen Clientkommunikationsserver anzubieten (CHATZOPOULOS et al. 2017). Die wesentlichen Komponenten sind in Abbildung 23 dargestellt und umfassen neben *Studierstube Tracker* (Echtzeittracking durch Auswahl an Markern, basierend auf *ARToolkit Plus*) und der *Muddleware* auch ein Rendering Modul, das mit *OpenGL ES* oder *Direct3D Mobile* betrieben wird. Der frei verfügbare Applikationscode wird durch dynamisch verbundene Bibliotheken verwaltet, was eine vereinfachte Speicherverwaltung ermöglicht. Weiterhin können Nutzer die Applikationen, die den Framework einsetzen, sowohl über eine drahtlose Netzwerkverbindung als auch vollständig eigenständig ausführen. *Studierstube Tracker* bietet für mobile Geräte sämtliche sechs Freiheitsgrade bei

Echtzeitverfolgung von einer Vielzahl von Markertypen (SCHMALSTIEG et al. 2003; SCHMALSTIEG & WAGNER 2008).

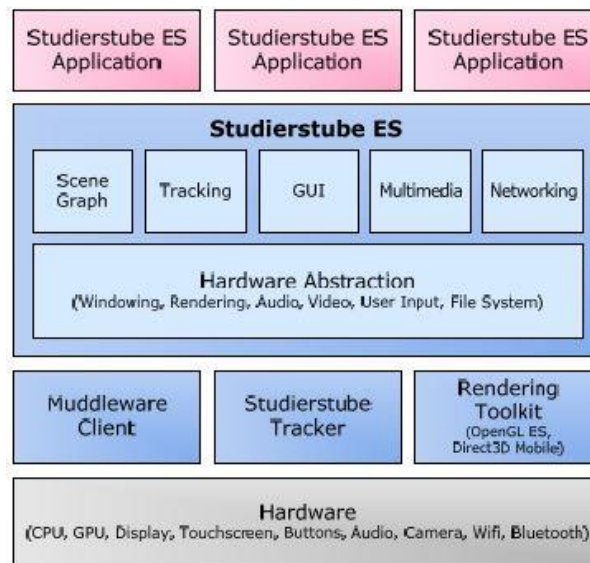


Abb. 23: Softwareaufbau Studierstube ES
(SCHMALSTIEG & WAGNER 2008)

OpenFrameworks

Eines der beliebtesten Tools ist *OpenFrameworks*, eine auf C++ basierende Middleware-Bibliothek, die es dem Anwender relativ leicht ermöglicht, interaktive Erlebnisse zu entwickeln (BILLINGHURST et al. 2014). *OpenFrameworks* bietet einen Rahmen, um eine Vielzahl von verschiedenen Technologien und den dazugehörigen Bibliotheken (z.B. *OpenGL*, *OpenCV*, *GLU*) zu kombinieren, und ist für verschiedenste Betriebssysteme (Windows, Linux, OSX, iOS, Android) verfügbar. Dadurch können unter anderem Grafiken, Audio, Schriftarten, Video und sowohl 2D- als auch 3D-Rendering effizienter verarbeitet werden (SCHMALSTIEG & WAGNER 2008; PEREVALOV & TATARNIKOV 2013; FERNANDEZ GUZMAN et al. 2016). Eine AR-Anwendung mit gestenbasierter Eingabe könnte somit durch die Fusion einer Tracking Bibliothek wie ARToolkit, einer Handverfolgungsbibliothek, einer 3D Szenendiagrammbibliothek wie *OpenSceneGraph* und zusätzlich beispielsweise einer Audiowiedergabebibliothek designt werden. *OpenFrameworks* bietet im Gegensatz zu vielen anderen Lösungen eine gemeinsame API für alle Bibliotheken (BILLINGHURST et al. 2014).

Metaio und Vuforia

Während *Studierstube* und *osgART* aus akademischen Forschungsprojekten entstanden und frei verfügbar sind, gibt es selbstverständlich auch kommerzielle Lösungen. Das *Metaio SDK* bietet beispielsweise eine umfangreiche Sammlung von AR-Tracking Technologien, sowohl markerbasiert als auch markerlos. Hinsichtlich der Visualisierung der Inhalte bietet es eine einfache *Virtual Reality Modeling Language (VRML)* und die Möglichkeit der kooperativen Verwendung von *OpenSceneGraph* (BILLINGHURST et al. 2014).

Vuforia ist eine *SDK* und bietet Unterstützung für die Konzipierung von MAR Applikationen für iOS, Android und Unity 3D (XIAO & LIFENG 2014). Es ist spezialisiert auf das Bildtracking von natürlichen Merkmalen und erlaubt zudem das Verfolgen von 3D-Objekten mit mehreren Bildebenen (BILLINGHURST et al. 2014). Vorteile von mit *Vuforia SDK* entwickelten Anwendungen sind eine schnelle Lokalisation der Zielobjekte, eine robuste Zielverfolgung und eine effektivere Nutzung bei schlechter Belichtung oder teilweiser Okklusion (PENG & JING 2017).

Wikitude

Wikitude ist ein standortbezogener AR-Browser für mobile Geräte. Es kombiniert GPS und Inertialsensoren, um die Position und die Ausrichtung des Anwenders zu erfassen. Inhalte sind in den Formaten KML und ARML organisiert, um geografische Annotationen und Visualisierung zu unterstützen (CHATZOPOULOS et al. 2017; CHAUDHARI et al. 2018). Es ist außerdem möglich, eine benutzerdefinierte mobile Applikation zu entwickeln, losgelöst von der Funktionalität eines AR-Browsers. Verschiedene Arten von Medien, auch 3D-Modelle und Animationen, können für Tracking und Registrierung verwendet werden (BILLINGHURST et al. 2014). Da der Großteil in *Javascript* geschrieben ist, ist der Code bei einer Anwendung für iOS oder Android kongruent (BREUSS-SCHNEEWEIS 2016).

2.3.4 Beispiele für technischen Systemaufbau

Zum Ende des Teilkapitels wird noch der technische Systemaufbau anhand von zwei Beispielen beschrieben. Relevante Inhalte der Artikel wurden bereits im Literaturüberblick in Kapitel 1.2 vorgestellt, so dass der Fokus nun auf einer detaillierten Betrachtung des gesamten Frameworks liegt.

ZHANG et al. entwickelten 2016 eine mobile AR-Lösung für die Prospektion unterirdischer Leitungssysteme. Grundlage für die Anwendung bietet der ARGIS Framework (siehe Abb. 24) bei der eine intelligente Terminal Plattform GeoJSON Daten aus einem Web Service abruft.

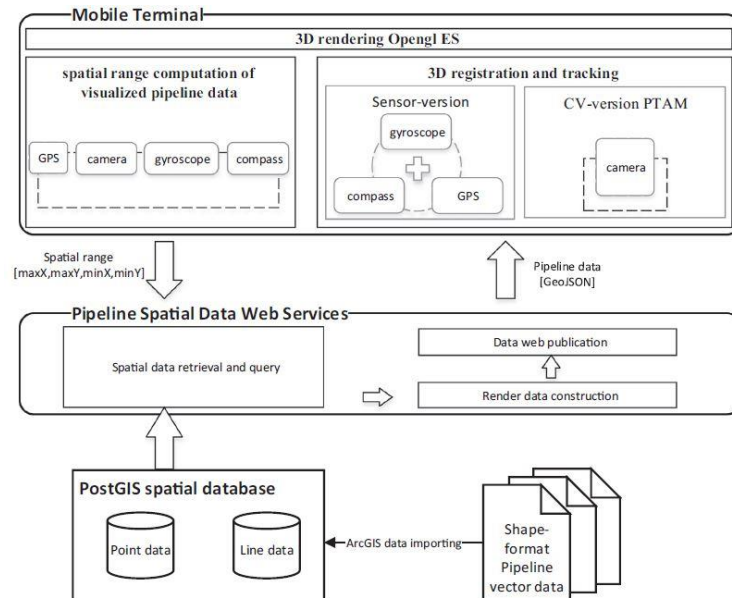


Abb. 24: ARGIS Framework
(ZHANG et al. 2016)

Für den Systemtest wurden die Daten der Pipelines der 10 Millionen Stadt Qingdao verwendet, die im Shapefile Format ein Volumen von insgesamt 2,7 GB aufwiesen. Die Geometrien wurden sowohl in Punkt- (Rohrleitungspunkt) als auch Liniengeometrien (Pipeline) unterschieden, und die Daten nach den funktionellen Attributen in 13 Typen (z.B. Stromversorgungsleitung, Warmwasserleitung, Erdgasleitung, Kommunikationsleitung,...) unterteilt. Die Datenstruktur der Punkt- und Linienobjekte ist in den Tabellen 3/4 visualisiert.

Tab. 3: Datenstruktur der Punktobjekte
(angepasst nach ZHANG et al. 2016)

Rohrleitungspunkt	
ObjektID	Eindeutige Objektkennung des Rohrleitungspunktes in der Datenbank
Number	Nummer des Rohrleitungspunktes
x	Längswert der Position des Rohrleitungspunktes
y	Hochwert der Position des Rohrleitungspunktes
Altitude	Geländehöhe an Position des Rohrleitungspunktes

Depth	Tiefe des Rohrleitungspunktes
Offset	Abstand zwischen Rohrleitungspunkt und Pipeline
CoverTexture	Textur des Schachtdeckels
CoverSpec	Spezifikation des Schachtdeckels
CoverType	Art des Schachtdeckels
Feature	Featurebeschreibung des Rohrleitungspunktes
Attachment	Befestigung des Rohrleitungspunktes

Tab. 4: Datenstruktur der Linienobjekte
(angepasst nach ZHANG et al. 2016)

Pipeline	
ObjektID	Eindeutige Objektkennung des Rohrleitungspunktes in der Datenbank
DestinationID	Eindeutige Objektkennung des Rohrleitungspunktes am Zielpunkt
DestinationX	Längswert am Zielpunkt der Pipeline
DestinationY	Hochwert am Zielpunkt der Pipeline
DestinationAltitude	Geländehöhe am Zielpunkt der Pipeline
DestinationDepth	Tiefe am Zielpunkt der Pipeline
OriginID	Eindeutige Objektkennung des Rohrleitungspunktes am Startpunkt
OriginX	Längswert am Startpunkt der Pipeline
OriginY	Hochwert am Startpunkt der Pipeline
OriginAltitude	Geländehöhe am Startpunkt der Pipeline
OriginDepth	Tiefe am Startpunkt der Pipeline
Texture	Textur der Pipeline
Length	Länge der Pipeline
Diameter	Durchmesser der Pipeline
Type	Typ der Pipeline
BuryMode	Art der Vergrabung der Pipeline

Die Daten werden standardmäßig in ArcGIS importiert und in eine frei verfügbare Post-GIS Datenbank übernommen (siehe Abb. 24). Eine Geodatenserviceschnittstelle (nach OGC Standard) empfängt die Parameter des Sichtfeldes der Gerätekamera (Client: Smartphone oder GoogleGlass), welches als Rechteck ausgedrückt (linke untere und

rechte obere Ecke) und in Form von URL Parametern übermittelt wird. Die Reichweite des Sichtfeldes wird dabei durch clientseitige Berechnung ermittelt. Diese Parameter werden für das Abrufen der Pipeline Daten benötigt, die im GeoJSON Format (leicht übermittel- und organisierbar) an den Client zurückgegeben werden. Für Registrierung und Tracking konnten sowohl eine CV (SFM basierte Registrierung und Verfolgungsalgorithmen) als auch eine sensorgestützte (Hybridtracking aus Gyroskop, GPS, elektronischem Kompass, Inertialsensoren) Variante getestet und eingesetzt werden. Mit der CV Version wurde eine bessere Nutzererfahrung hinsichtlich eines interaktiven Erlebnisses erzielt. Die sensorbasierte Variante überzeugte dagegen in Robustheit gegenüber Einflüssen der Umwelt.

Als weiteres Beispiel wird die Projektarbeit VIDENTE vorgestellt. In verschiedenen Beiträgen von RANZINGER et al. (2007) und SCHALL et al. (2008; 2009; 2010; 2013) wird diese mit dem Forschungsziel eines außendiensttauglichen Prototyps zur mobilen Leitungsauskunft diskutiert. VIDENTE ermöglicht sowohl die Visualisierung von unterirdischer Infrastruktur wie Leitungen und Kabel als auch von abstrakten Informationen wie Grundstücksgrenzen und Sicherheitszonen (SCHALL & MENDEZ et al. 2009). Die verwendete Hardware und Softwareframework (*Studierstube*) sind bereits in Kapitel 1.2 (S. 5 & 6) und Kapitel 2.3.3 beschrieben und werden deshalb nicht genauer ausgeführt. Um eine möglichst genaue Standortbestimmung des Anwenders zu erhalten, wurde ein RTK-GPS unter Verwendung von Differentialkorrekturen in Kombination mit Inertialsensoren, Schwerkraftmessung und Magnetsensoren eingesetzt (SCHALL et al. 2013). Das Systemdesign erlaubt einen bidirektionalen Datenfluss zwischen der Geodatenbank und dem mobilen Client (siehe Abb. 25).

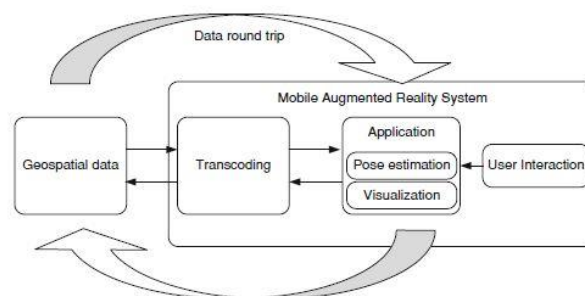


Abb. 25: Systemarchitektur VIDENTE
(SCHALL et al. 2013)

Das AR-System verwendet umfangreiche Echtdaten, die auch im täglichen Einsatz bei Leitungsbetreibern für den Betrieb von Netzinformationssystemen verwendet werden. Die dreidimensionalen Geometrien werden dabei nicht standardmäßig dargestellt, sondern aus einem herkömmlichen Datenbanksystem extrahiert und on-the-fly und dynamisch als 3D-Visualisierung interpretiert. Zur Repräsentation der Modelle wurde die Datenstruktur eines kontextsensitiven Szenegraphs genutzt. Dadurch werden nicht nur Informationen zur logischen und räumlichen Anordnung von Objekten einer Szene gespeichert, sondern auch objektbezogene Sachinformationen. Ein Vorteil davon ist, dass Operationen wie beispielsweise das Filtern effizient ohne Rekonstruktion des Szenegraphs durchgeführt werden können. Um auch Aspekte der Tiefenwahrnehmung zu berücksichtigen, ist es notwendig, dass die Geodaten über 3D-Informationen verfügen. Dies ist allerdings in der Regel bei NIS-Produkten nicht der Fall, so dass für die Einbettung dieser Informationen nur Abweichungen der Standardverlegetiefen festgehalten wurden. Zur Bereitstellung der beim Client zu visualisierenden Daten wurde eine Pipeline entwickelt, die sich an analoge Konzepte aus dem Bereich der Computergrafik anlehnt (siehe Abb. 26). Die Daten sind dabei in einer *Smallworld*-Datenbank verwaltet, wobei Objekte entweder offline über eine *Smallworld*-GIS-Applikation oder online über einen speziellen Applikationsserver in *GML3* kodiert abgefragt werden (RANZINGER et al. 2007).

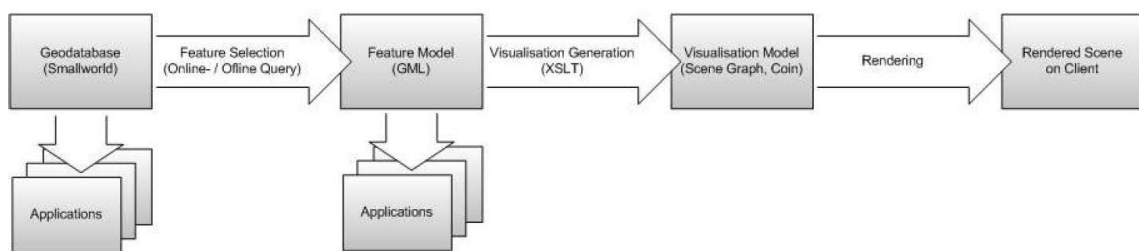


Abb. 26: Daten-Pipeline
(RANZINGER et al. 2007)

Zudem unterstützt das System interaktive Annotationen und Vermessungen im Feldeinsatz, die direkt in der Datenbank aktualisiert werden können (SCHALL et al. 2010).

2.4 Anwendungsgebiete und -beispiele

Augmented Reality kann in nahezu allen Bereichen des Alltags eingesetzt werden und zu relevanten Verbesserungen führen. Nahezu jeder hat bereits einmal die

eingblendete Abseitslinie bei Fußballübertragungen im Fernsehen oder die virtuelle Markierung beim Skispringen, die die Führungsweite repräsentiert, gesehen. Doch kaum jemand weiß, dass dies AR-Technologie ist. Diese Beispiele bilden nur einen kleinen Bereich der Funktionalität wieder, so dass in diesem Abschnitt der Arbeit Anwendungsgebiete kurz vorgestellt werden, um das Potential dieser Technik aufzuzeigen. Das Anwendungsgebiet der Leitungsdokumentation beziehungsweise der gesamte Themenkomplex Ver- und Entsorgung ist bereits in Kapitel 1.2 ausführlich erläutert und wird infolgedessen hier nicht nochmals behandelt.

Medizin und Gesundheitswesen

Durch AR-Applikationen können Ausbildungs-, Diagnose-, Planungs-, Beratungs- und Behandlungsprozesse im Gesundheitswesen unterstützt werden (VIDAL et al. 2006). Zudem kann die Telemedizin, die aufgrund des Ärztemangels immer öfter Verwendung findet, AR nutzen, um dem Patienten Diagnosen visuell aufzubereiten und somit verständlicher zu gestalten (HANNA et al. 2018). Bereits AZUMA beschrieb 1997 das Potential, indem er 3D-Datensätze (z.B. aus Magnetresonanztomographie oder Computertomographie) mit den realen Patienten überlagerte, um so einen direkten „Röntgenblick“ in diesen zu gewähren. Inzwischen wird AR als „Navigationssystem“ bei komplexen Operationen (z.B. Koronararterie) oder bei einer Knochentumorresektion verwendet, um die Resektionsränder intuitiv und mit Informationen belegt zu visualisieren (CHOI et al. 2015; HA & HONG 2016). Diese Beispiele sind selbstverständlich auf viele weitere Eingriffe übertragbar und wurden dementsprechend auch mehrfach adaptiert.

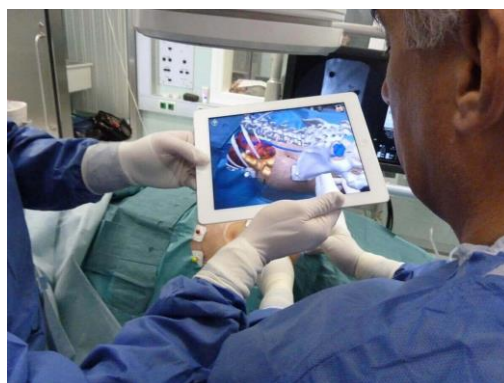


Abb. 27: AR als Operationsunterstützung
(<https://thinkmobiles.com/blog/de/virtuelle-realitaet-medizin/>)

Ebenso kann AR aber auch verwendet werden, um dem Operateur zu helfen, die Anatomie des Menschen, vor allem in der Tiefenwahrnehmung (siehe Abb. 27) besser zu erkennen (CHOI et al. 2016). Obwohl die Technologie schon sehr ausgereift und anwendbar ist und auch das enorme Potential erkannt ist, wird sie dennoch relativ spärlich eingesetzt. Umgesetzt wird sie vor allem im Bereich der medizinischen Ausbildung (HANNA et al. 2018). Hier erhalten die Lernenden direktes visuelles Feedback, ohne an einem echten Patienten arbeiten zu müssen (SHOAIB & JAFFRY 2015). Zudem kann der Ausbilder gleichzeitig viele Auszubildende betreuen und deren Handeln überwachen (HAMZA LUP et al. 2018).

Militär

Nahezu mit der Erfindung der AR-Technologie verwendeten Militärflugzeuge und Helikopter HUDs und an den Helmen angebrachte Displays, um für die Piloten die reale Welt mit Vektorgrafiken zu überlagern (AZUMA 1997). Durch den Einsatz von AR soll dazu beigetragen werden, dass Soldaten präziser, koordinierter und sicherer agieren. Mittels HMDs können diesen beispielsweise Zusatzinformationen zur Umgebung (Häuser, Ziele, Tunnel, etc.) eingeblendet werden, ohne dass dafür Kontakt mit der Einsatzleitung notwendig ist (FELLMANN et al. 2015). Weiterhin können AR-Systeme für Schulungszwecke und in der Ausbildung der Soldaten in städtischen Umgebungen genutzt werden (CHATZOPOULOS et al. 2017). JULIER et al. (2004) entwickelten *BARS* (battled augmented reality system), bei dem die Umgebung der Soldaten um z.B. Gebäude, Feinde und Infrastruktur angereichert wird und auch eine Interaktion der Soldaten untereinander möglich ist. Besonders in der städtischen Kriegsführung kann das Potential durch die Fülle an (verborgenen) Objekten ausgeschöpft werden, sodass diese Anwendungen ständig weiterentwickelt werden (YOU et al. 2018). Auch in Flugzeugsimulationen wird AR eingesetzt, um beispielsweise Notfälle oder spezielle Wetterbedingungen zu fingieren (LIVINGSTON et al. 2011). Spätestens seit Ende des letzten Jahres ist der Gebrauch von AR auch in die breite Öffentlichkeit vorgedrungen und in diesem Zuge kontrovers diskutiert worden. Ausschlaggebend war die Bekanntgabe des US-Militärs, 100.000 Kampfversionen des HMDs *Hololens 2* (Microsoft) im Wert von 480 Mio. US Dollar in Auftrag zu geben. Ziel dieser Investition ist es, die Schlagkraft in Einsätzen zu erhöhen, da die Soldaten so fähig sind, Feinde besser zu erkennen und zu bekämpfen und die Umgebung detaillierter wahrnehmen zu können (siehe Abb. 28). Bis dahin wurden die HMDs nur zu Übungszwecken

verwendet. Neben den eben genannten Vorteilen soll zudem eine Überwachung der körperlichen Verfassung des Soldaten möglich sein, da verschiedene Sensoren zur Überprüfung der Vitalität angebracht sind. Dadurch können Werte der Atmung, Konzentration und Temperatur und sogar Gehirnerschütterungen erkannt und abgeleitet werden (HEISE 2019).



Abb. 28: Display Hololens beim Militäreinsatz

(<https://www.vr-quest.de/us-militaer-nutzt-zukuenftig-microsoft-hololens-fuer-480-millionen-us-dollar/>)

Herstellung, Produktion, Konstruktion, Montage und Wartung (Industrie)

Durch den Einsatz von AR können Effizienzsteigerungen bei Montage-, Qualitätssicherungs-, Prüf- und Planungsaufgaben realisiert werden. Zudem werden Lernprozesse beschleunigt, da Mehrinformationen und/oder zusätzliche Objekte im Kontext des Montageprozesses angezeigt werden. Dadurch wird die Komplexität der Aufgaben nachweisbar reduziert (siehe Abb. 29).



Abb. 29: AR Unterstützung bei Produktionsschulung (BMW)

(<https://www.produktion.de/technik/wie-bmw-augmented-reality-in-der-produktion-einsetzt-297.html>)

Außerdem wird die Tätigkeitsdauer verkürzt und Informationsaufnahme sowie Montagequalität verbessert (FELLMANN et al. 2015). Erste Beispiele sind die schon in Kapitel 2.2 beschriebenen Projektarbeiten von FEINER et al. (Anwendung zur Wartung von Laserdruckern) und CAUDELL & MIZELL, die mit AR-Technologie Techniker beim Aufbau eines Kabelbaums für Flugzeugbordnetze unterstützten (AZUMA 1997). Weiterhin gibt es Anwendungen im Kontext von Installationen und Instandhaltung im Kundendienst, da so fachspezifisches Wissen durch Kontroll- und Rückkopplungsmechanismen anderen verfügbar gemacht wird. Zudem können Informationen in digitalen Formaten einfacher verwendbar gemacht werden, beispielsweise durch die Informationserweiterung für Bauteile und Arbeitsschritte bei komplexen Großanlagen (WALTER 2010). Somit kann die mentale Belastung verringert werden, was neben einem Absinken der Fehlerrate auch zu einer Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit und folglich zu einer höheren Effizienz führt. Durch immer stärker durch IoT geprägte Abläufe in Industrie und Produktion kann auch das Potential von mobilen AR-Lösungen besser ausgeschöpft werden, da Mitarbeiter und automatisierte Produktionssysteme leichter miteinander korrespondieren und miteinander verknüpft werden (SHOAIB & JAFFRY 2015; JAKL et al. 2018).

Architektur und Stadtplanung

Besonders in stark visuell geprägten Arbeitsfeldern, wie sie Architektur und auch Stadtplanung sind, bietet AR neue und wichtige Arten des Informationszugangs (HÖHL & BRO-SCHART 2015). Da AR eine ideale Technologie darstellt, um auch große Objekte virtuell der realen Welt zu überlagern, bietet sich hier die Möglichkeit, geplante Gebäude oder andere Bauwerke zu betrachten und verschiedene Varianten in der Realität zu vergleichen, um dann ein auf die Umgebungsbebauung stimmiges Modell auszuwählen. Aber auch in größeren Dimensionen, z.B. gesamtstädtische Planungen, kann AR Vorteile bringen. So wurde beispielsweise eine Applikation entwickelt, um nach den verheerenden Erdbeben 2010 und 2011 in Christchurch (Neuseeland) ganze Straßenzüge und Stadtviertel zu visualisieren, um Renovierungskonzepte und Wiederaufbaumaßnahmen von zerstörten Gebäuden zu planen und im Gesamtkontext zu betrachten (BILLINGHURST et al. 2014). Weiterhin bietet AR aber auch die Möglichkeit der Bürgerpartizipation, z.B. im Kontext der Grünflächenplanung. Hier können Bürgerinnen und Bürger an zu überplanenden Grünflächen oder Straßenzügen mit Hilfe einer App verschiedene, sinnvoll vorselektierte Baum- und Pflanzenarten auswählen und visualisieren (siehe Abb. 30) und

daraufhin Rückmeldung bzgl. der getroffenen Auswahl geben (REINWALD et al. 2013; SCHRENK et al. 2015).

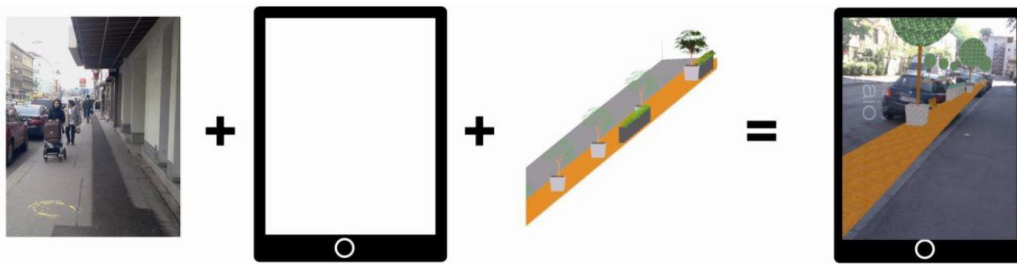


Abb. 30: AR für Bürgerpartizipation bei Grünplanung
(REINWALD et al. 2013)

In komplexerer Form kann den Bürgern auch der Zugang zu planerischen Festsetzungen in Bebauungsplänen besser ermöglicht werden, da aus einer eher abstrakten, zweidimensionalen Darstellung ein 3D-Modell geschaffen wird, das weitere Erklärungen und realistischere Visualisierung bietet (HÖHL & BROSCART 2015).

Tourismus und Navigation

Da die Anwendung oftmals Tourismus und Navigation betrifft und der Übergang teilweise (besonders im Bereich der Navigation für Fußgänger) fließend ineinandergreift, sind beide Punkte in einer Rubrik zusammengefasst. AR ist bereits in einige Anwendungen integriert oder stellt den Hauptkomponenten des Systems dar. Forscher der Columbia University bauten einen mobilen Prototyp zur Campuserkundung, der virtuelle Informationen auf ausgewählte Objekte einblendete (HÖLLERER et al. 1999). DAHNE & KARIGIANNIS entwickelten *Archeoguide*, um Touristen an den historischen Stätten von Olympia interaktiv mit personalisierten Informationen zu versorgen. So konnten diese beispielsweise antike Strukturen an den ursprünglichen Standorten betrachten (siehe Abb. 31).



Abb. 31: Archeoguide reale Sicht (links), AR Rekonstruktion (rechts)
(DAHNE & KARIGIANNIS 2002)

Auch innerhalb von Gebäuden findet AR für den touristischen Zweck Verwendung. FÖCKLER et al. präsentierten eine Applikation zur Verbesserung der Museumsführung. Das System *PhoneGuide* kann dem Besucher zusätzliche Informationen zu den Ausstellungsstücken geben, die dieser mit seiner Handycamera fokussiert. Eine Anwendung, die auf touristische wie auch navigatorische Zwecke ausgelegt ist, wurde von SCHMALSTIEG et al. (2007) in Form eines mobilen Stadtnavigationssystem entworfen. Auch hier kann der Benutzer sich zusätzliche Informationen zu Gebäuden oder anderen Objekten einblenden, sich aber auch navigieren lassen. Eine ähnliche Anwendung konzipierten TOKUSHO & FEINER, die dem Nutzer mit *AR Street View* die Möglichkeit bieten, Zusatzinformationen für das Orientieren und Navigieren in unbekannten Städten zu erhalten. So werden Straßennamen, Standorte, Pfade zu bestimmten, ausgewählten Plätzen und Orten intuitiv, je nach Standort des Nutzers visualisiert. Auch im Bereich der Autonavigation wird AR verwendet. KROLEWSKI & GAWRYSIAK entwickelten eine Alternative zu herkömmlichen Navigationssystemen, indem Informationen (Tankstellen, Parkplätze, etc.) und Routen auf dem mobilen Endgerät des Fahrers eingeblendet werden, das mittels einer Vorrichtung an der Windschutzscheibe des Autos angebracht ist. Inzwischen besitzen neue und hochpreisige Automobile oftmals HUDs (siehe Abb. 32), über die der Fahrer zusätzliche Informationen über nicht einsehbare Bereiche, Routen, Umgebung etc. erhält und somit seinen Blick nicht mehr auf die Navigationselemente in der Mittelkonsole lenken muss, da die Überlagerung direkt in seinem Blickfeld, entweder direkt auf der Windschutzscheibe oder auf einem vorgehängten transparenten Display, ausgeführt wird (CAO et al. 2018).

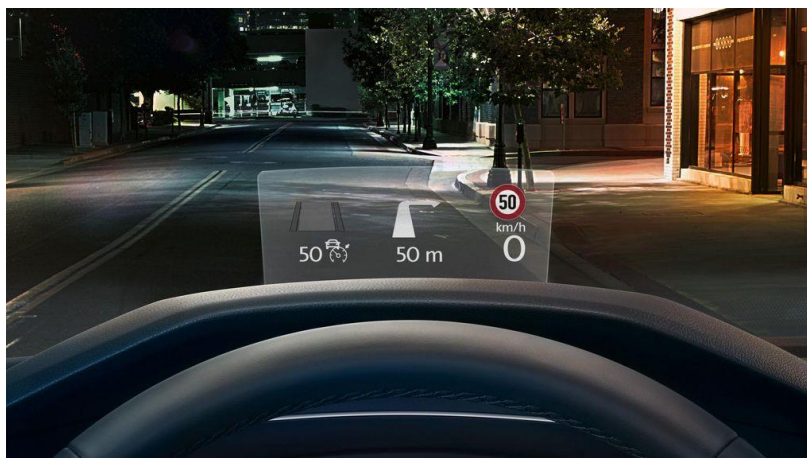


Abb. 32: HUD Volkswagen Tiguan Allspace
(<https://www.volkswagen.at/tiguan-allspace/head-up-display>)

Erziehung und Unterricht

Durch eine Erweiterung der Lernumgebung um virtuelle Objekte kann der Lernprozess der Lernenden nachweislich verbessert werden. Grund hierfür ist das Lösen von Aufgaben verschiedener Komplexität während der Erforschung des Gegenstandes, was sowohl in Gruppen- als auch Einzelarbeit durchgeführt werden kann (siehe Abb. 33).

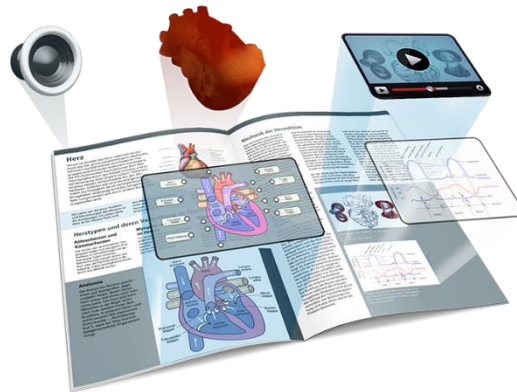


Abb. 33: AR als kooperative Lehrbuchanreicherung
(<https://www.metabuch.de/>)

Durch AR soll der Lösungsvorgang schneller und einfacher verstanden werden, einhergehend mit der Möglichkeit, schwierigere Aufgaben zu lösen. Zu erwähnen ist, dass ebenso Lehrende von AR-Anwendungen profitieren, da bessere Rückkopplungsmechanismen in der Zusammenarbeit mit den Lernenden entstehen (FELLMANN et al. 2015). Dies wurde auch bereits durch einige Studien mit Schulklassen bestätigt, in denen sowohl Printmedien als auch Lehrbücher mit AR Anreicherung eingesetzt wurden (BILLINGHURST et al. 2014). So wurde beispielsweise die Anwendung *colAR mix1* zum berufsbezogenen Spracherwerb von Migranten entwickelt, die es dem Nutzer ermöglicht, Objekte von Zeichnungen dreidimensional darzustellen und diese nach eigenen Wünschen zu texturieren und zu colorieren (BILLINGHURST et al. 2014). Eine ähnliche Anwendung ist *MOW*, bei der AR zum Fremdspracherwerb eingesetzt wird. Hier werden Bilder mit Begriffen aus der jeweilig gewünschten Sprache virtuell überlagert (BARREIRA et al. 2012).

Marketing und Shopping

AR birgt sowohl für Kunden als auch Verkäufer neue Chancen. So können sich Käufer viele Zusatzinformationen über Produkte einholen, der Verkäufer dagegen

beispielsweise Daten der Blickpfade, um daraus Schlussfolgerungen über das Kaufverhalten seiner Kunden nach Ort und Art der Gegenstände zu analysieren (FELLMANN et al. 2015). Zudem kann mit AR verstärkt die Aufmerksamkeit der Kunden auf ausgewählte Produkte gelenkt werden. Auch für das Direktmarketing kann AR eingesetzt werden. Virtuelle Anzeigetafeln sprechen gezielt potentielle Kunden an, indem Daten aus deren persönlichen Profilen abgerufen werden und somit eine perfekt auf den Verbraucher zugeschnittene, individuelle Werbung präsentiert wird (HÖLLERER & K FEINER 2004). Bekanntes Beispiel ist eine AR-Anwendung für den Film *Transformers 3*, die es mobilen Endgeräten ermöglichte, 3D-Inhalte (z.B. Clips, Trailer) zusätzlich zu den statischen Postern einzublenden. (BILLINGHURST et al. 2014). Ein weiteres Beispiel ist die bereits verbreitete Anwendung der *Virtual Dressing Rooms*. Durch die Kombination von Webcam und 2D-Grafikmodellen der Kleidung kann der Kunde eine virtuelle Shoppingtour antreten und seinen Körper mit den gewünschten Kleidungsstücken überblenden (FELLMANN et al. 2015). Eine ähnliche Funktionsweise weist auch die *IKEA Place* Applikation auf (siehe Abb. 34), die es dem Kunden ermöglicht, Produkte wie Sofa, Sessel oder Couchtisch in den eigenen Räumen virtuell einzublenden (IKEA 2017).



Abb. 34: IKEA Place

(<https://www.techbook.de/apps/ikea-place-augmented-reality-test>)

Spiele

Intention der Spielentwickler ist es, durch die Kombination von realen und computergenerierten Objekten ein völlig neues, kollaboratives Spielerlebnis zu ermöglichen (FELLMANN et al. 2015). Zu erwähnen ist in jedem Fall *ARQuake* (siehe Kapitel 2.2), ein mobiles Einzelspielerspiel, das auf der damals populären Desktopversion *Quake* basiert und das

erste veröffentlichte AR-Game war. Die Spieler bewegen sich mit einem HMD in der realen Welt und benutzen Steuerungselemente (z.B. Knöpfe und Joysticks), um virtuell eingeblendete Monster zu töten (THOMAS et al. 2000). Etwas aktueller und dadurch bekannter sind *INGRESS* und vor allem *Pokémon GO*, Multiuserspiele entwickelt von *Niantic, Inc.*. Bei beiden Spielen ist ein Internetzugang und GPS zur Ortung erforderlich. Zudem wird ein Cloud-Server verwendet, um virtuelle Objekte (z.B. Pokémons) zu lokalisieren und zu visualisieren, wobei es Ziel der Spieler ist, zuerst an den relevanten Orten mit den gesuchten Objekten zu sein (BOULOS et al. 2017; CHATZOPOULOS et al. 2017).

3 METHODIK

Das folgende Kapitel zeigt die methodischen Teilschritte der Masterarbeit. Um einen ersten Überblick zu erhalten, ist zunächst ein Gesamtüberblick in Form eines Workflow-Diagramms (siehe Abb. 35) aufgeführt. Anzumerken ist, dass die Literaturrecherche aufgrund ihres integralen Bestandteils einer wissenschaftlicher Arbeit nicht explizit als Methode ausgewiesen und erläutert wird und diese auch über den gesamten Zeitraum der Arbeit fortlaufend getätigt wurde. Sie bildet jedoch einen zentralen Input für die Bestandsanalyse und ist aus diesem Grund im Workflow aufgeführt.

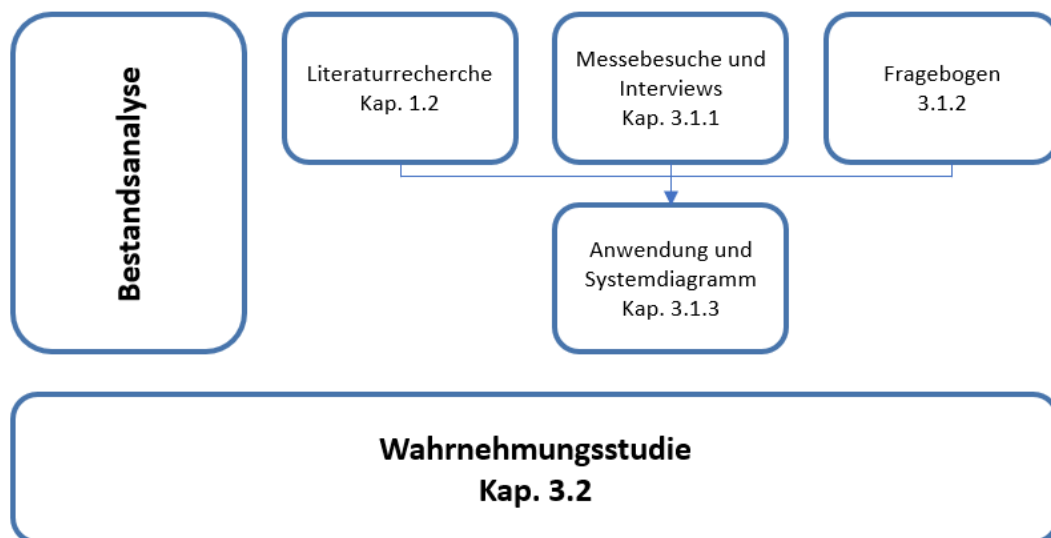


Abb. 35: Workflow Methodik
(eigene Darstellung)

Grundsätzlich kann der methodische Ablauf der Arbeit in zwei Gesamtkomplexe unterteilt werden. Zunächst erfolgt eine Bestandsanalyse, bestehend aus Literaturrecherche, Messebesuchen und Interviews sowie einem Fragebogen. Daraus resultiert die Erstellung des gesamten Anwendungssystems, das graphisch in Form eines Diagramms aufbereitet wird. Auf den aus der Bestandsanalyse gewonnenen Erkenntnissen gründet die darauf folgende Wahrnehmungsstudie. Das detaillierte, methodische Vorgehen hierfür findet sich in Kapitel 3.2.

3.1 Bestandserfassung

Zunächst werden ausgewählte Methoden erläutert, die für die Erfassung des derzeitigen Stands und des daraus resultierenden Systemaufbaus relevant sind. Ein großer Bestandteil der notwendigen Informationen wird wie bereits erwähnt durch die Literaturrecherche gewonnen und findet sich in Kapitel 1.2.

3.1.1 Messebesuche und Interviews

Nach erster Auswertung der Literaturrecherche wurden Besuche bei Fachmessen getätigt, um aktuelle prototypische Applikationen und zukünftige Trends zu untersuchen und Interviews mit Fachfirmen und Anwendern durchzuführen. Alle Eigen- sowie Firmennamen sind aufgrund des Datenschutzes nicht wörtlich genannt.

Interviews sind in ihrer Form eine Methode der empirischen, qualitativen Sozialforschung und dienen oftmals der Ermittlung von Expertenwissen über das jeweilige Forschungsgebiet (FLICK 2000). Besonders Fachmessen- und kongresse bieten deshalb eine sehr gute Plattform, um detailliertes Wissen, neue Trends und auch prototypische Anwendungen direkt aufzunehmen. Nach BORTZ & DÖRING (2015) sucht empirische Forschung nach Erkenntnissen durch systematische Auswertung von Erfahrungen (empirisch = altgriechisch „ἐμπειρικός“, auf Erfahrung beruhend). In der qualitativen Sozialforschung weit verbreitet gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Interviewformen (z.B. narrative, ethnografische, biographische, fokussierte, problemzentrierte Interviews, Leitfadeninterview,...), wobei die meisten vor allem einer Vorbereitung standardisierter Erhebungen dienen. Für die vorliegende Thematik wurde die Form des Experteninterviews ausgewählt, das in seiner Ausprägung im Prinzip keine eigene Interviewform darstellt, sondern als spezielle Variante des Leitfadeninterview geführt wird. Dies implementiert eine Führung des Interviews durch einen vorher angefertigten Leitfaden, welcher ein unterschiedlich starkes Strukturierungsniveau aufweisen kann. Es führt dazu, dass je nach Ausprägung entweder der Befragte oder die interviewende Person das Gespräch selbst steuert beziehungsweise den Gesprächsfluss lenkt (HELFFERICH 2010). In diesem Fall wurde in allen Interviews eine moderate Form gewählt, bei der die interviewende Person lediglich darauf geachtet hat, dass nach Möglichkeit alle vorher definierten Themenpunkte behandelt wurden. Spezifiziert wird ein Experteninterview dann

lediglich durch die befragte Zielgruppe der Experten. Diese stehen nicht als Person im Mittelpunkt des Forschungsgeschehens, sondern gelten vielmehr als Repräsentanten für Handlungs- und Sichtweisen einer bestimmten Expertengruppe (MEUSER & NAGEL 1991). Besonders wichtig ist die vorherige Einarbeitung des Fragestellers in die zu untersuchende Thematik, da dadurch der Leitfaden und die dadurch entstehenden Fragen und Problematiken maßgeblich beeinflusst werden (FRIEDRICHS 1990; HALBING 2018).

Folgende Messen und Veranstaltungen wurden im Rahmen der Bestandsanalyse besucht. Anzumerken ist hierbei, dass sich die Tabelleninhalte ausschließlich auf themenrelevante Aspekte beziehen.

Tab. 5: Übersicht Messebesuche und Interviews

in A	INTERGEO	ESRI Anwender-treffen Bayern	IP SYSCON	Münchner GI-Runde
Ort	Frankfurt	Würzburg	Hannover	München
Datum	16. – 18.10. 2018	29.11.2018	26. – 27.02. 2019	14. – 15.03.2019
Programmpunkte	-	-	1	2
Aussteller	6	1	-	-
Interviews	4	1	4	1

Auf der INTERGEO 2018, einer Fachmesse und Konferenz für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, die von der DVW (Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V.) organisiert wird, wurde die Thematik AR im regulären Programm nicht angesprochen. Allerdings konnten aufgrund der Vielzahl der auch internationalen Aussteller mehrere Interviews mit Vertretern dieser durchgeführt werden. Zwei Aussteller hatten bereits AR Anwendungen im Einsatz, wobei anzumerken ist, dass diese für den Einsatz in der CAFM Branche (z.B. Vermessung von Hausanschlüssen) entwickelt wurden. Ein weiterer konzipierte und entwickelte bereits eine Smartphone-Applikation für die Leitungsvisualisierung, Planung und Kataster sowie Stadtplanung. Diese wurde ein Jahr später auf der INTERGEO 2019 vorgestellt und kann inzwischen erworben werden. Alle weiteren waren zu dem Zeitpunkt dabei, Applikationen zu konzipieren beziehungsweise zu entwickeln, konnten aber noch keinerlei Auskünfte zu späterer Produktivität geben. Insgesamt konnte in den Interviews allerdings festgestellt werden,

dass die Nachfrage nach AR-Produkten in der Ver- und Entsorgung aus verschiedenen Gründen noch nicht so hoch ist, dass eine kosten- und zeitintensive Entwicklung vertretbar wäre. Da die Leitungsnetze von öffentlicher Hand organisiert und dokumentiert werden, wird oftmals das langsame und wenig fortschrittliche Handeln von vielen öffentlichen Trägern als Hindernis gesehen. Zudem verfügen Anwender oft nur über geringe technologische Kenntnisse und stehen solch innovativen Anwendungen mit Skepsis gegenüber. Weiterhin ist oftmals das Vorhandensein von geeigneter Hardware nicht gegeben, was zu hohen finanziellen Ausgaben führen würde. Ebenfalls angesprochen wurde eine vielfach unzureichende und nicht konsistente Datenhaltung, was bei vielen Kunden zunächst einmal zu größeren Vorarbeiten bezüglich Geodateninfrastruktur führen würde. Bei ersten Tests konnte aber durchaus der Mehrwert für einfache Visualisierungen von Leitungen festgestellt werden, sodass von mehreren Interviewpartnern angemerkt wurde, dass zunächst ein Umdenken bei öffentlichen Akteuren stattfinden sollte. Zudem ist eine stärkere Verbreitung der AR Technologie und eine Sensibilisierung für diese Technik nötig.

Bei dem für das Bundesland Bayern in Würzburg stattfindenden ESRI Anwendertreffen wurde AR in der Agenda ebenfalls nicht explizit erwähnt. Auch bei der Vorstellung aktueller Projektbeispiele der Esri Partner konnte kein Informationsgewinn erzielt werden. Während der Ausstellung allerdings konnte ein Kontakt zu einem Teilnehmer, inzwischen im beruflichen Sektor der Fernerkundung tätig, hergestellt werden. Dieser berichtete von einer prototypischen Entwicklung bei seiner letzten Arbeitsstelle. Hier wurde AR genutzt, um Bürger bei stadtplanerischen Thematiken wie Grünordnungsplanung zu beteiligen. Das Projekt wurde aufgrund großer Kosten allerdings nicht umgesetzt. Weiterhin konnte in Feldversuchen festgestellt werden, dass die soziale Akzeptanz selbst bei der Nutzung eines Tablets nicht ausreichend hoch war, da diese nahezu dauerhaft Irritationen und negative Rückmeldungen aufgrund von Störung auslösten. Probleme gab es ebenso bei mobilem Abruf größerer Datenmengen von einem Geodatenserver. Insgesamt sah der Teilnehmer besonders bei einfachen Anwendungsfällen, z.B. lediglich Visualisierung, und im Bereich der Tiefenwahrnehmung das größte Potential für die Entwicklung einer Applikation.

Der Fachkongress der Firma IP SYSCON GmbH konnte im sechsstündigen Informationsforum Ver- und Entsorgung im Gegensatz zu den vorigen Messebesuchen, bei denen der

Fokus auf der Kontaktaufnahme zu Personen aus der Softwarebranche (Anbieter) lag, gezielt eine Plattform für den Informationsaustausch mit Anwendern aus dem relevanten Themengebiet bieten. Zudem wurde die Masterarbeit und erste Ergebnisse der Auswertung des Fragebogens (siehe Kap. 3.1.2, S. 59 ff) in einem halbstündigen Slot vorgestellt, sodass im weiteren Verlauf der zweitägigen Veranstaltung ein intensiver Austausch über den Einsatz von AR mit den Anwendern möglich war. Insgesamt gab es großes Interesse und positive Resonanz an einer AR Anwendung, wobei allerdings anzumerken ist, dass kritische Haltungen leicht überwogen. So wurden besonders Kosten und öffentliche Verwaltungsstrukturen als größte Hindernisse einer Einführung identifiziert. Weiterhin war eine gewisse Skepsis gegenüber einer zwar innovativen, aber eben auch sehr technischen Neuerung gegeben. Während der Interviews konnte allerdings auch festgestellt werden, dass oftmals unzureichende Kenntnisse über die Funktionalität und die Voraussetzungen einer Anwendung Grund für eine eher zurückhaltende Meinung waren. Zudem klagten viele Anwender über schlechte Datenverbindung und Positionserfassung, was für die Umsetzung bei komplex strukturierten und sehr dichten Versorgungsnetzen negative Auswirkungen hätte. Neben den Interviews mit Anwendern konnte zusätzlich noch ein weiteres Interview mit einem Mitarbeiter eines Softwareunternehmens geführt werden. Dieser berichtete von einem großen Potential der Technologie und konnte mehrere Anwendungen aus dem Bereich der CAFM aufführen. Allerdings empfand er für einen Einsatz im Ver- und Entsorgungssektor lediglich Visualisierungen für z.B. Planungsvorhaben oder Schadensvermeidung als sinnvoll, da für eine Datenerfassung oder -bearbeitung in der Regel einfachere Technologien ausreichen. Dies konnte auch in vergleichbaren Anwendungen in anderen Branchen beobachtet werden. Zudem betonte er, dass bei einer komplett eigens entwickelten Applikation, zunächst sehr hohe Investitionskosten aufgenommen werden müssten. Dies kann durch die Implementierung von bestehenden Software Frameworks maßgeblich verringert werden, so dass deren Verwendung vorzuziehen ist.

Zuletzt wurde noch die Münchner GI Runde, die gemeinsam vom Runden Tisch GIS e.V. und dem Lehrstuhl für Geoinformatik der Technischen Universität München veranstaltet wird, besucht. Dabei konnte an zwei Vorträgen mit AR-Thematik teilgenommen werden. Der eine behandelte die AR-Visualisierung eines digitalen Stadtmodells sowie seiner zukünftigen Bebauung mit einer Microsoft Hololens. Neben Einsatzgebieten in der

Stadtplanung und der Informationsvermittlung für Bürger ergaben sich aber auch noch weitere Anwendungsbereiche wie Tourismus, Katastrophenschutz oder öffentlicher Verkehrsplanung inklusive Feinstaubbelastungsstudien. Der andere Vortrag thematisierte die Visualisierung von Geobasisdaten mit georeferenzierender AR-Technologie. Diese wurde für folgende Einsatzfelder entwickelt:

- Visualisierung der Geobasisdaten mit perspektivischen AR-Darstellungen
- Mobile AR-Aufnahme von unzugänglichen Bodenpunkten
- AR-Sachdatenabfrage beliebiger Geobasisobjekte

In der anschließenden Diskussion wurde explizit darauf hingewiesen, dass eine Weiterentwicklung der Funktionalität nun zunächst abgeschlossen sei, da die Anwendung derzeit einfach handzuhaben und vor allem auch lauffähig auf handelsüblichen Consumergeräten ist. Besonders bei der Datenerfassung ist aber eine hohe Positionsgenauigkeit erforderlich, was einen zusätzlichen GNSS-Empfänger erfordert.

Nach der Veranstaltung konnte in einem Interview mit dem Mitarbeiter eines der Vortragenden Unternehmen erfahren werden, dass in Zusammenarbeit mit der Universität München und weiteren Partnerfirmen gerade ein Projekt erarbeitet wurde, das Sensoren und Daten eines Baggers als Hologramme auf die Hololens des Baggerführers visualisiert und mit beliebigen Geodaten kombinieren kann. So ist es möglich beispielsweise Grubenausmaß, Hindernisse beim Schwenken des Baggerarms, Relief, aber theoretisch eben auch Leitungsnetze anzuzeigen und die Qualität der erbrachten Leistung und die Sicherheit bei der Ausführung maßgeblich zu erhöhen. Auch hier wurde im Laufe des Gesprächs ersichtlich, dass der Fokus auf den Vorteilen der Visualisierung liegt und nicht unbedingt auf der Erfassung oder dem Bearbeiten der Daten. Besonders für verborgene Objekte oder schwer einsehbare Bereiche sind die Vorzüge der AR-Darstellung für den Anwender zu nennen.

Abschließend lässt sich feststellen, dass durch die aktive Teilnahme an eben erwähnten Veranstaltungen ein großer Input in Bezug auf verschiedene AR-Projekte und deren Vor- wie Nachteile erzielt werden konnte. Im fachspezifischem Dialog mit Anwendern aus dem Bereich der Ver- und Entsorgung konnte weiterhin diesen die Thematik von Augmented Reality näher gebracht werden.

3.1.2 Fragebogen

Aus den bis dahin gewonnenen Erkenntnissen wurde ein Fragebogen konzipiert, der mittels eines Online Tools verbreitet und ausgewertet wurde. Befragungen zählen zu den wichtigsten wissenschaftlichen Methoden der Datenerhebung und können im direkten Kontakt von Forscher und befragter Person oder medial (online, telefonisch, schriftlich) durchgeführt werden. Standardisierte Befragungen kommen vor allem bei Surveys, repräsentativ angelegten Untersuchungen mit einer verhältnismäßig großen Stichprobe vor (SCHNELL et al. 2018). In dieser Arbeit wurden teilstandardisierte Fragebögen erstellt, das heißt, dass der Fragetext und die damit verbundenen Antwortvorgaben in der Regel vorgeschrieben sind, allerdings auch offene Fragen und Antworten eingesetzt werden, um eigene Meinungen oder Haltungen der Befragten zu ermitteln (BARTH 2011). Durch die Standardisierung sollen möglichst äquivalente Bedingungen für alle Befragten hergestellt werden. Dabei ist es völlig unabhängig, ob die Umfrage persönlich oder medial durchgeführt wird. Die Herstellung der gleichen Bedingungen führt zu einer Vergleichbarkeit der Antworten, sodass solche Befragungen quantitativ ausgewertet werden können (PRÜFER & STIEGLER 2002; LEDERER 2015). Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden schriftliche Befragungen über eine online Verbreitung ausgeführt. Vorteil dabei ist die vergleichsweise günstige Durchführung, da in kürzerer Zeit mit weniger Personalaufwand eine größere Zahl von Befragten erreicht werden kann. Zudem kann dadurch der Interviewer als Fehlerquelle ausgeschlossen werden, da dieser beispielsweise unkontrolliert agieren oder heikle Fragen übergehen könnte. Ein weiterer Vorteil ist die Anonymität der Befragten, die nachweislich zu zuverlässigeren Ergebnissen führen. Dagegen kann nicht kontrolliert werden, ob die Befragungssituation durch andere Personen oder Medien beeinflusst wird. Weiterhin bedarf es einer sehr ausführlichen Vorbereitung des Fragebogens, da sämtliche Fragen zweifelsfrei verstanden werden müssen, da keine Nachfragen an den Interviewer möglich sind (BARTH 2011). Im Vergleich zu klassischen schriftlichen Befragungen, bieten Onlineumfragen zahlreiche Vorteile, da beispielsweise Konsistenzprüfungen vorgenommen und weitere Medien, sowohl Audio als auch Video, eingebettet werden können. Zudem erfolgt in der Regel eine automatische Auswertung der standardisierten Fragen, so dass diese lediglich noch detailliert betrachtet und in Korrelation gestellt werden müssen (BANDILLA 2015). Ebenso entfällt die Gefahr, Filterhinweise, d.h. ein Überspringen der Fragen bei bestimmten Bedingungen/Antworten,

zu vergessen, da diese automatisch einprogrammiert werden und dann automatisch erfolgen (PRÜFER & STIEGLER 2002). Gerade bei schriftlichen Befragungen sollte explizit darauf geachtet werden, dass der Fragebogen eine angemessene Länge besitzt, da sonst die Bereitschaft zum Ausfüllen sinkt (BARTH 2011).

Ziel dieses Fragebogens war es zu ermitteln, inwieweit AR bereits bei Anwendern in öffentlichen Institutionen bekannt ist und ob bereits fachspezifische Anwendungen eingesetzt werden. Um abzuschätzen, auf welchem technologischen Stand sich die Akteure befinden, wurde ebenso der Einsatz der technischen Mittel im Außendienst abgefragt. Dies ist insofern auch von Relevanz, da das Interesse eruiert wurde, AR zukünftig auch in der täglichen Arbeit einsetzen zu können.

Dafür wurden 334 Bestandskunden aus dem Bereich Ver- und Entsorgung der Firma IP SYSCON GmbH über einen entsprechenden Verteiler per förmlichen Anschreiben (E-Mail) angeschrieben, da so eine geeignete Zielgruppe gezielt angesprochen werden konnte, um möglichst aussagekräftige und passende Ergebnisse zu erhalten. Durch die Kooperation wurde zudem eine sehr gute Rückmeldungsrate von 33 % erzielt, was repräsentativere Aussagen zur Folge hat (siehe Tab. 6).

Tab. 6: Statistik der Umfrage Bestandsanalyse

Zielgruppe	Anwender der öffentlichen Ver- und Entsorgung
Anzahl der Anschreiben	334
Anzahl der Antworten	106
Rückmeldequote	33 %
Dauer der Umfrage	8 Wochen
Anzahl der Fragen	15

Die Umfrage wurde über einen relativ langen Zeitraum von 8 Wochen freigeschaltet, da in diesem Zeitraum Weihnachtsferien lagen. Dadurch konnte es dennoch allen Personen trotz Feiertagen und möglichen Urlauben ermöglicht werden, an der Umfrage teilzunehmen. Insgesamt beinhaltete der Fragebogen 13 fachliche Fragen, zu denen noch persönliche Informationen wie Alter und Arbeitsbereich abgefragt wurden.

Der Fragebogen wurde mit Hilfe der Pro-Edition des Online-Umfragetools LimeSurvey realisiert (siehe Tab. 7). LimeSurvey ist in PHP (Hypertext Preprocessor) geschrieben und basiert auf einer MySQL-, PostgreSQL- oder MSSQL-Datenbank. Es bietet dem Nutzer die Möglichkeit, ohne Programmierkenntnisse Online-Umfragen zu entwickeln, zu designen und diese dann auch zu veröffentlichen. Da die Daten auf einem eigenen Server gespeichert werden, können alle datenschutzrechtlichen Vorschriften beachtet werden (siehe Abb. 36).



Abb. 36: Startfolie Umfrage Bestandsanalyse
(eigene Darstellung)

Durch eine Vielzahl an verschiedenen Frage- und Antworttypen, Bedingungsoptionen für folgende Fragen, der einfachen Integration von Bildern und Videos sowie eine automatische Statistik- und Auswertungsfunktion stellt LimeSurvey eine sehr gute Lösung für individuell gestaltete und komplexe Umfragen dar (LimeSurvey, 2019).

Tab. 7: Aufbau Fragebogen Bestandsanalyse

	<i>Inhaltsangabe</i>	<i>Frage-/Antwort- typ</i>
Titelblatt	Informationen bezüglich Zielgruppe, Masterarbeit und Datenschutz	Informationstext
Abfrage Bekanntheit		
Frage 1	Ist Ihnen der Begriff „Augmented Reality (AR)“ bekannt?	single choice
Frage 2 (bei ja Frage 1)	In welchem Zusammenhang ist Ihnen der Begriff „Augmented Reality (AR)“ bekannt?	Freitext

Erläuterung AR	Kurzerklärung von AR mit Definition und Beispielen	Informationstext mit Bildern
Bestandsaufnahme		
Frage 3	Verwenden Sie bereits eine Augmented Reality Anwendung?	single choice
Frage 4	Setzt ein Kollege/eine Kollegin bereits Augmented Reality ein?	single choice
Frage 5 (bei ja Frage 4)	In welchem Zusammenhang setzt ein Kollege/eine Kollegin bereits Augmented Reality ein?	Freitext
Frage 6	Befinden Sie sich im Außendienst eher in einem Gebäude, z.B. bei einem Zähler (Indoor) oder im Freien, z.B. Straße (Outdoor)?	single choice
Frage 7	Welche Technik verwenden Sie derzeit im Außendienst?	multiple choice + Freitext
Frage 8	Welche Probleme treten im Außendienst regelmäßig auf?	multiple choice + Freitext
Ausblick/Zukunft		
Frage 9	Welche Technik würden Sie in Zukunft gerne einsetzen?	multiple choice + Freitext
Frage 10	Könnten Sie sich vorstellen, Informationen vor Ort mit Hilfe von Augmented Reality abzurufen?	single choice
Frage 11	Sehen Sie Verbesserungspotential, welches mit einer Augmented Reality Anwendung erzielt werden könnte?	single choice
Frage 12 (bei positiv Frage 11)	In welchen Bereichen sehen Sie das größte Verbesserungspotential, welches mit einer Augmented Reality Anwendung erzielt werden könnte?	multiple choice + Freitext
Frage 13	Woran könnte eine Einführung einer Augmented Reality Anwendung scheitern?	multiple choice + Freitext
Persönliche Angaben		
Frage 14	Bitte teilen Sie uns Ihren Arbeitsbereich mit.	single choice + Freitext
Frage 15	Welcher Alterskategorie gehören Sie an?	single choice
Schlussblatt	Bedankung und Informationen über Ergebnismitteilung	Freitext

Zu Beginn wurden zwei einleitende Fragen nach der Bekanntheit von Augmented Reality gestellt, um zu überprüfen, ob den Anwendern der Begriff geläufig ist oder sie noch keinerlei Berührungspunkte mit dieser Technologie hatten. Darauf folgte eine

Bestandsaufnahme der aktuell verwendeten Technik im Außendienst und des bisherigen Einsatzes von AR, sowohl privat als auch beruflich oder der Nutzung durch Kollegen. Wird vom Befragten keine Außendiensttätigkeit durchgeführt, werden automatisch die Fragen zur verwendeten Technik und dem Auftreten von Problemen im täglichen Workflow übersprungen. Daraufhin sollten die Befragten die zukünftig gewünschte Technologie für den Außendienst angeben (dieselbe Auswahlmöglichkeit wie bei der Bestandsaufnahme der aktuell verwendeten Technik) und Potential und Hindernisse bei der Einführung abgrenzen. Nach erfolgter Erstellung der Umfrage wurden im Rahmen der Aktivierung/Freischaltung noch Einstellungen bezüglich Datenschutz und Personalisierung angepasst, so dass die Antworten anonym und ohne Datumstempel übermittelt und weitere persönliche Informationen wie IP-Adresse nicht abgespeichert wurden.

3.1.3 Anwendungsfälle und graphische Darstellung

Wird von Anwendungsfällen an sich gesprochen, muss zunächst eine genaue Abgrenzung des Begriffs erfolgen. Bereits 1987 definierte JACOBSON einen Use Case als „*a special sequence of transactions, performed by a user and a system in a dialogue*“. Es wird dementsprechend die Abfolge der Aktionen dargelegt, die im Zusammenspiel von Anwender und System ausgeführt werden. Nach COCKBURN (2000) ist ein Anwendungsfall ein Vertrag zwischen Stakeholdern eines Systems über dessen Verhalten. Er beschreibt das Verhalten und/oder die Funktion des (Teil)Systems unter verschiedenen Bedingungen und wie das System auf Anfragen des Stakeholders reagiert beziehungsweise antwortet. Use Cases werden seit Anfang der 90er Jahre im Bereich der Softwareentwicklung oder auch der Produktentwicklung eingesetzt (ROSENBERG & STEPHENS 2007). Da Anwendungsfälle zwar sehr nützlich bei der Identifikation von Anforderungen sind, aber oftmals für den praktischen Gebrauch zu umfangreich, führten JACOBSON et al. 2016 eine modernere Form, die Use Cases 2.0, ein. Hier dokumentierten sie sechs Prinzipien für eine erfolgreiche Entwicklung von Use Cases:

1. *Keep it simple by telling stories.*
2. *Understand the big picture.*
3. *Focus on value.*

4. *Build the system in slices.*
5. *Deliver the system in increments.*
6. *Adapt to meet the team's needs.*

Um einen Anwendungsfall zu verstehen, muss man eine Geschichte erzählen, die berichtet, wie man das gesetzte Ziel erreicht und wie mit möglichen Problemen umgegangen werden soll, da dies die einfachste und effektivste Möglichkeit ist, Wissen an andere Personen weiterzugeben. Unabhängig von der Größe des Systems ist das Verständnis des Gesamtbildes von wesentlicher Bedeutung. Ohne dieses ist es unmöglich, Entscheidungen über Systemanpassungen hinsichtlich Kosten und Nutzen zu treffen. Um dieses zu erhalten, ist das Erstellen von Use Case Diagrammen prioritär. Für das Systemverständnis ist es ebenso wichtig, sich auf den Nutzen zu konzentrieren, der für die Nutzer und andere beteiligte Akteure im Zentrum steht. Da dieser nur zum Tragen kommt, wenn das System auch angewendet wird, sollte sich nicht auf einzelne Funktionen fokussiert werden, sondern auf die Frage, wie das System genutzt werden kann. In der Regel erfordern Systemerstellung bis zur Einführung viel Arbeit, da sie immer komplexere Anforderungen und Vorbedingungen besitzen. Deshalb ist es sinnvoll, das System vielschichtig aufzubauen, um die jeweilige Sinnhaftigkeit dem Benutzer zu erschließen. Ebenso ist davon auszugehen, dass sich solch komplizierte Systeme über mehrere Generationen fortentwickeln und nicht in einem Zug hergestellt werden. Sie sind somit aus einer Vielzahl an Entwicklungsstufen entstanden, von denen jede auf der vorherigen aufbaut. Da es keine einheitliche Lösung aufgrund unterschiedlicher An- und Herausforderungen gibt, müssen immer unterschiedliche Stile und Detailgrade je nach Bedürfnis der Nutzer verwendet werden, um diese nicht zu unter- bzw. überfordern (JACOBSON et al. 2016).

Die thematischen und formalen Inhalte der Use Cases werden durch einige Spezifikationen bestimmt. So sollten je nach Möglichkeit und Bedarf beispielsweise Name und eindeutige Nummer, Referenzen zu anderen Use Cases, beteiligte Akteure, Kurzbeschreibung, Auslöser, Vor- und Nachbedingungen, Standardablauf und Systemgrenzen enthalten sein (KULAK & GUINEY 2001). Das System ist diejenige Einheit, die das Verhalten, das durch Anwendungsfälle wiedergegeben wird, anbietet. Akteure interagieren mit dem System, wobei anzumerken ist, dass diese immer außerhalb des Systems stehen. Ein

Akteur stellt weiterhin lediglich eine Rolle dar, die sich mit dem System austauscht. Dadurch ist nicht festgelegt, dass ein Akteur eine natürliche Person sein muss, sondern kann beispielsweise eine Hardware, Sensoren oder ein Ereignis sein. Akteure können die Ausführung des Use Cases anstoßen oder aber auch lediglich daran beteiligt sein, ob passiv oder aktiv. Zwischen Use Case und Akteur herrscht eine Request-Response Beziehung, die durch Assoziationen dargestellt werden, wobei diese stets binär sein müssen, so dass an einer Assoziation genau zwei Partner beteiligt sind. (ROSENBERG & STEPHENS 2007)

Soll neben den Abläufen aus den einzelnen Use Cases zusätzlich das Gesamtsystem mit seinen Zusammenhängen von Anwendungsfällen und Akteuren beschrieben werden, ist eine graphische Darstellung erforderlich. Diese dient somit als visualisierender Repräsentant der Use Cases, wird durch UML als Verhaltensdiagramm definiert und enthält neben den Anwendungsfällen auch die Akteure und sämtliche, das Gesamtsystem betreffende Beziehungen (KULAK & GUINEY 2001; SANTANDER & CASTRO 2002; SWAIN et al. 2010). Use Case Diagramme fungieren folglich als visuelles Tool, das Entwicklern die Möglichkeit bietet, ein gemeinsames Verständnis von Endbenutzern und Experten herzustellen. Das Diagramm beschreibt damit in einer hohen Abstraktion, welche Funktionen und Dienste von einem System für einen bestimmten Anwenderkreis zur Verfügung gestellt werden (KULAK & GUINEY 2001; SENGUPTA & BHATTACHARYA 2006).

In dieser Arbeit wurde durch eine Erkenntnisanalyse der vorgestellten Methoden der Bestands- und Bedarfsanalyse ein möglichst repräsentatives und praxisorientiertes Modell herausgearbeitet. Da sich die Erstellung von einzelnen Use Cases für die vorliegende Anforderung als nicht zielführend erwies, wurde die graphische Konzeption des gesamten Systems in den Vordergrund gestellt und nicht die Spezifizierung einzelner Anwendungsfälle. Begründet wird dies durch die Tatsache, dass keine spezielle Anforderung und Vorgaben (z.B. eines Kunden) an das Gesamtsystem gegeben sind und zudem eine Vielzahl an Use Cases für dieses erarbeitet werden müssten, da diese bereits eine sehr detaillierte und kleinstrukturierte Dimension aufweisen (siehe Tab. 8). Diese Ausprägung ist in diesem Stadium nicht umsetzbar und ohne Nutzeranforderungen auch dementsprechend wenig zielführend.

Tab. 8: Vorlage Use Case

Use Case „Name“
Use Case Nummer
Referenzen (Dokumente, andere Use Cases)
kurze Beschreibung/Zusammenfassung
Akteure
Auslöser/Trigger
Vorbedingungen/Preconditions
Standardablauf/essentielle Schritte
Alternative Abläufe/Erweiterungen
Erwartete & messbare Ergebnisse
Nachbedingungen/Postconditions
Systemgrenzen
Spezielle Anforderungen
Häufigkeit
Priorität
Bemerkungen/offene Punkte

Im Zentrum der Forschung steht dagegen das Gesamtkonstrukt/die Systemarchitektur an sich sowie die Beurteilung und Abwägung von systemrelevanten Komponenten und deren Relationen. Basierend auf dieser Erkenntnis wurde die Erstellung eines Systemdiagramms einem Use Case Diagramm mit davor erstellten Use Cases vorgezogen. Systemdiagramme repräsentieren die essentielle Systemstruktur und bilden Beziehungen zwischen sämtlichen Komponenten aus.

3.2 Wahrnehmungsstudie

Nach abgeschlossener Bestandsanalyse und des daraus resultierenden Systems sollte ein zentraler Aspekt dieses Anwendungsfalles validiert werden. Im Rahmen einer Wahrnehmungsstudie wurde nun eine zweidimensionale Kartenansicht, die derzeit bei Anwendern noch überwiegend Verwendung findet, mit einer Augmented Reality

Visualisierung verglichen, um Vor- beziehungsweise Nachteile der jeweiligen Darstellung herauszuarbeiten.

Verglichen wurde die Visualisierung von Punktoobjekten in einer 2D-Kartenansicht und einer AR-Displayansicht über die Software AuGeo von ESRI. Die Erfassung der Punktoobjekte (Objekte der Thematik Ver- und Entsorgung) erfolgte im Stadtzentrum Bambergs bei der Niederlassung der Firma IP SYSCON GmbH (siehe Abb. 37).



Abb. 37: Übersichtslageplan der erfassten Objekte
(eigene Darstellung)

Um aussagekräftige Ergebnisse bei der Befragung von Anwendern im Bereich der öffentlichen Ver- und Entsorgung zu erhalten, wurden lediglich einfache Punktoobjekte und keine Liniengeometrien (z.B. Leitungen, Kanäle) erfasst. Zudem konnte so auf eine bestehende Softwarelösung (AuGeo) zurückgegriffen werden. Als weiteres Kriterium für die Objektauswahl hatte zusätzlich die Tatsache Einfluss, dass es in AuGeo ausschließlich möglich ist, Punktgeometrien einzubinden.

3.2.1 Grundlagen visueller Wahrnehmung

Um eine aussagekräftige Studie durchführen zu können, ist es zunächst notwendig, die wichtigsten Aspekte der visuellen Wahrnehmung theoretisch zu betrachten.

Der Begriffskomplex „visuelle Wahrnehmung“ bezieht sich nicht nur auf die Fähigkeit, visuelle Reize aufzunehmen, sondern diese auch zu unterscheiden und durch Vergleich mit früheren Erfahrungen zu interpretieren (BÖHRINGER et al. 2008). Für die hier behandelte Thematik steht die Wahrnehmung von Karten im Zentrum, da diese die Grundlage für gelungene Interaktionen darstellt. Ausgangspunkt dafür ist allerdings die visuelle Wahrnehmung des Menschen mit ihren Möglichkeiten, Grenzen und Einschränkungen (TRAUN 2015). Wird also die grundsätzliche Anatomie des menschlichen Sehapparates vorausgesetzt, sind nebenbei noch Einstellungen, Erwartungshaltungen, Aufmerksamkeitsniveau entscheidende Faktoren, wie ein visueller Reiz wahrgenommen und darauf schließlich reagiert wird (WAGEMANS et al. 2012). Im folgenden Abschnitt werden nur die Aspekte kurz erläutert, die für die Wahrnehmung von Karten und Augmented Reality Visualisierungen von Relevanz sind.

Für jegliche Art des Mediums stellt das Auge mit seiner Funktionalität den zentralen Aspekt der visuellen Wahrnehmung dar. Das menschliche Sehsystem analysiert in jedem Augenblick eine Vielzahl von Merkmalen, die für unsere Wahrnehmung der Umwelt von Bedeutung sind. Dies können beispielsweise Farbe, Form oder Oberflächenstruktur von Objekten, aber auch ihre Entfernung zum Beobachter sowie ihre räumliche Orientierung und Bewegungsrichtung sein (ENGEL 1996). Das Auge verfügt über ca. 125 Millionen lichtempfindlicher Zellen in der Netzhaut, wobei sich ein Großteil der Sehkraft auf den sehr kleinen Teil der Netzhautgrube, der ungefähr ein Tausendstel der Netzhautfläche einnimmt, konzentriert, so dass dieser die Hälfte der visuellen Verarbeitungskapazität im Gehirn beansprucht. Da in diesem Bereich besonders die farbempfindlichen Zapfen (verantwortlich für das Sehen bei Tageslicht und das Farbsehen, ENGEL 1996) liegen, ist im zentralen Sehfeld nicht nur die Sehschärfe, sondern auch die Farbwahrnehmung am höchsten. In äußeren Regionen des Auges überwiegen die Stäbchen (verantwortlich für das Sehen bei Dunkelheit, ENGEL 1996), die lediglich Helligkeitsunterschiede wahrnehmen können, was zur Folge hat, dass tatsächlich nur in einem kleinen Bereich des Sichtfeldes hervorragend gesehen werden kann. Um aber dennoch ein Gesamtbild der

Umgebung zu erhalten, werden punktuelle Fixationen mit Sakkaden (extrem schnelle Blickbewegungen) verbunden, wobei während den Sakkaden die Informationsaufnahme kurz unterbrochen wird. Dadurch wird das peripher gesehene Umfeld mit dem zentralen, scharfen Sichtfeld zu einem visuellen Gesamteindruck kombiniert. Dies ist insbesondere für die Kartenerstellung von Relevanz, da eine graphisch klar strukturierte Karte dem Auge mehr Führung bei einer ersten, groben Orientierung bietet (ENGEL 1996; KERSTEN 2003; TRAUN 2015). Dagegen begünstigt das sequentielle Abtasten der Umgebung besonders bei animierten Karten, dass mehrere Änderungen außerhalb des Fokusbereichs nur schlecht wahrgenommen werden (FISH et al. 2011).

Grundlage für die Trennung eines Sichtfeldes in Figur bzw. Objekt und Hintergrund ist die Heterogenität des Feldes in Bezug auf Farbe, Textur, Helligkeit, Bewegung oder dreidimensionaler Tiefe. Besonders bei Karten liegen Objekte unterschiedlicher Art (z.B. Punkte, Linien, Polygone) neben- und/oder übereinander. Daher ist es wichtig, einzelne Objekte bzw. Objektgruppen visuell voneinander separieren zu können, aber auch die Fähigkeit zu besitzen, Objekte derselben Ausprägung zu gruppieren. Von zentraler Bedeutung sind deshalb die graphischen Eigenschaften im visuellen Eindruck, die zum eben erwähnten Verhalten von Gruppierung und Separation führen können (TRAUN 2015). Grundlage bildet hier die Gestaltpsychologie von WERTHEIMER (1922), die in den vergangenen Jahrzehnten einen neuen Aufschwung erlebt hat. Nachfolgend werden nun noch einige Faktoren zur Trennung von Figur und Hintergrund (siehe Abb. 38) sowie zur Gruppierung von Figuren zu Objekten höherer Ordnung erläutert (TRAUN 2015).

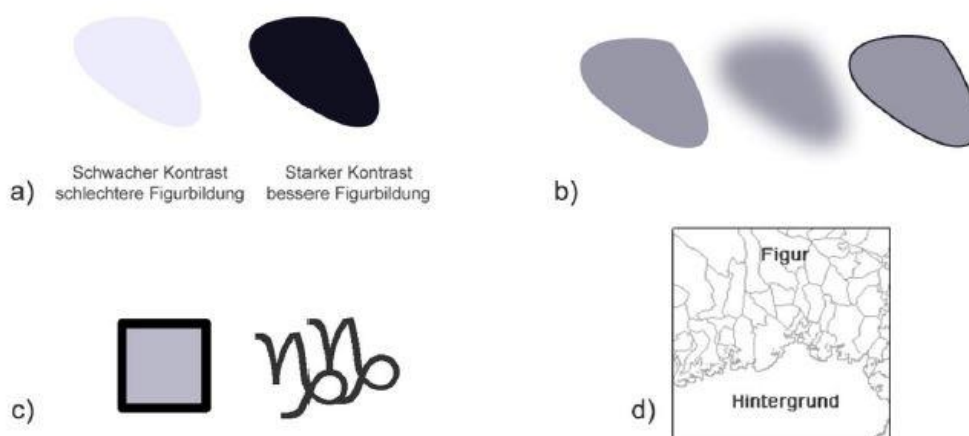


Abb. 38: Faktoren der Figur-Hintergrund Trennung: a) Kontrast, b) Abgrenzung, c) Einfachheit, d) geringe Größe/kleinteilige Struktur (TRAUN 2015)

Neben den dargestellten Faktoren spielen zudem auch Vertrautheit, Symmetrie sowie horizontale und vertikale Ausrichtung eine Rolle (TRAUN 2015). Vertrautheit mit charakteristischen Figurformen beschleunigt die Figur-Hintergrund-Trennung dabei maßgeblich (NAVON 2010). Auch symmetrisch geformte Flächen werden tendenziell eher als Figur wahrgenommen als unsymmetrische, konkave Flächen (TRAUN 2015). Sind Objekte vorwiegend horizontal oder vertikal ausgerichtet, können diese ebenfalls leichter als Figuren identifiziert werden als längliche, schrägachsig ausgerichtete Objekte (MACEACHREN 1995). Wie für eine Objektdifferenzierung sind auch für die Empfindung von Objekten als Gruppe einige Faktoren verantwortlich. Für die Kartographie sind vor allem Ähnlichkeit, Nähe, Kontinuität, gemeinsame Region, Verbundenheit und gemeinsame Bewegungsrichtung entscheidende Parameter (siehe Abb. 39).

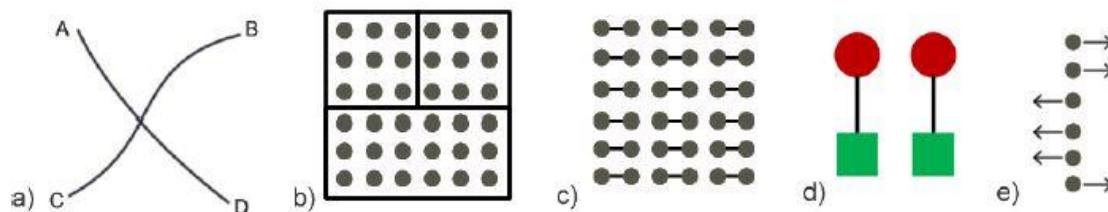


Abb. 39: Faktoren von visueller Gruppierung: a) Kontinuität, b) gemeinsame Region, c) Verbundenheit, d) Nähe und Ähnlichkeit, e) gemeinsame Bewegungsrichtung
(TRAUN 2015)

Für die Raumwahrnehmung kann die Wahrnehmungsleistung des Menschen in drei Komponenten zergliedert werden. Durch Differenzierung der eigenen körperlichen Dimension zu anderen Objekten der Umwelt ist der Mensch in der Lage, seine Position im Raum klar zu bestimmen. Diese bildet die Grundlage für die gesamte Raumwahrnehmung und wird als egozentrische Wahrnehmung bezeichnet. Sobald der Mensch seine eigene Position mit einem anderen Objekt in Verbindung setzt, ermöglicht es ihm, die Entfernungswahrnehmung und die absolute Tiefenwahrnehmung zu erfassen. Die relative Tiefenwahrnehmung behandelt dagegen die Anforderung, mehrere Objekte in Relation zueinander zu erfassen und daraus ihre exozentrische Entfernung abzuleiten. Durch perspektivische Darstellungen, egal ob auf Papier oder an einem Display, können nur monokulare Tiefenreize wie Perspektive, Licht und Schatten oder Objekthöhe angesprochen werden. Wird allerdings ein System angewendet, das eine räumlich-visuelle Wahrnehmung unterstützt (z.B. 3D-Monitor), können auch binokulare Reize wie Querdissipation oder Bewegungsparallaxe (resultiert aus Bewegung des Betrachters oder

des anvisierten Objektes) stimuliert werden (BUCHROITHNER 2002; KUMKE 2011). Einerseits sollen Objekte innerhalb einer Ebene als visuelle Gruppe erscheinen, andererseits sollen Ebenen möglichst deutlich in ihrer Distanz zum Betrachter gestaffelt sein. Um dies zu erreichen, bieten sich bei der Kartengestaltung graphische Techniken wie Kontraste, Überdeckung und Schlagschatten an, um die darauf abzielenden Reize zur optischen Tiefenwahrnehmung zu stimulieren (TRAUN 2015). Obwohl die Tiefenwahrnehmung für die angefertigte Studie keine Relevanz besitzt, da die Punktobjekte nur oberflächlich visualisiert wurden, ist diese dennoch explizit aufgeführt, da sie grundsätzlich für die Visualisierung von Ver- und Entsorgungsnetzen, die zum großen Teil inzwischen unterirdisch verlaufen, eine enorm wichtige Komponente darstellt.

Entscheidend für die Informationsaufnahme aus Karten ist eine adäquate Gestaltung des Designs. So soll dieses den Nutzer möglichst gut bei der Extraktion der relevanten Informationen sowie bei Interaktionen unterstützen und ihn dahingehend anleiten. Dadurch ergibt sich die Prämisse, dass wichtige Informationen visuell hervorgehoben und im Vordergrund stehen sollten. Dagegen sollte Unwichtiges eher im Hintergrund bleiben oder je nach Kontext sogar komplett ausgeschlossen werden (TRAUN 2015). SLOCUM et al. definierten hierfür 2009 folgende inhaltliche Hierarchie einer klassischen, thematischen Karte. Anzumerken ist allerdings, dass die Anordnung und die Inhalte je nach Kartenkontext variieren und nicht immer eine Einbettung der vorgeschlagenen Elementen sinnhaft ist (TRAUN 2015).

1. Thematische Signaturen/themenbezogene Annotation
2. Titel und Legende
3. Basiskarte
4. Maßstabsleiste und Orientierungselemente
5. Datenquelle und Zusatzinformationen
6. Kartenrahmen

Grundsätzlich ist es eher sinnvoll, Karten nicht inhaltlich und visuell zu überladen, da dies oftmals mit einer Überforderung des Betrachters einhergeht. So sollte stets das Ziel im Vordergrund stehen, ein Design zu entwickeln, das lediglich alle wirklich nötigen

Informationen und visuellen Elemente enthält, da sonst die Wissensvermittlung der Karte verschlechtert werden würde (VARAKIN et al. 2004). Die visuelle Hierarchie wird durch zwei Dimensionen in der Karte etabliert. Zum einen entsteht durch geeignete Platzierung (wichtigste Elemente links oben oder zentral positioniert) und Formatierung (z.B. angepasste Größe, Verhältnis von Karte zu restlichen Elementen) der Kartenelemente ein ausbalancierter Gesamteindruck. Diese Dimension wird als horizontales Design titulierte (BÖHRINGER et al. 2008). Durch eine vertikale Strukturierung mittels visueller Ebenen (WOOD 1968) können inhaltliche Hierarchien innerhalb des eigentlichen Karteninhalts abgebildet und dadurch die Aufmerksamkeit des Betrachters auf die wichtigen Inhalte gelenkt werden. Durch graphische Mittel wird die Illusion kreiert, dass wichtigere Inhalte auf einer dem Betrachter näherliegenden Ebene angeordnet sind als weniger wichtige Elemente. Um dies zu erreichen und gleichzeitig aber dennoch die Gruppierung von Objekten innerhalb einer Ebene zu bewahren, bieten sich graphische Techniken an, die Tiefenwahrnehmung simulieren und visuelle Ebenen als eigenständige Figuren etablieren (BUCHROITHNER 2002; TRAUN 2015). Zunächst ist hier die Einstellung von geeigneten Helligkeits- und Sättigungskontrasten aufzuführen. Hintergrundebenen sollten eine niedrigere Farbsättigung aufweisen, dagegen Vordergrundebenen höhere Sättigungen. Wie bereits im Kontext der Gruppierung beschrieben, bietet sich auch hier wieder die Methode der gezielten Überdeckung von Inhalten an (TRAUN 2015). Schlagschatten werden durch die geometrische Form eines Gegenstandes und der Lichtquellenposition festgelegt und lassen Rückschlüsse auf nicht sichtbare Objektgeometrien zu, so dass wie oben beschrieben eine Verstärkung der Raumwahrnehmung, besonders der Tiefenwahrnehmung erzeugt wird (BUCHROITHNER 2002; BÖHRINGER et al. 2008).

Auch bei AR-Visualisierungen sind ähnliche Aspekte zu beachten. Allerdings gibt es auch spezifische Faktoren, die eine gelungene Ansicht bedingen. Auch hier ist das bloße, nicht hinterfragte Einfügen von Objekten und Informationen sowie Displayelementen suboptimal, da so relativ schnell eine überladene Anzeige hervorgerufen werden kann. Ebenso ist es möglich, dass bei unüberlegtem Einsatz die zusätzlich eingeblendeten Objekte wichtige Informationen der realen Welt überdecken (KALKOFEN et al. 2007). Für die hier angefertigte Visualisierung wurde allerdings nur auf eine Reduzierung der Inhalte und Informationen geachtet, da die Wahrnehmung des Beobachters auf die eingeblendeten Inhalte fokussiert werden sollte und Probleme wie Verdeckung oder Überlagerung nicht

thematisiert wurden und nicht von entscheidender Relevanz waren. Besonders für die Vermeidung von Okklusionen müssen komplexe Algorithmen für Fokus- und Kontexttechniken entwickelt werden, die es ermöglichen sowohl zusätzliche Informationen wahrzunehmen als auch verborgene Strukturen zu kommunizieren (KALKOFEN et al. 2007). Zudem müssen Erschwernisse wie die permanente Dynamik der Anzeige und der unterschiedlichen Belichtungssituationen sowie unzureichenden Auflösungen und Größe und Komfort der Anzeigetechnologie überwunden bzw. berücksichtigt werden.

Im nachfolgenden Kapitel wird unter anderem die Erstellung der beiden Visualisierungsvarianten hinsichtlich der wahrnehmungsrelevanten Faktoren näher beschrieben. Es wurde besonders darauf geachtet, eine visuelle Überladung der Ansichten zu vermeiden, um den Fokus auf die Vergleichbarkeit der Wahrnehmung zu legen. Weitere Aspekte betreffen hauptsächlich die Typografie der eingeblendeten und abgefragten Informationen.

3.2.2 Erstellung der Visualisierungen

In diesem Kapitel werden nun die verschiedenen Arbeitsschritte bei der Erstellung der für die Wahrnehmungsstudie erforderlichen Visualisierungen näher erläutert. Abbildung 40 veranschaulicht dabei den konzeptuellen Ablauf. Nach dem Erfassen der Testgeometrien wurden diese zunächst auf eine Desktop-Lösung gespielt und dort aufbereitet und mit Attributen versehen. Danach konnten mithilfe von verschiedenen mobilen Endgeräten die AR-Ansichten erstellt werden, die daraufhin noch modifiziert wurden, um für den Fragebogen überflüssige Inhalte zu eliminieren. Ebenso wurde die 2D Vergleichskartenansicht erstellt. Aus den beiden Visualisierungen wurde dann der Fragebogen konzipiert und für Fachanwender veröffentlicht.

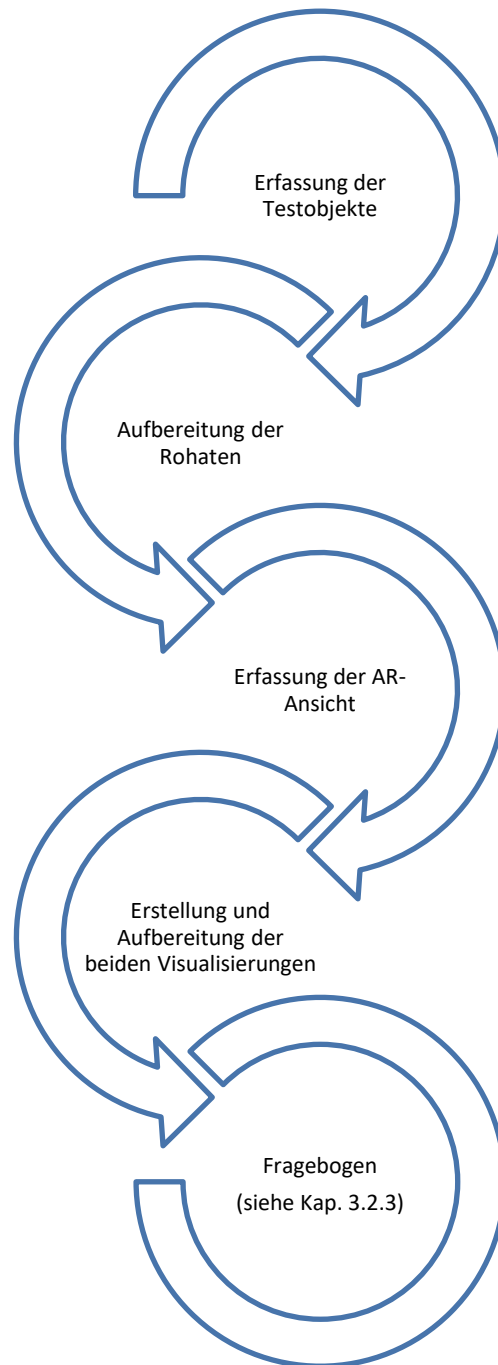


Abb. 40: Konzeptioneller Ablauf der Visualisierungserstellung
(eigene Darstellung)

Erfassung der Testobjekte

Um bei der späteren AR-Visualisierung die realen Objekte gut mit den virtuellen Inhalten zu überlagern, ist es besonders bei kleinen Punktgeometrien wie in diesem Fall nötig, diese möglichst genau zu erfassen. Um dies zu gewährleisten, wurde der Leica Zeno 20 verwendet (siehe Abb. 41 und Tab. 8), ein leichtes, kompaktes und robustes Handheld, das über eine relativ große Anzeige verfügt.



Abb. 41: Leica Zeno 20
(LEICA 2019)

Tab. 9: Technische Daten Leica Zeno 20
(angepasst nach LEICA 2019)

GNSS	
Konfiguration	GPS L1 (optional GPS L2, L2C; GLONASS L1, L2; BDS B1; Galileo E1)
Integrierte Echtzeit Unterstützung	SBAS (EGNOS)
Aktualisierungsrate	1 Hz (1 Sek)
Horizontale Genauigkeit in Echtzeit mit Leica AS10	< 1 cm + 1 ppm
Vertikale Echtzeitgenauigkeit mit Leica AS10	RTK: 2 cm + 1 ppm
Post Processing Genauigkeit im statischen Modus	Horizontal: 3 mm + 0,5 ppm Vertikal: 6 mm + 0,5mm
Zeit bis zur ersten Positionsbestimmung	Typisch 40 s
Technologie	
Prozessor & Speicherkapazität	Dualcore Texas Instruments OMAP4470 1,5 GHz und 1 GB RAM
Datenspeicherung	4 GB on-board iNAND erweiterbar auf bis zu 32 GB (microSD)
Betriebssystem	Windows Embedded Handheld 6.5 Professional oder Android 4.2.2
Display	4,7" FWVGA (854x480) IPS, multi-touch Helligkeit: 600+ cd/m ²
Integrierte Kamera	8 Megapixel-Kamera mit Autofokus und LED-Blitzlicht

Tastatur	3 Betriebssystemtasten, 3 programmierbare Tasten, Navigationstaste, GNSS Taste, Stromtaste
Weitere Sensoren	3-Achs-Beschleunigungssensor, 3-Achs-Kreisels, Umgebungslicht-Sensor, digitaler Kompass, Barometer, Umgebungstemperatur-Sensor
Integrierte Kommunikationsmodule	Wireless LAN 802.11 b/g/n Bluetooth: Klasse 2 (10 m) WWAN 3.8G GSM (Zeno UMTS) oder CDMA (Zeno 20 CDMA)
Stromversorgung	
Akkus	Li-Ion Batterie mit 7.800 mAh und kleinen internen Batterie für Wechsel während Betrieb
Betriebszeit	Echtzeit DGNSS Einsatz über integriertes Modem: 7 h Autonomer GNSS Einsatz: 8 h Bluetooth Nutzung: 20 h Standby: bis zu 50 d
Ladedauer	< 6 h
Physikalische Spezifikationen	
Abmessungen	99 mm x 259 mm x 40 mm
Gewicht	< 880 g inkl. Batterie
Sand- und Staubschutz	IPx7 (Eintauchen bis 1 m Tiefe für ca. 30 Min)
Wasser	IP6x Dust IEC-60529
Geol. Höhe	4.572 m bei 23°C – 12.192 m bei -30°C
Betriebstemperaturbereich	-30°C – 60°C
Luftfeuchtigkeit	90 % rel. von -30°C – 60°C
Fall	MIL-STD-810G 1,22 m Fall auf Beton 26 Fälle von 1,22 m, Methode 526.5, Proz. IV

Insgesamt wurden fünf Kanalschächte, drei Schieber und zwei Unterflurhydranten aufgenommen. Der Leica Zeno 20 war dabei auf einem Lotstock angebracht, um Aufnahme komfort und Genauigkeit zu optimieren (siehe Abb. 42).



Abb. 42: Objekterfassung mit Lotstock
(eigene Darstellung)

Die Positionierung des Geräts erfolgte sehr zügig (ca. 30 sec), auch bei der Erfassung an sich traten keine Probleme oder Hindernisse auf.

Aufbereitung der Rohdaten

Die erzeugten Daten (Shapefiles) wurden für die weitere Bearbeitung per SD-Karte auf ein Notebook übertragen und in eine GIS-Software (ArcGIS Pro, Version 2.3) und die dort vorhandene Geodatabase importiert. Da die Daten im Koordinatensystem *Zeno-Bayern GK4* erfasst wurden, mussten diese zunächst in ein gängiges Referenzsystem, *DHDN/3-degree Gauss-Kruger zone 4* (EPSG: 31468), überführt werden, da sonst beispielsweise eine Überlagerung mit ESRI Basiskarten (*WGS 1984 Web Mercator Auxiliary Sphere*, EPSG: 3857) fehlerhaft ist, da für diese Koordinatensysteme keine standardisierte Transformationsmethode in ArcGIS Pro verfügbar ist. Werden diese Parameter allerdings angepasst, so wird beim Import der Daten weiterhin 31468 automatisch als Koordinatensystem für den Datenrahmen festgelegt und die Daten lagerichtig dargestellt.

Nun konnte die Attributtabelle mit fiktiven Informationen für die spätere Studie gefüllt werden. Da Schächte sowie Schieber und Unterflurhydranten für Anwender unterschiedliche Informationen wiedergeben müssen, wurden der Datensatz in zwei individuelle Feature Classes gesplittet, um unterschiedliche Attributtabellen zu besitzen

(Feature Classes: *Kanal_Schacht* und *Wasser_Armaturen*). Um auch für beide Visualisierungsvarianten je einen Datensatz mit unterschiedlichen Werten zu haben, wurde beide Feature Classes je einmal kopiert und deren Attributtabelle mit fiktiven Werten/Informationen beschrieben (siehe Tab. 9, 10). Änderungen in den jeweiligen Tabellen sind durch Unterstreichen hervorgehoben.

Tab. 10: Attributtabelle der feature class „Wasser_Armaturen“ für die 2D Visualisierung

<i>FID</i>	<i>Status</i>	<i>DN</i>	<i>Druckzone</i>	<i>Typ</i>	<i>ArmaturNr</i>
1	in Betrieb	150	10	Unterflurhydrant	H100483
2	in Betrieb	150	10	Schieber	S100281
3	in Betrieb	150	10	Schieber	S100282
4	in Betrieb	100	10	Schieber	S100316
5	in Betrieb	150	10	Unterflurhydrant	H100484

Tab. 11: Attributtabelle der feature class „Wasser_Armaturen“ für die AR Visualisierung

<i>FID</i>	<i>Status</i>	<i>DN</i>	<i>Druckzone</i>	<i>Typ</i>	<i>ArmaturNr</i>
1	in Betrieb	150	<u>15</u>	Unterflurhydrant	<u>H100494</u>
2	<u>außer Betrieb</u>	<u>100</u>	10	Schieber	<u>S100283</u>
3	in Betrieb	150	10	Schieber	S100282
4	<u>außer Betrieb</u>	100	<u>20</u>	Schieber	<u>S100625</u>
5	in Betrieb	150	10	Unterflurhydrant	H100484

Für die Feature Class *Wasser_Armaturen*, welche sowohl die Schieber als auch Unterflurhydranten enthält, wurden noch der derzeitige Status, DN (Nennweite, Nenndurchmesser in mm), die Druckzone (von einem Behälter versorgter und hydraulisch unabhängiger Teilbereich eines Versorgungsnetzes, in dem sich alle Punkte innerhalb bestimmter Druckgrenzen befinden) und eine Armaturennummer eingetragen.

Tab. 12: Attributtabelle der feature class „Kanal_Schacht“ für die 2D Visualisierung

<i>FID</i>	<i>Kanalart</i>	<i>SchachtNr</i>	<i>Status</i>
1	Mischwasser	14KM30465	in Betrieb
2	Mischwasser	14KM30450	in Betrieb
3	Mischwasser	14KM30410	in Betrieb
4	Mischwasser	14KM30225	in Betrieb

Tab. 13: Attributtabelle der feature class „Kanal_Schacht“ für die AR Visualisierung

<i>FID</i>	<i>Kanalart</i>	<i>SchachtNr</i>	<i>Status</i>
1	Mischwasser	<u>14KM30490</u>	in Betrieb
2	Mischwasser	<u>14KM30495</u>	in Betrieb
3	Mischwasser	<u>14KM30325</u>	in Betrieb
4	Mischwasser	<u>14KM30485</u>	in Betrieb

Für die Feature Class *Kanal_Schacht* wurde neben der Kanalart auch eine Schachtnummer sowie der derzeitige Betriebsstatus erfasst (siehe Tab. 11, 12).

Erfassung der AR-Ansicht

Die AR-Ansicht wurde mit Hilfe einer mobilen AR-Applikation für GIS-Daten, AuGeo erstellt. AuGeo entstand im Jahr 2017 aus einer Initiative der Esri Labs, um Benutzern zu ermöglichen, ihre ArcGIS-Daten (Point-Feature-Layer) in einer AR-Umgebung zu untersuchen. Es handelt sich dabei um eine frei verfügbare Lösung, die sowohl für Android als auch iOS bezogen werden kann. Voraussetzung für die Funktionalität der Anwendung ist lediglich ein bestehender ArcGIS Online Zugang (ESRI 2019).

Um Punktdaten in AuGeo darstellen zu können, muss folgender Workflow umgesetzt werden. Zunächst werden (1) die Punktgeometrien (s.o.) aufgenommen und (2) die Rohdaten aufbereitet. Durch (3) die Freigabe des Layers für ArcGIS Online (repräsentiert das Onlinedatenbanksystem) kann dieser in der Online Plattform aufgerufen und weiter bearbeitet werden. Um eine andere Ansicht mit eigenen Einstellungen der Daten zu erhalten, muss daraufhin (4) eine View erstellt werden, ein neuer gehosteter Feature Layer. Hier können dann (5) Titel, Tags und weitere Informationen eingetragen werden.

Entscheidend für eine erfolgreiche Darstellung der Daten in AuGeo ist das Einstellen des Tags „AuGeo“, da nur so der gehostete Layer von der Applikation gefunden und eingebunden wird.

Um Informationen der Objekte in der späteren Anwendung darzustellen, ist (6) die Konfiguration der Pop-Ups von zentraler Bedeutung, da ausgewählt wird, welche Daten ein- bzw. ausgeblendet (z.B. ID des Objektes) werden. Nach (7) Speicherung des Layers in ArcGIS Online kann dieser nun mit AuGeo visualisiert werden. Dazu muss sich (8) in der Anwendung mit dem ArcGIS Online Account angemeldet werden. Alle Layer, die mit dem relevanten Tag versehen sind, können zusätzlich zu drei Standardtestlayers von ESRI ausgewählt werden (siehe Abb. 43).

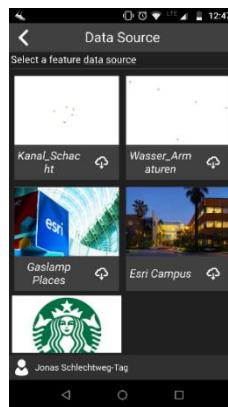


Abb. 43: Auswahl der Datenquelle in AuGeo
(eigene Darstellung)

Zudem ist es in AuGeo notwendig (9), Einstellungen für Display, Kamera, Pop-Ups und Standort zu geben (siehe Abb. 44).

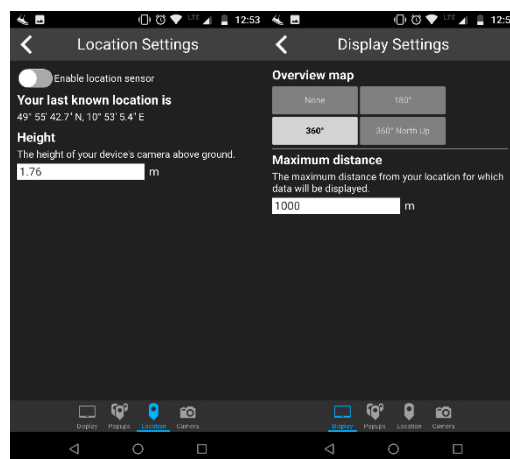


Abb. 44: Einstellungen für Standort und Anzeige in AuGeo
(eigene Darstellung)

Als Displayeinstellungen wurde eine Rundumsicht von 360° und eine Distanz von 1.000 m eingestellt. Somit werden alle Objekte (je nach Ausrichtung des Gerätes) innerhalb von 1.000 m visualisiert. Bei der Konfiguration des Standortes ist es besonders bei Daten mit z-Werten wichtig, die Höhe der Kamera über dem Standort zu vermerken. Pop-Up Einstellungen wurden nicht verändert, da so zusätzliche Informationen wie die Entfernung zum Objekt eingeblendet werden. Die Kameraeinstellungen blieben ebenfalls auf default, da diese automatisch von AuGeo erkannt werden bzw. eine Auswahl an Geräten und deren verbauten Kameras hinterlegt ist.

Nun wird (10) der jeweilige Datensatz ausgewählt und die Bewegungssensoren des Geräts kalibriert, damit Bewegungen genauer erfasst werden können. Dann kann zunächst in einer Übersichtskarte (zweidimensional) der Datensatz gesichtet und dann über (11) Ansichtswechsel in die First-Person-View und somit in eine AR Umgebung gewechselt werden, wobei anzumerken ist, dass sowohl Hoch- als auch Querformat unterstützt wird (siehe Abb. 45).

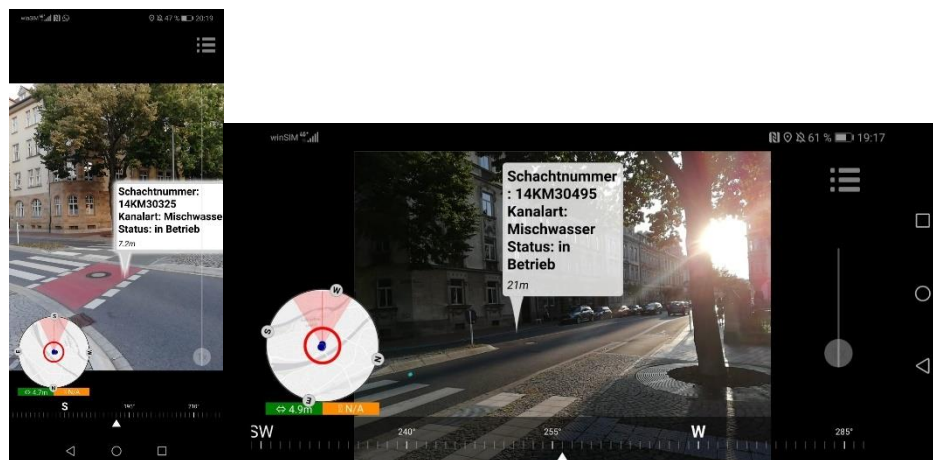


Abb. 45: Bildschirmfoto von AuGeo in Hoch- und Querformat
(eigene Darstellung)

Zusätzlich zu der Kamerasicht und den Objektinformationen werden Ausrichtung des Geräts über eine Kompassleiste, Entfernung zum Objekt, Genauigkeit des GPS und eine kleine Übersichtsblase mit aktuellen Standort, umliegenden Objekten und derzeitiger Ausrichtung eingeblendet. Zudem ist es möglich, über einen Schieber am rechten Rand des Displays einen Kamerazoom zu betätigen, was allerdings eine etwas schlechtere Auflösung zu Folge hatte.

Um die AR-Darstellungen zu erfassen, wurden folgende mobile Endgeräte (Tablet: Samsung Galaxy Tab S 10.5 SM-T805, Smartphone: Huawei P20 Lite) mit integrierten Sensoren verwendet.

Tab. 14: Technische Daten Samsung Galaxy Tab S 10.5 SM-T805
(SAMSUNG 2019)

GPS	
GNSS	GPS, AGPS, GLONASS, BDS
Zeit bis zur ersten Positionsbestimmung	13 s
Technologie	
Prozessor & Speicherkapazität	ARM Cortex-A15 mit 1,9 GHz und 3072 MB RAM GPU: ARM Mali-T628 MP6
Datenspeicherung	16 GB erweiterbar auf bis zu 128 GB (microSD, microSDHC, micro SDXC)
Betriebssystem	Android 4.4.2 KitKat
Display	10,5“ (2560x1600) Super AMOLED, multi-touch 288 ppi Helligkeit: 314 cd/m ²
Integrierte Kamera	Hauptkamera: 8 Megapixel mit LED-Blitzlicht Frontkamera: 2,1 Megapixel
Weitere Sensoren	Beschleunigungssensor und Gyroskop (Bosch BMI055), Annäherungssensor und Helligkeitssensor (AMS TMD 3782), Kompass (Asahi Kasei AK09911C)
Anschlüsse und Übertragung	Wireless LAN 802.11 a/b/g/n/ac Bluetooth 4.0, USB 2.0 OTG LTE 800, 850, 900, 1800, 2100, 2600 MHz
SIM-Karte	MicroSIM
Stromversorgung	
Akkus	Li-Ion Batterie mit 7900 mAh
Betriebszeit	Internetnutzung: 5,5 h Videonutzung: 9 h Standby: bis zu 60 d
Ladedauer	5,5 h

Physikalische Spezifikationen	
Abmessungen	247,3 mm x 177,3 mm x 6,6 mm
Gewicht	467 g
Schutzkategorien	keine vorhanden

Tab. 15: Technische Daten Huawei P20 Lite
(HUAWEI 2019)

GPS	
GNSS	GPS, AGPS, GLONASS, BDS
Technologie	
Prozessor & Speicherkapazität	Huawei HiSilicon KIRIN 659 GPU: ARM Mali-T830 MPS und 4GB RAM
Datenspeicherung	64 GB, erweiterbarer Speicher (microSD, microSDHC, micro SDXC) auf bis zu 256 GB
Betriebssystem	Android 8.0 Oreo
Display	5,84“ (1080 x 2280) IPS-LCD, multi-touch 432 ppi
Integrierte Kameras	Hauptkamera: 15,93 Megapixel mit Autofokus, Digitalem Zoom, LED-Blitzlicht und 3D-Tiefenmessung Frontkamera: 15,93 Megapixel
Weitere Sensoren	Beschleunigungssensor, Gyroskop, Annäherungssensor, Helligkeitssensor, Kompass
Anschlüsse und Übertragung	Wireless LAN 802.11 a/b/g/n/ac Bluetooth 4.2, USB 2.0 Typ C LTE 800, 900, 1800, 2100, 2600 MHz GPRS, NFC
SIM-Karte	Nano-SIM (Dual-SIM)
Stromversorgung	
Akkus	Li-Ion Batterie mit 3.000 mAh
Betriebszeit	Gesprächszeit: 30 h Standby: 470 h
Ladedauer	1,5 h

Physikalische Spezifikationen

Abmessungen	148,6 mm x 71,2 mm x 7,4 mm
Gewicht	145 g
Schutzkategorien	keine vorhanden

Beide Geräte verwendeten GPS und Intertialsensoren, um ihre Position und Ausrichtung und die des Objektes möglichst genau zu bestimmen.

Um die AR Displays in den Fragebogen einzubinden, wurden eine Vielzahl an Screenshots erstellt. Für eine möglichst hohe Qualität der Darstellungen erfolgte die Aufnahme mehrfach an verschiedenen Tageszeiten und Belichtungssituationen.

Dies ist auch eine der festgestellten Schwierigkeiten. Die Objekte wurden zwar wahrgenommen und im Rahmen der Genauigkeit des Geräts eingeblendet, allerdings war die Umgebung z.B. bei Gegenlicht schwer erkennbar, und teilweise entstanden stark ausgeprägte Spiegelungen. Ein weitere Schwierigkeit ergab sich durch die relativ schlechte GPS Genauigkeit von ca. 4 – 5 m der verwendeten Geräte. Dadurch wurden die AR Visualisierungen je nach Standort des Anwenders teilweise deutlich neben den kleinflächigen Schächten, Schiebern und Unterflurhydranten dargestellt (siehe Abb. 46).

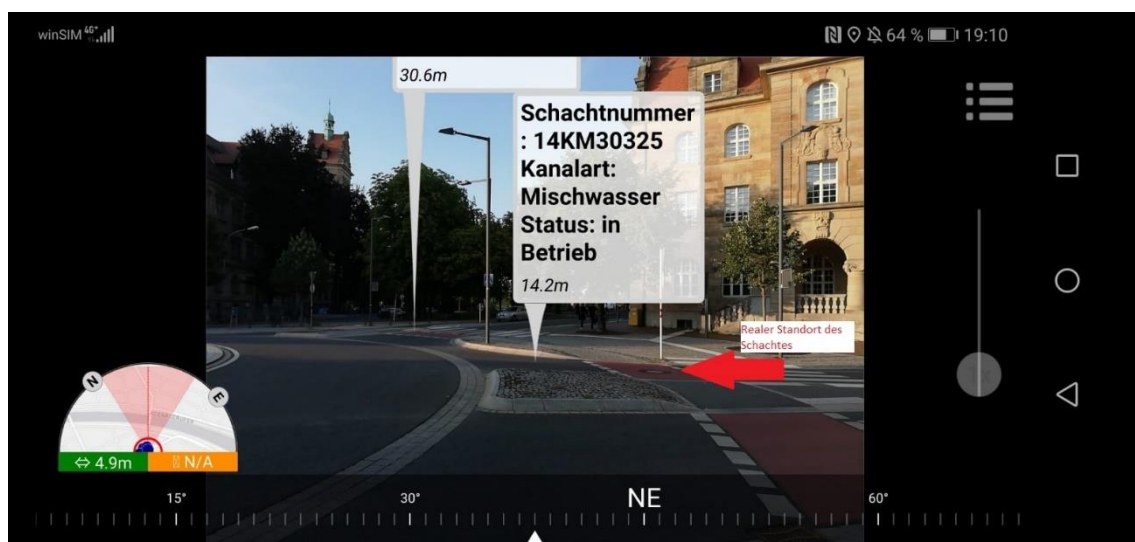


Abb. 46: Ungenaue Platzierung des AR-Popups aufgrund unzureichenden GPS-Signals
(eigene Darstellung)

Befand man sich sehr nahe an Gebäuden, verschlechterte sich das GPS Signal aufgrund der Abschirmung auf bis zu 15 m. Zudem waren die Geräte (besonders das Tablet) sehr

sensibel hinsichtlich Neigung und Kippung, was die Aufnahme der Screenshots wesentlich erschwerte. Allerdings ergab sich so auch die Möglichkeit, die Ungenauigkeit des GPS durch leichte Neigungen des Geräts auszugleichen. Dies ist allerdings für den praktischen Gebrauch nicht empfehlenswert, sondern nur deswegen erfolgt, da geeignete Displays für die Wahrnehmungsstudie unabdingbar waren. Durch diese Sensibilität war auch die Aufnahme der Screenshots an sich relativ schwierig, da durch das Betätigen der jeweiligen Tastenkombination die Ausrichtung des Geräts minimal verändert wurde. Die größte Herausforderung war allerdings das Visualisieren von nahe aneinander liegenden Objekten, z.B. bei einem Schieberkreuz, d.h. einer Abzweigung von Wasserversorgungsleitungen. Durch die automatische Einblendung und die räumliche Nähe war auch die Veränderung der Distanzeinstellungen nicht erfolgreich. Die Schieber und Unterflurhydranten überlappten sich so stark (siehe Abb. 47), dass für die Wahrnehmungsstudie ausschließlich Screenshots der Schächte verwendet wurden.



Abb. 47: Überlappung der AR-Popups aufgrund räumlicher Nähe
(eigene Darstellung)

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Aufnahme der Screenshots für die Studie relativ schwierig waren. Da das Tablet noch sensibler auf Neigung und Bewegung reagierte und ein etwas ungenaueres GPS Signal aufwies, wurden lediglich Aufnahmen des Smartphones *Huawei P20 Lite* in den Fragebogen eingebaut. Aber auch hier musste eine Vielzahl an Displays erfasst werden, da die Ungenauigkeit durch die oben genannte Schwierigkeiten nur sehr dezent behoben werden konnten.

Erstellung und Aufbereitung der beiden Visualisierungen

Für die Einbettung der verschiedenen Visualisierungen in den Fragebogen wurden diese nun erstellt (2D) beziehungsweise aufbereitet (AR). Für die 2D Ansicht wurden die Daten in ArcGIS Pro mit einer geläufigen Symbologie versehen. Für die Schieber wurde zudem eine Spalte mit „Drehwinkel“ in der Attributtabelle angelegt und beschrieben, um die Punktsymbologie passend zur räumlichen Lage/Ausrichtung darstellen zu können. Als Hintergrundkarte wurde die Basemap *Open Street Map* von ESRI mit einer leichten Transparenz für die bessere Sichtbarkeit der Objekte verwendet. Zudem wurden nur die wichtigsten, notwendigen Kartenelemente wie Nordpfeil, Maßstabsleiste und Legende eingearbeitet, um den Fokus auf die Objekte zu legen. Abschließend wurden die Inhalte in ein DIN-A4 Layout eingebettet und exportiert (siehe Abb. 48).



Abb. 48: 2D Kartenlayout
(eigene Darstellung)

Um auch bei den AR Visualisierungen den Fokus auf wesentliche Inhalte zu legen, wurde die Informationsleiste des Geräts (Uhrzeit, Datenverbindung, Akkustand, ...) ausgeschnitten. Zudem wurden leichte Verbesserungen der Aufnahme hinsichtlich Helligkeit, Schärfe und Kontrast durch eine kostenlose Testversion von *Adobe Photoshop* erzielt.

Im Vergleich der beiden Visualisierungen wurde darauf geachtet, nur die gleichen Inhalte einzubinden, um eine identische Informationsdichte zu erhalten. Zudem erhielten die Buchstaben und Zahlen möglichst gleiche Typografien, damit Unterschiede in der Wahrnehmung nicht auf daraus resultierenden Differenzen zurückzuführen sind.

3.2.3 Fragebogen

Theoretische Aspekte der Methode Fragebogen wurden bereits in Kapitel 3.1.2 (siehe S. 59 ff) abgehandelt. Ziel dieses Fragebogens war es zu ermitteln, ob Unterschiede bei der Wahrnehmung einer 2D-Kartenansicht und einer AR Visualisierung bestehen. Des Weiteren sollte erfasst werden, inwieweit es Vor-/Nachteile bei der Aufnahme von Informationen bei den jeweiligen Darstellungsvarianten gibt.

Dafür wurde der gleiche, angepasste (z.B. Rückmeldung, dass keine Teilnahme an Umfragen erwünscht) E-Mail Verteiler der Bestandskunden aus dem Bereich Ver- und Entsorgung der Firma IP SYSCON GmbH verwendet, um insgesamt 319 Kunden per förmlichen Anschreiben zu erreichen. Auch hier konnte eine gute Rückmeldungsrate von 24 % erzielt werden.

Tab. 16: Statistik des Fragebogens Wahrnehmungsstudie

Zielgruppe	Anwender der öffentlichen Ver- und Entsorgung
Anzahl der Anschreiben	319
Anzahl der Antworten	77
Rückmeldequote	24 %
Dauer der Umfrage	5 Wochen
Anzahl der Fragen	13

Insgesamt beinhaltete der Fragebogen 12 fachliche Fragen, zu denen das Alter der Teilnehmer abgefragt wurde. Der Fragebogen wurde wiederum mit Hilfe der Pro-Edition des Online-Umfragetools LimeSurvey realisiert. Die Screenshots bzw. Kartendarstellungen sind in der nachfolgenden Tabelle verkleinert/unmaßstäblich dargestellt. Bei einer Durchführung des Fragebogens wurde wie erwähnt darauf geachtet, dass Schriftgröße etc. von möglichst gleicher Darstellung waren.

Tab. 17: Aufbau Fragebogen Wahrnehmungsstudie
(Bildschirmfotos des AR Displays, eigene Darstellung)

	<i>Inhaltsangabe</i>	<i>Frage-/Antwort- typ</i>
Titelblatt	Informationen bezüglich Zielgruppe, Masterarbeit und Datenschutz sowie Anleitung der Wahrnehmungsstudie	Informationstext
Beispiel	Beispiel für beide Visualisierungsarten und Fragestellung	Informationstext mit Bildern

Wahrnehmungsstudie

AR

Screenshot einer AR Ansicht

Dauer: 10 sec



Frage 1

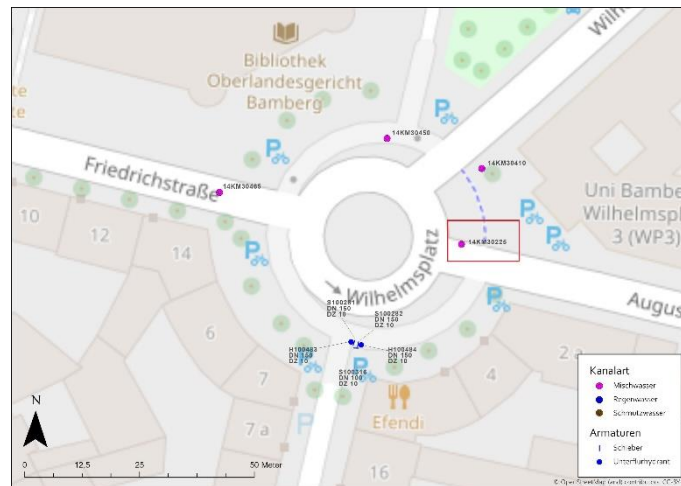
Wie lautet die Schachtnummer des Objektes

single choice

2D

Kartenansicht 2D

Dauer: 10 sec



Frage 2

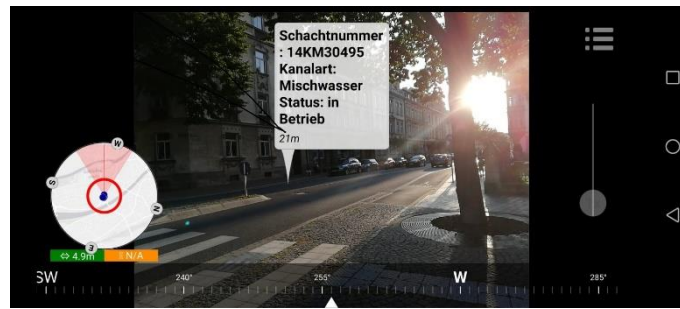
Auf welcher Fläche liegt das rot umrandete Objekt?

single-choice

AR

Screenshot einer AR Ansicht

Dauer: 10 sec



Frage 3

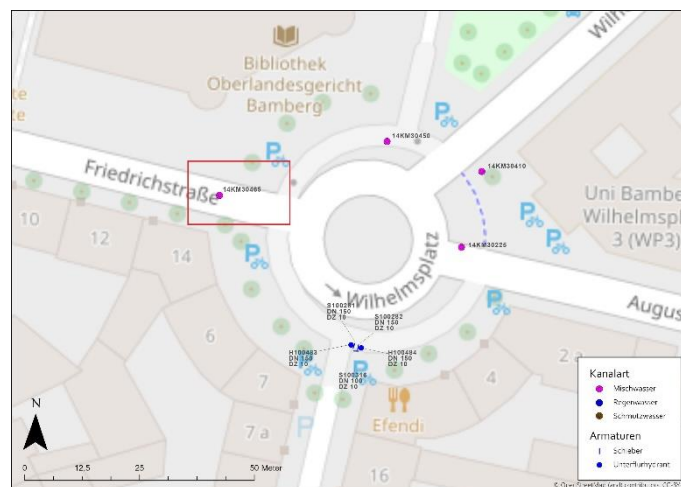
Welche Kanalart ist abgebildet?

single-choice

2D

Kartenansicht 2D

Dauer: 10 sec



Frage 4

Wie lautet die Schachtnummer des rot umrandeten Objektes?

single-choice

AR

Screenshot einer AR Ansicht

Dauer: 10 sec



Frage 5

Wie viele Mischwasserschächte sind im Display-Ausschnitt enthalten?

single-choice

2D

Kartenansicht 2D

Dauer: 10 sec



Frage 6

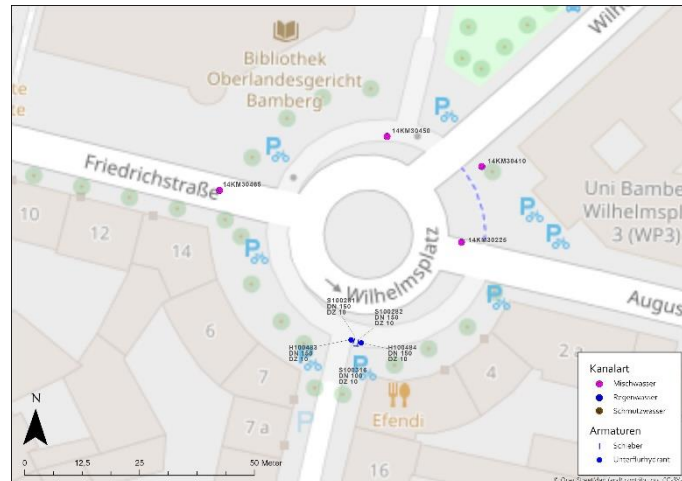
Welcher Kanalart gehört der rot umrandete Hydrant an?

single-choice

2D

Kartenansicht 2D

Dauer: 10 sec



Frage 7

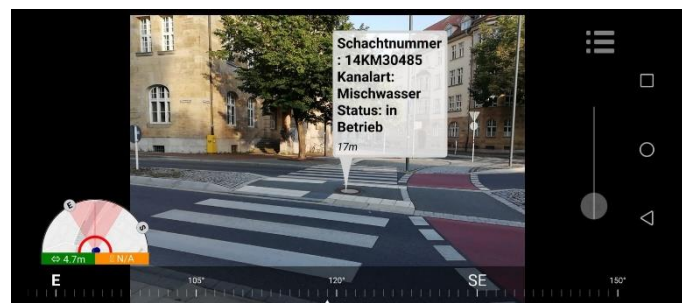
Wie viele Mischwasserschächte sind vorhanden?

single-choice

AR

Screenshot einer AR Ansicht

Dauer: 10 sec



Frage 8

Auf welcher Fläche liegt das Objekt?

single-choice

Ausblick/Zukunft		
Frage 9	Können Sie sich vorstellen, Augmented Reality in Zukunft beruflich einzusetzen?	single-choice
Frage 10	Welche Erwartungen haben Sie an eine Augmented Reality Anwendung?	Freitext
Frage 11	Was sind für Sie die größten Vor-/Nachteile bei einem Einsatz von Augmented Reality	Freitext
Persönliche Angaben		
Frage 12	Haben Sie bereits eine Augmented Reality Anwendung verwendet?	single choice
Frage 13	Welcher Alterskategorie gehören Sie an?	single choice
Schlussblatt	Bedankung und Informationen über Ergebnismitteilung	Freitext

Zu Beginn wurde diesmal nach einer ausführlichen Beschreibung ein Beispiel für eine Frageformulierung mit je einer Visualisierungsvariante gegeben, da keine umfangreichen Vorkenntnisse in der Durchführung von Wahrnehmungsstudien vorausgesetzt werden konnten. Danach folgte die eigentliche Studie, bei der die Visualisierungen 10 Sekunden eingeblendet wurden, bevor dann automatisch die dazugehörige Frageseite erschien, bei der keine Zeiteinschränkung konfiguriert war. Bei der Erstellung des Fragebogens wurde explizit darauf geachtet, Wiederholungen des gleichen Frageninhalts (z.B. „Auf welcher Fläche liegt das Objekt?“) zu vermeiden, damit die Befragten keine Vorahnung und eine dadurch bestehende Fokussierung auf bestimmte Inhalte erhalten. Auch hier folgten danach Fragen zu Erwartungen und persönlichen Einschätzungen zur Verwendung einer Augmented Reality Anwendung, bevor abschließend das Alter abgefragt wurde. Auch bei dieser Umfrage wurden Einstellungen bezüglich Datenschutz und Personalisierung beachtet und bei Aktivierung des Fragebogens dementsprechend konfiguriert.

4 ERGEBNISSE

Im folgenden Kapitel steht zunächst die Erfassung der aktuellen Bestandsnutzung im Vordergrund. Basis hierfür bildet die Auswertung der Literaturrecherche sowie der besuchten Veranstaltungen und der dort geführten Interviews. In Verbindung mit einer aus Fragebogen und eben erwähnten Methoden gewonnenen Nachfrage kann zudem ein bedarfsorientierter Anwendungsfall ermittelt werden. Um einen graphischen Überblick zu erhalten, werden weiterhin die jeweiligen Systemkomponenten hinsichtlich des aktuellen und geforderten Einsatzes analysiert. Das konstruierte und analysierte System als Grundlage nehmend, werden abschließend noch die Ergebnisse der Wahrnehmungsstudie vorgestellt.

4.1 Anwendung und Systemdiagramm

Um ein aussagekräftiges und repräsentatives Anwendungssystem mit möglichst vielen und exakt formulierten Komponenten konstruieren zu können, ist es zunächst notwendig, den aktuellen Bestand an Anwendungen in diesem Forschungsfeld zu ermitteln, bevor in einem weiteren Schritt der spezielle Bedarf bei der Nutzergruppe evaluiert wird. Dafür wurden die verschiedenen Methoden ausgewertet, um abschließend die attraktivsten und gefragtesten Komponenten zu einer Anwendung zusammenzustellen. Zusätzlich fließen auch Erkenntnisse aus der Recherche über die technischen Grundlagen von Augmented Reality in die Entscheidungsfindung ein. Eine Erstellung von einzelnen detaillierten Anwendungsfällen wurde aus oben genannten Gründen (siehe Kap. 3.1.3 S. 63 ff) nicht realisiert.

Nachfolgend werden anfänglich die Anwendungen der in Kapitel 1.2 aufgeführten wissenschaftlichen Forschungsarbeiten für den Themenbereich Ver- und Entsorgung kategorisiert. Anzumerken ist, dass der Fokus bei nahezu allen Quellen auf Leitungsnetzen und den damit verbundenen Objekten liegt. Aus diesem Grund wurden weitere, oben beschriebene Forschungsarbeiten mit anderen Themenschwerpunkten wie z.B. MIRAUDA et al. (2017) nicht aufgeführt. Ebenso behandeln diese ausschließlich die Visualisierung von unterirdischen Strukturen.

Tab. 18: Kategorisierung der Anwendungen aus der Literaturanalyse

Anwendungsfälle	Forschungsarbeiten	Anzahl
mobile Leitungsauskunft und Anleitung	ROBERTS et al. 2002	8
	RANZINGER et al. 2007	
	SCHALL et al. 2008	
	SCHALL & SCHMALSTIEG et al. 2009	
	SCHALL et al. 2010	
	TALMAKI et al. 2010	
	SCHALL et al. 2013	
	ZHANG et al. 2016	
Instandhaltung des Leitungsnetzes	RANZINGER et al. 2007	2
	SCHALL & SCHMALSTIEG et al. 2009	
Störungsmanagement und Wartung	RANZINGER et al. 2007	4
	SCHALL & MENDEZ et al. 2009	
	SCHALL & SCHMALSTIEG et al. 2009	
	SCHALL et al. 2010	
Netzplanung	RANZINGER et al. 2007	3
	SCHALL & MENDEZ et al. 2009	
	SCHALL & SCHMALSTIEG et al. 2009	
Datenerfassung,-bearbeitung	SCHALL et al. 2008	4
	SCHALL & SCHMALSTIEG et al. 2009	
	SCHALL et al. 2010	
	SCHALL et al. 2013	
Vermessung	SCHALL & MENDEZ et al. 2009	4
	SCHALL & SCHMALSTIEG et al. 2009	
	SCHALL et al. 2010	
	SCHALL et al. 2013	
Schadensdokumentation	SCHALL & SCHMALSTIEG et al. 2009	2
	SCHALL et al. 2010	

Es zeigt sich, dass der Großteil der Forschungsarbeiten priorisiert das reine Visualisieren von unterirdischen Leitungsnetzen behandelt. Dies umgreift auch Anwendungsfälle wie die Planung von Infrastrukturprojekten. Die Erfassung und das Bearbeiten von Daten sowie das Vermessen von Bestandsdaten wird dagegen seltener thematisiert, so dass der Fokus bei der späteren Konzeption auf einem System liegt, das ausschließlich auf

eine Visualisierung von unterirdischen Daten ausgelegt ist und lediglich Arbeiten wie Kontrollvorgänge oder Schadensmeldungen vorsieht, die über eine Datenbankanwendung mit den Leitungsdaten verknüpft sind. Dies vereinfacht die gesamte Systemstruktur, da z.B. keine komplexen Bearbeitungskonflikte bei der Nutzung von mehreren Anwendern beachtet werden oder mobil angepasste wie neu erfasste Grundlagendaten nicht an das Hauptsystem bzw. die Datenbank zurückgeführt und synchronisiert werden müssen.

Die durch die Literatur gewonnenen Erkenntnisse wurden durch die Messebesuche und Interviews unterstützt (siehe 3.1.1, S. 54 ff). Auch hier sprachen sich die Befragten für einfache, mobile Visualisierungsapplikationen aus, da für eine Datenerfassung beispielsweise einfachere Technologien genügen würden. Zudem wurde betont, dass der größte Nutzen in einer Visualisierung von unterirdischen oder verborgenen Strukturen liegt, da hier eine verbesserte Tiefenwahrnehmung oder überhaupt eine Visualisierung an sich ermöglicht werden kann.

Um zudem noch Anwendungsmöglichkeiten bei einer großen und repräsentativen Anwenderzahl abzufragen, wurde auch im Fragebogen nach dem größten Verbesserungspotential einer AR-Anwendung gefragt. Zunächst gaben 56% der befragten Personen an, dass sie überhaupt ein Verbesserungspotential erkennen bzw. von einer Anwendung erwarten. Immerhin 37% können sich ein Anwendungspotential vorstellen, sind sich aber noch nicht sicher. Nur 7% dagegen sehen bei einer AR-Anwendung keine Verbesserung gegenüber ihren aktuellen Workflows. Bestimmt man die jeweiligen Potentialbereiche, sehen etwa zwei Drittel der Befragten in der Überwachung, Planung und Wartung von Objekten den effektivsten Einsatz. Immerhin 50% erhoffen sich durch den Einsatz eine Vermeidung von Leitungsschäden bei Bauarbeiten. Die Bereiche Datenerfassung- und -bearbeitung sowie eine mögliche Verbesserung der Datenqualität werden dagegen nur von 25% bzw. 38% genannt.

Bei Betrachtung der analysierten und abgefragten Anwendungsbeispiele wird sehr schnell ersichtlich, dass der Fokus auf einer Leitungsauskunft liegt, die keine diffizilen Analysen und Datenbearbeitungen sowie auch grundsätzlich keine Datenerfassung erfordert. Lediglich hinsichtlich des Wartungsmanagements sind Erfassungen von beispielsweise Kontrollen mit verbundenen Schäden o.ä. sinnvoll, wobei die

Grundlagendaten, d.h. das Leitungsnetz und seine weiteren Komponenten, nicht von der Anwendung aufgenommen oder vermessen werden. Durch die Visualisierung der unterirdischen Daten kann somit die Planung von neuen Infrastrukturprojekten hinsichtlich des bestehenden Konfliktpotentials genauso erfolgen wie das Anleiten von Bauarbeiten einhergehend mit einer Minimierung von Bauschäden.

Da die Leitungsauskunft in allen Anwendungen zwangsläufig mobil erfolgt, ist die Analyse der verwendeten Hardware auf verschiedene mobile Lösungen reduziert. Da die Entwicklung von mobilen Endgeräten besonders in den letzten Jahren rasant fortgeschritten ist, ist eine Analyse der wissenschaftlichen Artikel nicht sinnvoll, da aufgrund des Erscheinungsdatums neue Technologien nicht ausreichend berücksichtigt werden können. Die Auswahl geeigneter Hardwarelösungen erfolgt deshalb über die Analyse des Anwenderfragebogens sowie der besuchten Messen und Interviews.

Auf den Messen wurden, wie bereits in Kapitel 3.1.1 erwähnt (siehe S. 54 ff), Anwendungen vorgeführt, die als mobiles Endgerät Smartphones, Tablets und auch eine Microsoft Hololens verwendeten. Grundsätzlich wurde aber angemerkt, dass bei einer Nutzung von öffentlichen Akteuren die Problematik der aktuell unzureichenden technischen Ausstattung besteht, beziehungsweise eine Anschaffung mit zu hohen Kosten verbunden ist. Die Nutzung wurde ebenfalls in Bezug auf die derzeitige soziale Akzeptanz hinterfragt, da diese teilweise noch nicht in der Form gegeben ist, dass selbst ein Außendienstesatz mit Tablet uneingeschränkt möglich sei. Aus den genannten Gründen ist somit lediglich die Nutzung von Smartphone und Tablet denkbar, da bei HMDs die Kosten noch deutlich höher anzusetzen sind und vor allem die soziale Akzeptanz aufgrund der geringen Verbreitung nicht vorhanden ist.

Um eine sinnvolle Hardwareauswahl zu treffen, ist es zunächst notwendig, den aktuellen Einsatz zu analysieren, da dadurch auch mögliche Kosten durch bereits vorhandene Systeme gesenkt werden können (siehe Abb. 49).

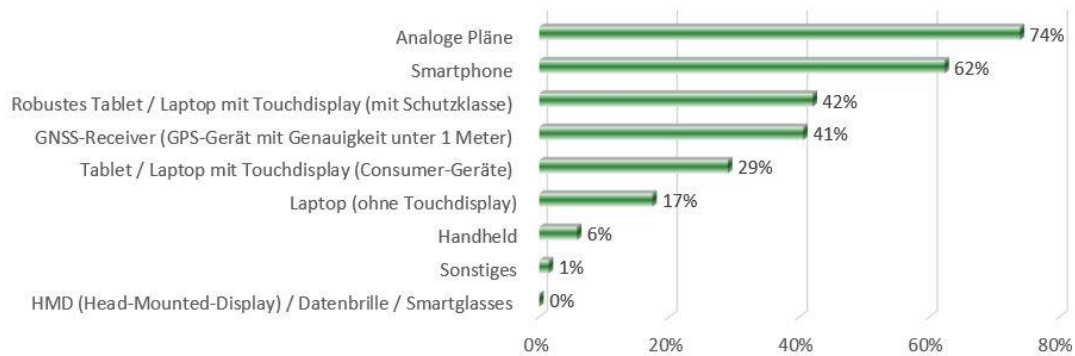


Abb. 49: Derzeitig verwendete Technik im Außendienst
(eigene Darstellung)

Betrachtet man die Ergebnisse, kann festgestellt werden, dass immer noch ein Großteil der Außendienstarbeit mit analogen Plänen durchgeführt wird beziehungsweise mindestens unterstützend erfolgt. Allerdings verwenden bereits ca. zwei Drittel der Anwender Smartphones, 42 % zudem robuste Tablets, die beide unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. Inertialsensoren, GPS, etc.) für den AR-Einsatz geeignet sind. Werden sehr genaue Positionierungen benötigt, kann ein zusätzlicher GNSS-Receiver in das Gesamtsystem implementiert werden, über den bereits ebenfalls 41 % der Außendienstmitarbeiter verfügen. HMDs werden derzeit noch nicht eingesetzt, da dafür ausgelegte Anwendungen noch nicht verwendet werden und der flächendeckende Einsatz zu kostenintensiv ist. Wird der in Zukunft gewünschte Einsatz von Hardware ermittelt, kommt es zu deutlich erkennbaren Unterschieden zur aktuellen Verwendung (siehe Abb. 50).

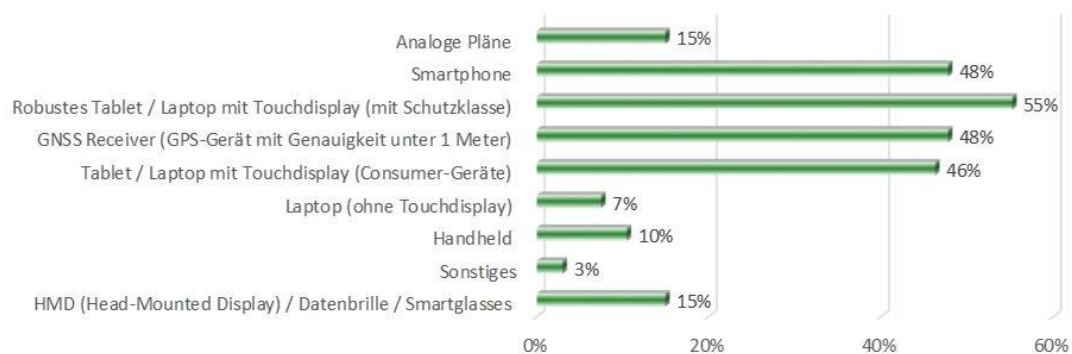


Abb. 50: Zukünftig gewünschter Einsatz von Hardware im Außendienst
(eigene Darstellung)

Besonders markant fällt der Unterschied bei einem Einsatz von analogen Plänen auf. So wünschen lediglich 15 % der Fachanwender eine Verwendung, wobei diese aktuell die verbreitetste Lösung darstellt. Alle weiteren Technologien (mit Ausnahme von HMDs), die für einen Einsatz in einem AR System besonders in Frage kommen (Smartphones und Tablets), werden von ca. der Hälfte der befragten Personen gewünscht. Auffällig hierbei ist der leichte Verlust bei einer Verwendung von Smartphones. Hier wurde von Fachanwendern darauf hingewiesen, dass die Displaygröße für die Visualisierung von komplexen Leitungsnetzen nicht ausreichend ist, so dass Tablets (robustes Gerät sowie Consumergerät) vorzuziehen seien. Immerhin 15 % der Anwender können sich einen Einsatz von HMDs vorstellen, wobei hier anzumerken ist, dass Kosten und geringe soziale Akzeptanz von vielen Anwendern als Hinderungsgründe genannt wurden.

Nachdem nun der Anwendungsfall an sich sowie die dafür verwendete Hardware analysiert wurden, liegt nun der Fokus auf dem Softwareaufbau sowie Tracking/Positionierung der Anwendung. Hinsichtlich dieser spezifischen Thematik wurde im Rahmen des Fragebogens keine Erhebung oder Abfrage durchgeführt, da ein Anwender in der Regel keine ausreichenden bzw. vertieften Kenntnisse hinsichtlich der verwendeten Softwarestruktur oder vorhandenen Sensoriken verfügt. Deshalb konzentriert sich die Analyse neben Experteninterviews vor allem auf die gewonnenen Erkenntnisse aus der Literaturrecherche. Um eine vielseitig einsetzbare, mobile Anwendung zu ermöglichen, ist es zunächst wichtig, dass die Software auf verschiedenen Plattformen wie Android, Windows und eventuell auch iOS eingesetzt werden kann. Im Rahmen der geführten Interviews wurde weiterhin auf die Tatsache hingewiesen, dass aus Kostengründen von einer komplett eigenständigen Programmierung und Entwicklung abzuraten ist, sondern dagegen auf ein bestehendes Software Framework, bzw. eine bestehende Software Bibliothek zurückzugriffen werden sollte. Zudem muss darauf geachtet werden, dass markerloses Tracking unterstützt wird, da aufgrund der Komplexität und Größe eines Leitungsnetzes es absolut unmöglich ist, lediglich markerbasiertes Tracking einzusetzen. Dieses kann allerdings begünstigend eingesetzt werden, um beispielsweise Punktoobjekte wie Schächte, Schaltkästen oder Hydranten mit Markern auszustatten und dann erweiterte Informationen dazu einzublenden. Insgesamt ist aufgrund der technischen Voraussetzungen der mobilen Hardware ein Hybrid Tracking zu empfehlen, da es die inzwischen gängige Sensoriken der mobilen Hardware (Intertialsensoren, GPS,

Magnetometer) mit visuellem Tracking über eingebaute Kameras kombiniert und so eine vollständige 6DOF Positionseinschätzung ermöglicht.

Fügt man die analysierten Punkte zusammen, erhält man einen repräsentativen Anwendungsfall inklusive der relevanten Systemkomponenten:

„Mobile Leitungsauskunft für Planung, Wartung und Schadensvermeidung“

Als Hardware wird aufgrund der Displaygröße vorrangig ein Tablet eingesetzt. Die Software baut auf bereits vorhandenen Frameworks und Bibliotheken auf und ist auf verschiedenen Betriebssystemen einsetzbar. Durch Hybrid Tracking sind keine weiteren Kosten und Hardwarekomponenten erforderlich, da die Geräte inzwischen in der Regel über die relevanten Eigenschaften verfügen und dadurch eine 6DOF Positionierung ermöglichen.

Um Systemaufbau sowie die Abläufe innerhalb des Systems und das Zusammenwirken der einzelnen Elemente besser zu verstehen, wurde nachfolgend ein Systemdiagramm erstellt.

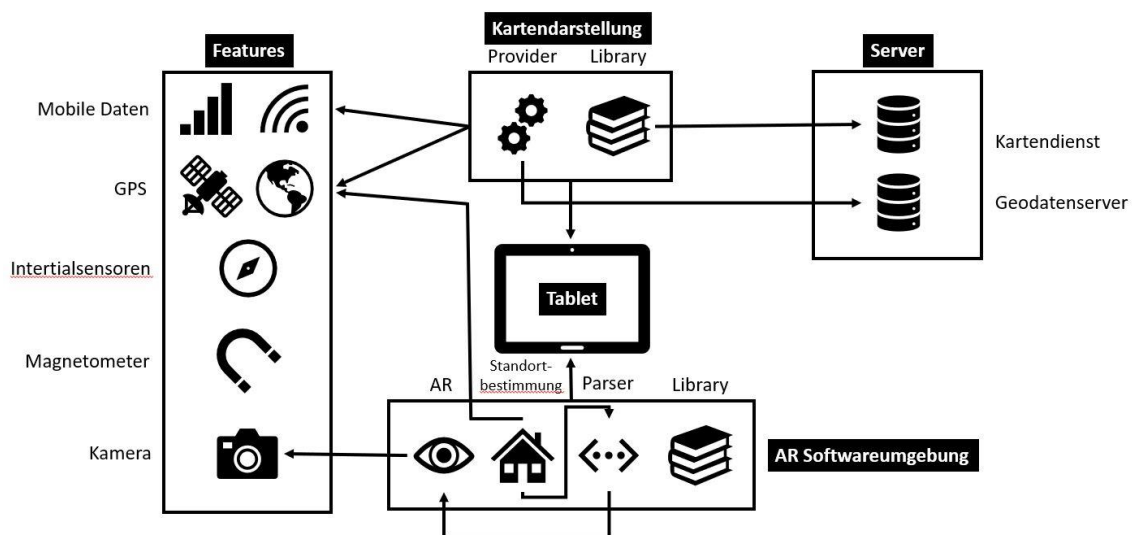


Abb. 51: Systemdiagramm
(eigene Darstellung)

Grundsätzlich ist es sinnvoll, dass eine Anwendung neben der gewünschten AR Ansicht auch eine zweidimensionale Kartenansicht ermöglicht, um einen Überblick über ein größeres Gebiet und dessen Strukturen zu erhalten. Die Hintergrundkarten können wie im Systemdiagramm skizziert bei einer mobilen Datenverbindung über einen Kartenserver

generiert werden. Dies kann über beispielsweise über einen Web Map Service (WMS) ermöglicht werden, der als standardisierte Schnittstelle nach den Definitionen des OGC Karten bereitstellt. Alternativ kann, um die Performance zu steigern, auch auf einen Tile Map Service (TMS) zurückgegriffen werden, bei dem die digitalen Karten kachelbasiert abgerufen werden und somit schnellere Requests und Responses möglich sind. Je nach verwendetem Dienst muss die dafür benötigte und zuständige Library und ein Tile Provider eingesetzt werden, der als Schnittstelle für gekachelte Rasterkarten fungiert. Die Karten werden je nach ermitteltem Standort dann auf dem Endgerät (Tablet) dargestellt und von den Geodaten des jeweiligen Leitungsnetzes überlagert, die von einem Geodatenserver abgerufen werden. Ist keine mobile Datenverbindung möglich oder unerwünscht, was bis heute von vielen Kommunen noch bevorzugt wird, können sämtliche Daten (Hintergrundkarte und Geofachdaten) auch in eine Offline Geodatenbank freigeben und auf dem Tablet synchronisiert werden. Soll die AR Ansicht verwendet werden, muss zunächst die genaue Position und Ausrichtung des Anwenders und des Gerätes ermittelt werden. Wie bereits erwähnt, ist aufgrund der in der Regel vorhandenen technischen Voraussetzungen ein Hybrid Tracking einzusetzen. Dies sollte neben GPS auch Inertialsensoren, Magnetometer und Gyroskop enthalten. Die Verwendung eines verfügbaren AR Softwareframeworks, welcher für Tracking/Registrierung, Anzeige der Daten sowie Interaktionstools zuständig ist und plattformübergreifend eingesetzt werden kann, sollte wie oben beschrieben, berücksichtigt werden. Da OpenSource Produkte von öffentlichen Akteuren aktuell noch nicht allzu große Beachtung finden, da die Gewährleistung und Wartung bei kommerziellen Lösungen in der Regel gesichert sind, kann als Framework beispielsweise auf *Metaio* oder *Vuforia* zurückgegriffen werden. Die in Breiten- und Längengraden ermittelte Position wird mit Hilfe eines von der Software bereitgestellten Parsers in Weltkoordinaten umgerechnet, so dass dann die Geofachdaten lagegenau der Kamerasicht überlagert werden können. Die Daten sollten 3D Informationen enthalten, da diese vorzugsweise in ein XML-basiertes Format umgewandelt werden, um sie daraufhin als 3D Modell computergraphisch visualisieren zu können.

Abschließend ist anzumerken, dass spezielle Kundenanforderungen und bereits vorhandene Strukturen und Vorgaben hinsichtlich der elektronischen Datenverarbeitung relativ einfach zu berücksichtigen sind, da die einzelnen Komponenten je nach den Bedürfnissen ausgetauscht (z.B. Online vs. Offline, freie vs. Kommerzielle Software, ...) oder

angepasst werden können. Dies führt auch zu einer gewissen Dynamik des Systems, da es jederzeit auf andere äußerliche Faktoren, Einflüsse und Regularien reagieren kann.

4.2 Wahrnehmungsstudie

Um eine mögliche Einführung einer AR-Anwendung zu hinterfragen und zu überprüfen, wurde eine Wahrnehmungsstudie durchgeführt, bei der Vor- und Nachteile der Visualisierungsvarianten herausgearbeitet wurden. Durch die Erkenntnisse aus den Ergebnissen der Bestandsanalyse wurde eine mobile Lösung eingesetzt, die lediglich oberflächige Punktoobjekte visualisiert, um die Ansichten für die Anwender, denen AR Displays größtenteils unbekannt sind, möglichst einfach zu halten.

Betrachtet man die Ergebnisse der korrespondierenden Fragen der Wahrnehmungsstudie, ist direkt festzustellen, dass bei der Abfrage der Schachtnummer relativ schlechte Ergebnisse (13 %) bei der AR Darstellung erzielt wurden (siehe Abb. 52).

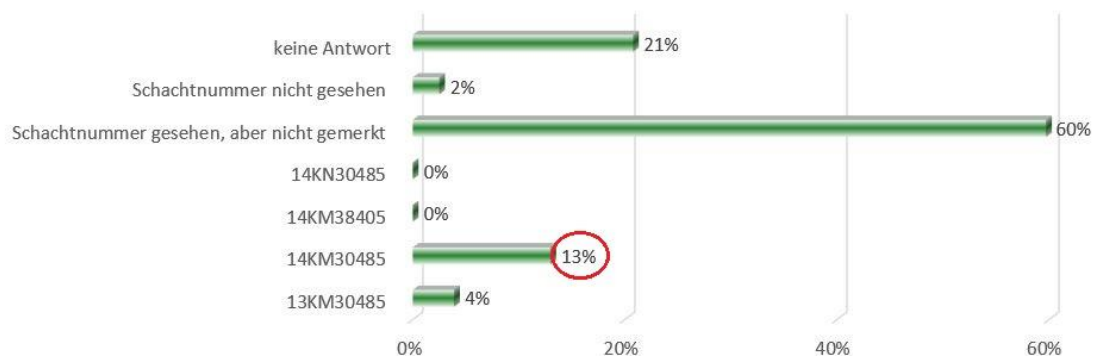


Abb. 52: Ergebnis AR: Wie lautet die Schachtnummer des Objektes?
(eigene Darstellung)

Bei der 2D Darstellung konnten dagegen knapp zwei Drittel der Befragten die korrekte Schachtnummer wiedergeben (siehe Abb. 53).

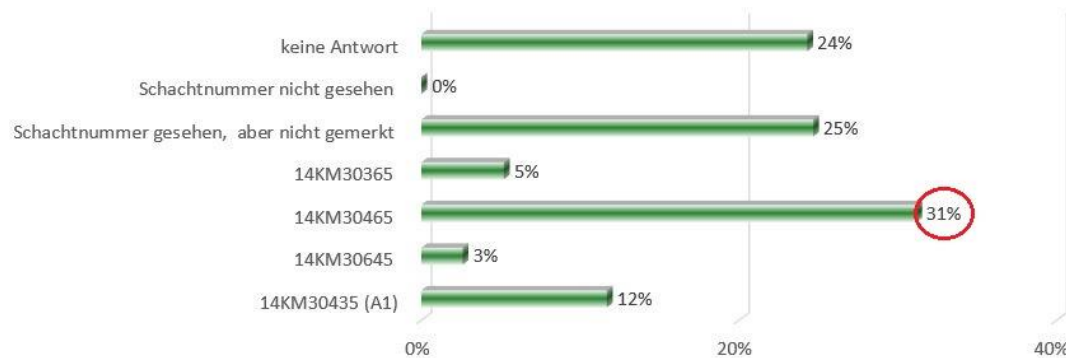


Abb. 53: Ergebnis 2D: Wie lautet die Schachtnummer des rot umrandeten Objektes?
(eigene Darstellung)

Interessant ist zudem die Feststellung, dass bei einer Visualisierung mit AR 60 % angegeben, dass sie eine Nummer zwar gesehen haben, diese aber sich nicht merken konnten. Besonders bei Details wie Nummern oder Werten scheint es den Anwendern leichter zu fallen, die ihnen geläufige Darstellung zu verwenden. Als Grund hierfür wurden die vorhandene Ablenkung durch die realistische Umgebung sowie die ungewohnte Annotation der Attribute genannt. Unterstützt wird dies durch die Tatsache, dass sich bei der 2D Darstellung lediglich 25 % die Schachtnummer nicht merken konnten, diese aber wahrgenommen hatten und dafür im Gegenzug deutlich mehr Anwender bei der Auswahl einer Schachtnummer sicher waren, obwohl diese nicht zwingend richtig war. Bei vielen Anwendern wurde dagegen angemerkt, dass bei einer Verschriftlichung der Symbolik, wie sie in diesem Fall bei der AR Darstellung erfolgte, keine oder weniger Missverständnisse aufgrund von schlechter Sichtbarkeit oder Farbgebung auftreten wie bei einer 2D Symbolisierung mit Planzeichen. Dies konnte durch die Auswertung der Ergebnisse auch gemessen werden (siehe Abb. 54).

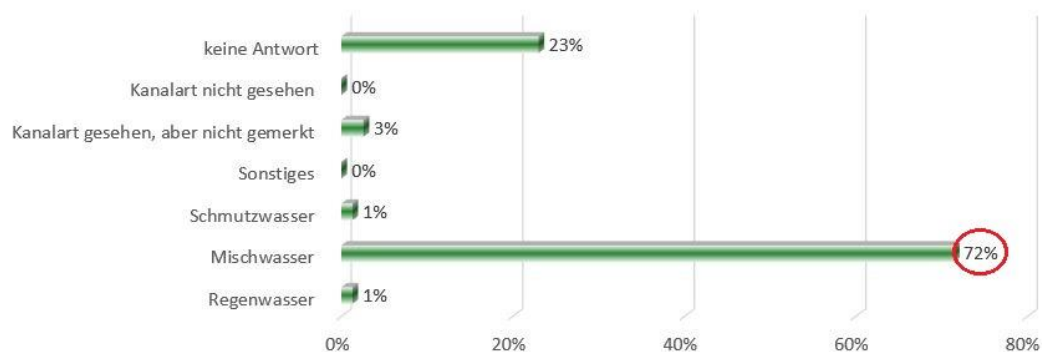


Abb. 54: Ergebnis AR: Welche Kanalart ist abgebildet?
(eigene Darstellung)

So konnte die korrekte Kanalart bei der AR Visualisierung von 72 % der Befragten korrekt wiedergegeben werden, was nahezu 100 % von allen abgegebenen Antworten entspricht.

Bei der 2D Darstellung mit Planzeichen dagegen wurde die richtige Lösung lediglich von 42 % erreicht (siehe Abb. 55). Zudem wurden hier auch andere, falsche Möglichkeiten deutlich häufiger genannt, was ebenso die Vorteile der Verschriftlichung beziehungsweise die Schwierigkeiten bei einer Symbolisierung mit Planzeichen bestärkt.

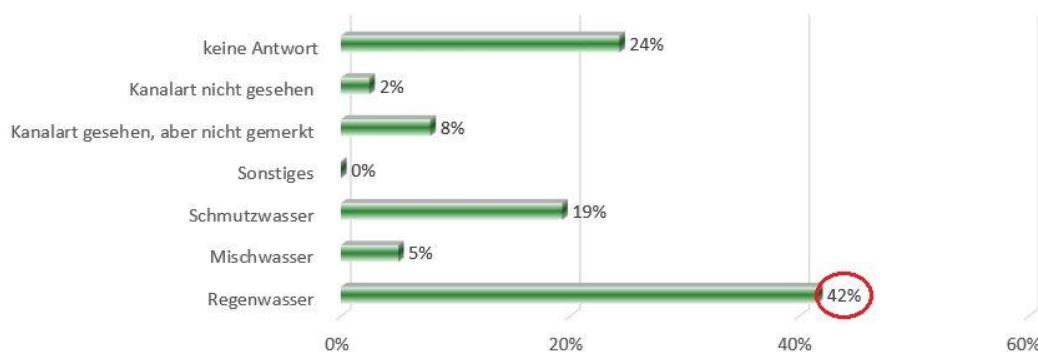


Abb. 55: Ergebnis 2D: Welcher Kanalart gehört der rot umrandete Hydrant an?
(eigene Darstellung)

Durch die veränderte Symbolik kann ebenso ein kleines Gebiet effektiv z.B. hinsichtlich der Objektanzahl und deren Zuordnung überblickt werden. Auch hier wurden deutlich bessere Ergebnisse bei der AR Anwendung (siehe Abb. 56) erzielt, was wiederum auf die oben beschriebene Schwierigkeit der Planzeichenwahrnehmung bei einer 2D Kartenansicht verweist.

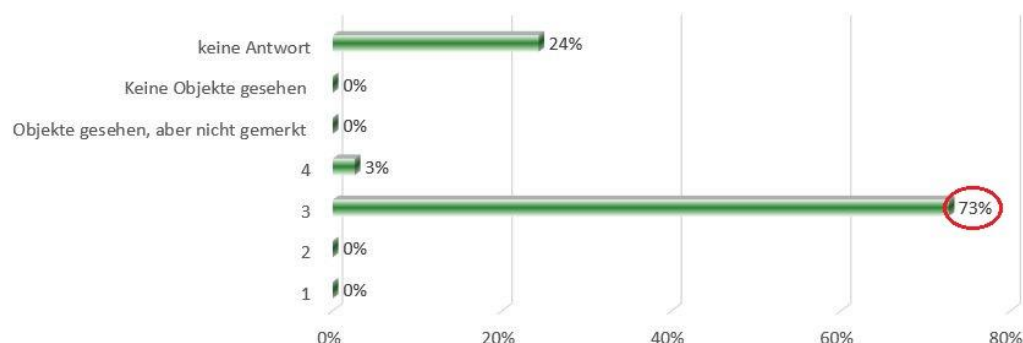


Abb. 56: Ergebnis AR: Wie viele Mischwasserschächte sind vorhanden
(eigene Darstellung)

Sämtliche beim Vergleich der Ergebnisse hinsichtlich der Wahrnehmung der Kanalart erkannten Unterschiede treffen auch bei der Wahrnehmung der Anzahl einer bestimmten Kanalart zu, da die Anwender ebenso deutlich vermehrt falsche Schachttanzahlen angegeben haben (siehe Abb. 57).

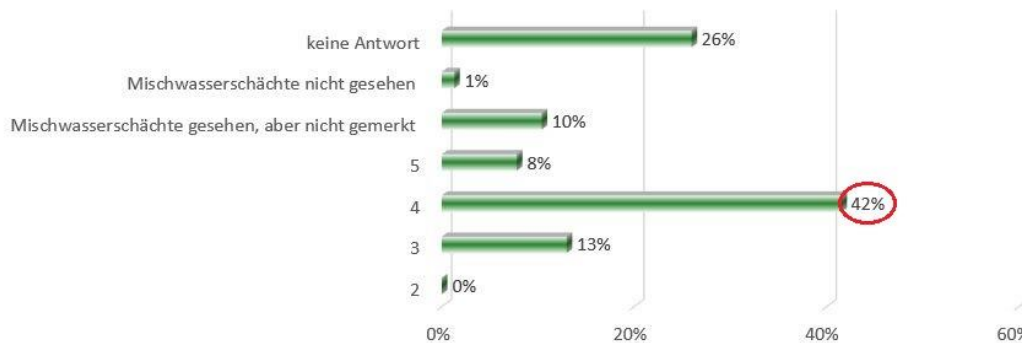


Abb. 57: Ergebnis 2D: Wie viele Mischwasserschächte sind vorhanden?
(eigene Darstellung)

Ein weiterer Grund, der dieses Ergebnis beeinflusst und von Anwendern thematisiert wurde, ist die Tatsache, dass man die Darstellung bei einer AR Visualisierung deutlich besser hinsichtlich der angezeigten Objekte steuern kann und somit ein besserer und schnellerer Überblick über das für diese Ansicht relevante Gebiet gegeben ist.

Ein bereits vorher in wissenschaftlichen Artikeln recherchierter Vorteil konnte durch den letzten Vergleich von AR und 2D Ansicht überprüft werden. So wird oftmals der wesentliche Mehrnutzen hinsichtlich der direkten Orientierung und der Einbettung des Objektes in die reale Umgebung erwähnt. In der Wahrnehmungsstudie wurde deshalb nach der Lage des Objektes in der Fläche (z.B. Verkehrsfläche, Grünfläche, ...) gefragt. Es zeigt sich, dass die durch die Literatur gewonnenen Annahmen auch bei dieser Studie zutreffen. Bei einer AR Visualisierung konnten nahezu alle Anwender, die eine Antwort abgegeben hatten, die Einordnung des Objektes zu der darunter liegenden Fläche richtig feststellen (siehe Abb. 58).

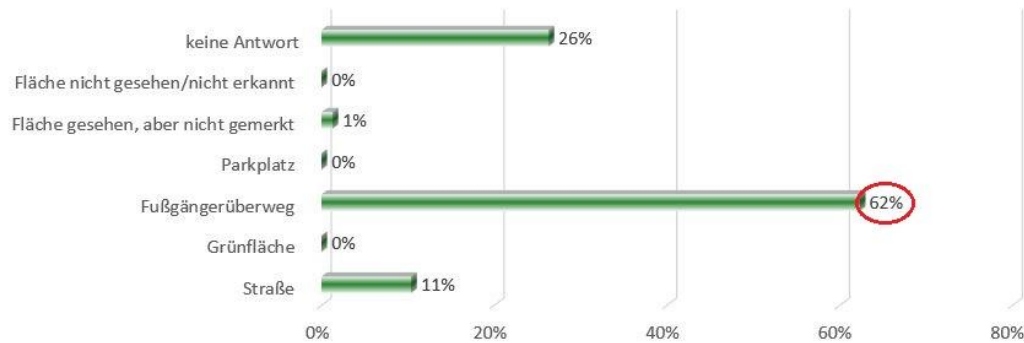


Abb. 58: Ergebnis AR: Auf welcher Fläche liegt das Objekt?
(eigene Darstellung)

Bei der 2D Kartenansicht dagegen konnten mit 42 % deutlich weniger Personen die richtige Lage des Objektes wahrnehmen (siehe Abb. 59).

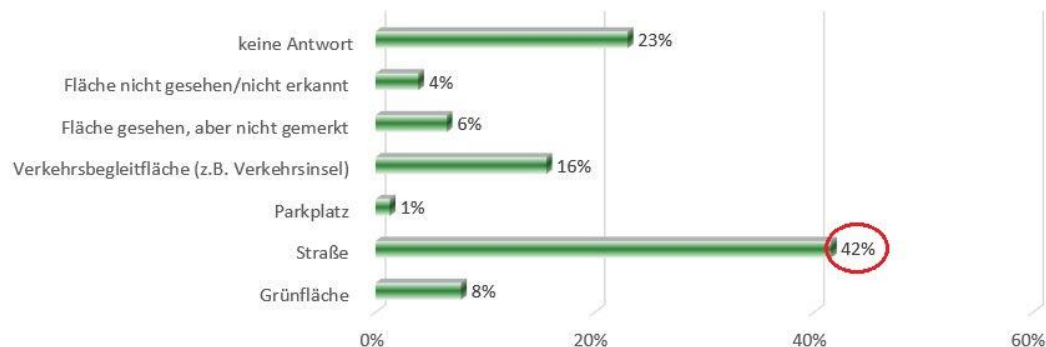


Abb. 59: Ergebnis 2D: Auf welcher Fläche liegt das rot umrandete Objekt
(eigene Darstellung)

Zudem konnte bei dieser Frage festgestellt werden, dass die Fläche bei 10 % der Befragten nicht gemerkt oder gar nicht erkannt wurde. Um diese Anzahl zu verringern bzw. zu überprüfen, wäre ein Vergleich mit anderen Hintergrundkarten sinnvoll, ob die Fehlerquote auf eine diesbezügliche Problematik zurückzuführen ist.

Berücksichtigt man alle vergleichenden Ansichten fällt auf, dass mit Ausnahme der Wahrnehmung von Details wie Schachtnummern durchwegs bessere Ergebnisse und somit eine bessere Wahrnehmung von Inhalten in den AR Ansichten gegenüber der 2D Kartenansicht erzielt wurden.

Besonders auffällig ist zudem, dass bei sämtlichen Fragen der Wahrnehmungsstudie ungefähr ein Viertel der befragten Personen keine Antwort abgab. Dies könnte auf eine Überforderung oder eine zu kurze Einblendung der Darstellungen zurückzuführen sein.

Besonders die für viele Anwender anscheinend relativ kurze Visualisierungszeit von 10 Sekunden wurde von diesen als Schwierigkeit angemerkt. Grundsätzlich muss aber für alle Ergebnisse der Aspekt berücksichtigt werden, dass für einen Großteil der Anwender (ca. 85 %) der Fragebogen ein erster Berührungspunkt mit AR Visualisierungen war. Durch weitere Erfahrungen können die Ergebnisse sicherlich maßgeblich verbessert werden und folglich auch in der Wahrnehmung von Details wie Schachtnummern, die in dieser Studie noch bessere Resultate bei der 2D Darstellung erzielte.

Um den Anwendern noch Raum für ausführliche Erfahrungen und Rückmeldung bezüglich der von ihnen festgestellten Vor- und Nachteile der AR Visualisierung zu geben, konnten diese einen kurzen Textabschnitt oder Stichpunkte dazu verfassen. Diese wurden kategorisiert, um die wichtigsten Aspekte der Anwender herausarbeiten zu können (siehe Tab. 19). Insgesamt gaben 48 Personen Kommentare ab, was einer Quote von 62 % entspricht und zeigt, dass die Thematik bei den Anwendern durchaus Diskussionsbedarf bietet.

Tab. 19: Vor- und Nachteile der AR Anwendung aus Teilnehmersicht

Vorteile	% von allen abgegebenen Kommentaren
Korrelation mit Umgebung	75
Bessere Visualisierung der Umgebung	55
Übersichtlichkeit bei kleinem Gebiet	21
Sichtbarkeit von Hidden Objects	15
Effizienzsteigerung	8
Weniger Bauschäden durch Untergrundsicht	4
Nachteile	
Investitionskosten	45
Zusätzlicher Zeitaufwand (z.B. Datenpflege, 3D Werte)	38
schlechte Übersicht bei Gesamtansicht	29
Bessere mobile Datenverfügbarkeit erforderlich	25
Ablenkung durch realistische Umgebung	18

Bei den Nachteilen wurde neben den bereits erwähnten Problemen bei der Übersichtlichkeit eines großen Untersuchungsgebietes oder eines strukturreichen

Leitungsnetzausschnittes vor allem hohe Investitionskosten und gestiegener Zeitaufwand aufgeführt. Viele Befragte vermuteten hohe Kosten in Folge von Hardwareanschaffungen und zusätzlichem Fachpersonal oder durch vermehrten Einsatz von externen Beratungsleistungen. Da selbst die meisten Consumergeräte inzwischen über Eigenschaften verfügen, die ein Einsatz von AR voraussetzt, muss zumindest im Bereich der Hardware von keinen allzu großen Investitionen ausgegangen werden. Zudem wurde bei einigen ein Personalmangel von Fachkräften angesprochen, der eine Einführung und einen Einsatz von AR in der täglichen Praxis durch den höheren Zeitaufwand aufgrund von intensiver Einarbeitung und zusätzlicher Datenpflege bzw. Editierung erschwert oder dieser nur durch zusätzliches Personal realisiert werden kann. Viele Anwender berichteten zudem von Schwierigkeiten bei mobilem Empfang besonders in ländlichen Gebieten, was aus ihrer Sicht einen Einsatz erschweren würde. Hier könnte wie bereits im Systemaufbau der ermittelten Anwendung in Kapitel 4.1. (S. 92 ff) beschrieben eine Offline Datenbanklösung zum Einsatz kommen, die es dem Anwender ermöglicht, durch eine im Vorfeld getätigte Erstellung und Synchronisation auf dem mobilen Endgerät dieses auch ohne Internetverbindung zu nutzen. Eher wenige Anwender vermerkten das bereits oben beschriebene Bestehen der visuellen Ablenkung durch die fotorealistische Darstellung mit Hilfe der Kameradurchsicht.

Als Vorteile sind besonders zwei Aspekte hervorzuheben. Die Teilnehmer sahen vor allem in der realistischen Visualisierung der Umgebung durch die *see-through* Technik sowie der direkten Einbettung von Objekten in dieses Umfeld das größte Potential einer AR Anwendung. Dadurch konnten sich die Befragten in der Regel die Lage des Objektes deutlich besser vorstellen und bemerkten, dass bei komplexeren Darstellungen mutmaßlich die Relationen von Objekten untereinander und von Objekten zur direkten Umwelt besser eingeschätzt werden können, da ein unmittelbarer Bezug zur Umgebung hergestellt wird. Durch die verbesserte Darstellung ist auch ein Nutzen für Bürgerbeteiligungen oder Bürgerversammlungen gegeben, da besonders nicht fachkundige Personen Probleme haben, sich auf üblichen 2D Karten zu orientieren und deren Inhalte zu erfassen. Obwohl es in dieser Wahrnehmungsstudie nicht thematisiert wurde, sahen einige Nutzer einen Vorteil in der Sichtbarkeit von verborgenen Objekten (*hidden objects*), die ja bekanntermaßen im Anwendungsfeld der Ver- und Entsorgung von großer Bedeutung sind, da sich ein Großteil der Strukturen im Untergrund befindet. Zudem wurden

noch mögliche Effizienzsteigerungen durch Zeitersparnis in der täglichen Arbeit aufgrund der besseren Visualisierung sowie das Potential der Vermeidung von Bauschäden aufgeführt. Beide Aspekte wurden vor allem hinsichtlich der Visualisierung von Untergrundstrukturen erwähnt.

Insgesamt ist festzustellen, dass unter Berücksichtigung der geringen Vorkenntnisse Vorteile einer AR Visualisierung besonders durch die direkte Einbettung in eine realistische Umgebung und die dadurch entstehenden Korrelationen zur Umwelt entstehen. Ebenso kann durch eine Reduktion der Objekte sowie die dadurch mögliche angepasste Symbolisierung eine verbesserte Wahrnehmung erzielt werden. Interessant ist zudem, in einer späteren Forschungsarbeit eine Visualisierung von Untergrundstrukturen hinsichtlich der Tiefenwahrnehmung zu untersuchen, da hier das wahrscheinlich größte Potential dieser Technik vorhanden ist.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im abschließenden Kapitel wird eine Zusammenfassung der Ergebnisse präsentiert, anhand derer die Zielsetzung der Arbeit beantwortet und kritisch hinterfragt werden. Zum Schluss findet sich noch ein Ausblick auf den Einsatz von Augmented Reality in der öffentlichen Ver- und Entsorgung.

5.1 Überprüfung der Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit soll gezeigt werden, ob und inwieweit Augmented Reality im Bereich der Ver- und Entsorgung in der öffentlichen Verwaltung eingesetzt werden kann oder bereits eingesetzt wird. Dabei steht zunächst die Erstellung eines durch die Bestands- und Bedarfsanalyse ermittelten repräsentativen Systems als zentrales Ziel im Vordergrund. Zudem sollen dann durch eine Wahrnehmungsstudie praxisorientiert Vor- und Nachteile von einer 2D Kartenansicht und AR Visualisierungen ermittelt werden, die in Verbindung mit dem analysierten System als Ansatzpunkt für eine spätere prototypische Anwendungsentwicklung dienen.

Entsprechend der Zielsetzung konnte in dieser Arbeit durch eine detaillierte Literaturrecherche aufgezeigt werden, dass es bereits eine Vielzahl von Augmented Reality Anwendungen für den Themenkomplex Ver- und Entsorgung gibt (siehe Kap. 1.2, S. 4). Allerdings konnten keine Systeme ermittelt werden, die bereits in der öffentlichen Ver- und Entsorgung produktiv im Einsatz sind, da diese bis jetzt in der Regel nur prototypisch und in Testläufen eingesetzt wurden beziehungsweise Gegenstand von wissenschaftlichen Forschungsarbeiten waren.

In Verbindung mit den ausgewerteten Fragebögen, den Messebesuchen sowie den dort geführten Experteninterviews wurde die Erkenntnis gewonnen, dass eine zukünftige Anwendung sich auf das Visualisieren von unterirdischen Leitungsnetzen für die Planung, Wartung und Schadensvermeidung konzentrieren sollte, da hier der größte Nutzen für die Anwender aufgrund der verbesserten Tiefenwahrnehmung und einer Visualisierung an sich der in der Realität verborgenen Datensätze gegeben ist. Eine dadurch relativ kostengünstige Entwicklung und Ausstattung ermöglicht daher auch einen Einsatz in

öffentlichen Verwaltungen. Weiterhin wurden die grundlegenden Komponenten eines repräsentativen Systems ermittelt, die eine spätere Anwendungserstellung beeinflussen können. Als Hardware wird aufgrund des im Vergleich zu handelsüblichen Smartphones größeren Displays ein Tablet eingesetzt, das in der Regel auch auf die nötigen Eigenschaften zurückgreifen kann, die für ein 6DOF Tracking und Registrierung notwendig sind. Die Software sollte auf verschiedenen Plattformen einsetzbar sein und aufgrund der Vielzahl an bereits bestehenden sowohl kommerziellen als auch frei verfügbaren Softwareframeworks auf solche aufbauen. Für ein besseres Verständnis von Relationen und Abläufen zwischen den Systemkomponenten wurde zudem ein Systemdiagramm erstellt (siehe Kap. 4.1, S. 92 ff).

Für die Wahrnehmungsstudie wurden Punktoobjekte erfasst und in einer zweidimensionalen Kartenansicht sowie mittels einer bestehenden AR Applikation visualisiert. Für die Studie konnten wieder eine große Zahl an Fachanwendern erreicht werden, so dass die Ergebnisse als sehr aussagekräftig einzustufen sind. Insgesamt zeigte sich, dass mit Ausnahme der Wahrnehmung von kleinen Details wie Schachtnummern durchwegs bessere Ergebnisse bei einer AR Visualisierung erzielt werden konnten, wie zum Beispiel bei der Wahrnehmung der Objektlage. Nachteile sind vor allem im Bereich der erhöhten Kosten und der Personalplanung aufzuführen sowie in der Unübersichtlichkeit eines großen Untersuchungsgebiets. Als Vorteile wurden besonders die Einbettung der Daten in den realen Kontext und der damit verbundene verbesserte Bezug zur direkten Umwelt genannt sowie die Sichtbarkeit von verborgenen Strukturen und das Potential zur Vermeidung von Bauschäden (siehe Kap. 4.2, S. 100 ff).

Aufgrund der großen Anzahl der bereits entwickelten, wissenschaftlichen Anwendungen, der erfolgreichen Erarbeitung eines repräsentativen Systems, das die Anforderungen von Fachanwendern berücksichtigt, und der gewonnenen Ergebnisse aus der Wahrnehmungsstudie ist davon auszugehen, dass die eingangs formulierte Zielsetzung erfüllt ist und eine zukünftige Applikationsentwicklung stimulieren sollte.

5.2 Ausblick

Im abschließenden Kapitel werden zunächst einige Punkte aufgeführt, die sich während der Arbeit am vorliegenden Thema ergeben haben und zukünftige Betätigungsfelder darstellen könnten, bevor abschließend ein Ausblick in den gesamten Themenkomplex gewagt wird.

So kann auf Basis des erstellten Systemdiagramms eine prototypische Anwendung in Zusammenarbeit mit einem Testkunden entwickelt werden, um dieses hinsichtlich einer Alltagstauglichkeit zu überprüfen und gegebenenfalls Anpassungen im Systemaufbau vorzunehmen.

Des Weiteren ist es ratsam, weitere Studien hinsichtlich der Darstellung von Linienobjekten sowie der Tiefenwahrnehmung von Augmented Reality Visualisierungen vorzunehmen, da hier einer der größten Vorteile gegenüber geläufigen, zweidimensionalen Kartenansichten besteht und dieser Punkt in dieser Arbeit keine Berücksichtigung fand. In einem weiteren Schritt kann dann gezielt die Ausarbeitung eines geeigneten User Interfaces einer AR Darstellung im Vordergrund stehen, das benutzerorientiert entwickelt wird und in die prototypische Applikation eingebettet werden kann. Ebenso können die Ergebnisse der Wahrnehmungsstudie auch auf andere Themenkomplexe außerhalb des Bereiches der Ver- und Entsorgung übertragen werden.

Um eine Anwendung aber auch produktiv zu nutzen, muss zunächst die Bekanntheit und die Akzeptanz für die Technologie gesteigert werden. Dies zeigt auch die Tatsache, dass lediglich 40 % der Anwender, die im Rahmen der Bestandsanalyse an der Umfrage teilnahmen, den Begriff „Augmented Reality“ überhaupt kannten und nur 15 % eine Anwendung schon einmal verwendet hatten, vornehmlich im privaten Umfeld. Neben der Bewusstseins-schaffung für immersive Technologien und Investitionen in Mitarbeiterqualifikationen und Hardware müssen auch Anpassungen an Technologieinfrastrukturen für die Integration in bestehende Systeme erfolgen. Besonders in den zusätzlichen Kosten sowie dem Zeitmangel hinsichtlich einer Einarbeitung in die neue Thematik oder der Einarbeitung von neuen Mitarbeitern sahen etwas mehr als die Hälfte aller Befragten mögliche Hindernisse einer Technologieeinführung.

Vorstehend skizzierte Aspekte lassen eine Vielzahl weiterer Forschungsarbeiten erahnen. Es zeigt sich aber vor allem, dass eine Intensivierung der Tätigkeit zukünftig besonders auf eine praxistaugliche Anwendung abzielen sollte, um Augmented Reality im Bereich der öffentlichen Ver- und Entsorgung mittelfristig einzuführen und zu etablieren.

LITERATURVERZEICHNIS

- ALHA, K., KOSKINEN, E., PAAVILAINEN, J. & HAMARI, J. (2019), Why do people play location-based augmented reality games: A study on Pokémon GO. In: *Computers in Human Behavior*, 93, 114–122, doi: 10.1016/j.chb.2018.12.008.
- AZUMA, R., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S. & MACINTYRE, B. (2001), Recent advances in augmented reality. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21 (6), 34–47, doi: 10.1109/38.963459.
- AZUMA, R., BILLINGHURST, M. & KLINKER, G. (2011), Special section on mobile augmented reality. In: *Computers and Graphics (Pergamon)*, 35 (4), doi: 10.1016/j.cag.2011.05.002.
- AZUMA, R. T. (1997), A survey of augmented reality. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355–385, doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355.
- BANDILLA, W. (2015), Online-Befragung (Version 1.1), Mannheim.
- BARREIRA, J., BESSA, M., PEREIRA, L. C., ADÃO, T., PERES, E. & MAGALHÃES, L. (2012), MOW: Augmented Reality game to learn words in different languages: Case study: Learning English names of animals in elementary school. In: *7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2012)*, 1–6.
- BARTH, S. (2011), Die schriftliche Befragung.
- BEHZADAN, A. H., DONG, S. & KAMAT, V. R. (2015), Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. In: *Advanced Engineering Informatics*, 29 (2), 252–267, doi: 10.1016/j.aei.2015.03.005.
- BEHZADAN, A. H., TIMM, B. W. & KAMAT, V. R. (2008), General-purpose modular hardware and software framework for mobile outdoor augmented reality applications in engineering. In: *Advanced Engineering Informatics*, 22 (1), 90–105, doi: 10.1016/j.aei.2007.08.005.
- BILLINGHURST, M., BOWSKILL, J. & MORPHETT, J. (1998), WearCom: A Wearable Communication Space.
- BILLINGHURST, M., CLARK, A. & LEE, G. (2014), A survey of augmented reality. In: *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 8 (2-3), 73–272, doi: 10.1561/11000000049.
- BILLINGHURST, M., WEGHORST, S. & FURNESS, T. (1997), Wearable computers for three dimensional CSCW. In: *Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers*, 39–46.
- BIMBER, O. & RASKAR, R. (2006), Modern approaches to augmented reality. In: *SIGGRAPH 2006 - ACM SIGGRAPH 2006 Courses*.
- BÖHRINGER, J., BÜHLER, P. & SCHLAICH, P. (2008), *Kompandium der Mediengestaltung für Digital- und Printmedien*. Springer.
- BORTZ, J. & DÖRING, N. (2015), *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Mit 87 Tabellen. Springer, Berlin, Heidelberg.
- BOULOS, K., MAGED, N., ZHIHAN, L., GUERRERO, P., JENNETT, C. & STEED, A. (2017), From urban planning and emergency training to Pokémon Go: Applications of virtual reality GIS (VRGIS) and augmented reality GIS (ARGIS) in personal, public and environmental health. In: *International Journal of Health Geographics*, 16 (1), doi: 10.1186/s12942-017-0081-0.

- BREUSS-SCHNEEWEIS, P. (2016), "The speaking celt" - Augmented reality avatars guide through a museum - Case study. In: UbiComp 2016 Adjunct - Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, 1484–1491.
- BUCHROITHNER, M. (2002), Aspekte heutiger Kartengestaltung- eine Auswahl von Publikationen - Herrn Doz. i.R. Dr. sc. techn. Werner Stams. zum 75. Geburtstag.
- CAO, C., LI, Z., ZHOU, P. & LI, M. (2018), Amateur: Augmented Reality Based Vehicle Navigation System. In: Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, 2, 1–24, doi: 10.1145/3287033.
- CAO, H. L., CHEN, Y. L. & TAO, T. H. (2017), Digital reconstruction of the Song Dynasty Ganzhou drainage system based on AR technology and its' application in the new urban area planning and revision. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 57 (1), doi: 10.1088/1755-1315/57/1/012027.
- CARMIGNIANI, J., FURHT, B., ANISETTI, M., CERAVOLO, P., DAMIANI, E. & IVKOVIC, M. (2011), Augmented reality technologies, systems and applications. In: Multimedia Tools and Applications, 51 (1), 341–377, doi: 10.1007/s11042-010-0660-6.
- CAUDELL, T. & MIZELL, D. (1992), Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: 659 - 669 vol.2.
- CHATZOPOULOS, D., BERMEJO, C., HUANG, Z. & HUI, P. (2017), Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go. In: IEEE Access, 5, 6917–6950, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2698164.
- CHAUDHARI, P., KAMTE, R., KUNDER, K., JOSE, A. & MACHADO, S. (2018), 'Street Smart': Safe Street App for Women Using Augmented Reality. In: 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA), 1–6.
- CHI, H. L., KANG, S. C. & WANG, X. (2013), Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. In: Automation in Construction, 33, 116–122, doi: 10.1016/j.autcon.2012.12.017.
- CHOI, H., CHO, B., MASAMUNE, K., HASHIZUME, M. & HONG, J. (2016), An effective visualization technique for depth perception in augmented reality-based surgical navigation. In: The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 12 (1), 62–72, doi: 10.1002/rcs.1657.
- CHOI, H., PARK, Y., CHO, H. & HONG, J. (2015), An augmented reality based simple navigation system for pelvic tumor resection. In:
- COCKBURN, A. (2000), Writing Effective Use Cases. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc, Boston, MA, USA.
- DAHNE, P. & KARIGIANNIS, J. (2002), Archeoguide: system architecture of a mobile outdoor augmented reality system. In: 263–264.
- DE SA, M. & CHURCHILL, E. F. (2012), Mobile augmented reality: Exploring design and prototyping techniques. In: MobileHCI'12 - Proceedings of the 14th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, 221–230.
- DOS SANTOS, A. B., DOURADO, J. B. & BEZERRA, A. (2016), ARToolkit and Qualcomm Vuforia: An Analytical Collation. In: Proceedings - 18th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2016, 229–233.
- ENGEL, A. K. (1996), Prinzipien der Wahrnehmung: Das visuelle System, 181–207.
- ESRI (2019). <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/3d-gis/ar-for-your-gis/> (01.04.2019).

- FEINER, S., MACINTYRE, B. & SELIGMANN, D. (1993), Knowledge-based Augmented Reality. In: *Communications of the ACM*, 36 (7), 53–62, doi: 10.1145/159544.159587.
- FELLMANN, M., HEITMANN, C., METZGER, D., NOBBE, L. & THOMAS, O. (2015), TKD 4.0 - Klassifikation; Einordnung und Bewertung der Einsatzpotenziale von Augmented-Reality-Anwendungen für den Technischen Kundendienst.
- FENAI, A., SMILOVSKY, N., T. ARIARATNAM, S. & AYER, S. (2018), A Meta-Analysis of Augmented Reality Challenges in the Underground Utility Construction Industry. In: 80–89.
- FENN, J., RASKINO, M. & BURTON, B. (2017), Understanding Gartner's Hype Cycles.
- FERNANDEZ GUZMAN, B., CERRADA, J. & GROSS, J. (2016), Tractor-Implement Real Time Interactive 3D Simulation Based on openFrameworks and OpenGL. In:
- FISH, C., GOLDSBERRY, K. & BATTERSBY, S. (2011), Change Blindness in Animated Choropleth Maps: An Empirical Study. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 38, 350–362, doi: 10.1559/15230406384350.
- FLICK, U. (Hrsg.) (2000), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch*. Rowohlt-Taschenbuch-Verl., Reinbek bei Hamburg.
- FÖCKLER, P., ZEIDLER, T., BROMBACH, B., BRUNS, E. & BIMBER, O. (2005), PhoneGuide: museum guidance supported by on-device object recognition on mobile phones. In: MUM.
- FRIEDRICH, W. (2002), ARVIKA-augmented reality for development, production and service. In: *Proceedings - International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2002*, 3–4.
- FRIEDRICHS, J. (1990), *Methoden empirischer Sozialforschung*. Westdt. Verl., Opladen.
- HA, H.-G. & HONG, J. (2016), Augmented Reality in Medicine. In: *Hanyang Medical Reviews*, 36, 242, doi: 10.7599/hmr.2016.36.4.242.
- HALBING, A. (2018), *Die empirische Forschungspraxis des Experteninterviews und seine Methodologie*. GRIN Verlag, München.
- HAMZA LUP, F., ROLLAND, J. & HUGHES, C. (2018), A Distributed Augmented Reality System for Medical Training and Simulation.
- HANNA, M. G., AHMED, I., NINE, J., PRAJAPATI, S. & PANTANOWITZ, L. (2018), Augmented Reality Technology Using Microsoft HoloLens in Anatomic Pathology. In: *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 142 (5), 638–644, doi: 10.5858/arpa.2017-0189-OA.
- HAUGSTVEDT, A.-C. & KROGSTIE, J. (2012), Mobile augmented reality for cultural heritage: A technology acceptance study. In: 247–255.
- HEILIG, M. L. (1992), EL Cine del Futuro: The Cinema of the Future. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1 (3), 279–294, doi: 10.1162/pres.1992.1.3.279.
- HEISE (2019). <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Hololens-2-fuer-die-Armee-US-Militaer-demonstriert-Einsatz-der-AR-Brille-4365506.html> (20.06.2019).
- HELFFERICH, C. (2010), *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- HERLITSCHKA, S. & VALTINER, D. (2017), Digital transformation: How industry and society are remodeling as the analog becomes more and more digital. In: *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 134 (7), 340–343, doi: 10.1007/s00502-017-0518-y.
- HÖHL, W. & BROSCART, D. (2015), Augmented Reality in Architektur und Stadtplanung. In: *gis.Science*, 1, 2015.

- HÖLLERER, T., FEINER, S., TERAUCHI, T., RASHID, G. & HALLAWAY, D. (1999), Exploring MARS: Developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. In: *Computers and Graphics* (Pergamon), 23 (6), 779–785, doi: 10.1016/S0097-8493(99)00103-X.
- HÖLLERER, T. & FEINER, S. (2004), Mobile Augmented Reality. In: 221–260.
- HUAWEI (2019), Huawei P20 Lite. <https://consumer.huawei.com/de/phones/p20-lite/> (05.10.2019).
- HUISMAN, O. & FORER, P. (Hrsg.) (2008), Progress in the application of time - geographic concepts to urban micro - process : powerpoint.
- IKEA (2017), Neue AR-App IKEA Place - jetzt verfügbar! (23.06.2019).
- JACOBSON, I. (1987), Object-oriented Development in an Industrial Environment. In: *Conference Proceedings on Object-oriented Programming Systems, Languages and Applications*. ACM, New York, NY, USA, 183–191.
- JACOBSON, I., SPENCE, I. & KERR, B. (2016), Use-case 2.0. In: *Communications of the ACM*, 59, 61–69, doi: 10.1145/2890778.
- JAKL, A., SCHÖFFER, L., HUSINSKY, M. & WAGNER, M. (2018), Augmented Reality for Industry 4.0: Architecture and User Experience. In:
- JULIER, S., BAILLOT, Y., LANZAGORTA, M., BROWN, D. & ROSENBLUM, L. (2004), BARS: Battlefield Augmented Reality System.
- KALKOFEN, D., MENDEZ, E. & SCHMALSTIEG, D. (2007), Interactive Focus and Context Visualization for Augmented Reality. In: *2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 191–201.
- KATO, H. & BILLINGHURST, M. (1999), Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmentedreality conferencing system. In: 85–94.
- KERSTEN, B. (2003), Visuelle Wahrnehmung und virtuelle Welten.
- KHAN, D., ULLAH, S. & RABBI, I. (2015), Factors affecting the design and tracking of AR-Toolkit markers. In: *Computer Standards and Interfaces*, 41, 56–66, doi: 10.1016/j.csi.2015.02.006.
- KLEIN, G. & MURRAY, D. (2007), Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. In: *2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 225–234.
- KROLEWSKI, J. & GAWRYSIAK, P. (2011), The Mobile Personal Augmented Reality Navigation System. In: CZACHÓRSKI, T., KOZIELSKI, S. & STAŃCZYK, U. (Hrsg.), *Man-Machine Interactions 2*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 105–113.
- KRUEGER, M. W., GIONFRIDDO, T. & HINRICHSSEN, K. (1985), VIDEOPLACE - AN ARTIFICIAL REALITY. In: 35–43.
- KULAK, D. & GUINEY, E. (2001), Use Cases: Requirements in context. In: *ACM Sigsoft Software Engineering Notes*, 26, 101, doi: 10.1145/505894.505926.
- KUMKE, H. (2011), Kartographische Anreicherung von Gebäudefassaden mit thermalen Bilddaten. In:
- LEDERER, B. (2015), Quantitative Erhebungsmethoden. UTB, Kosntanz, 110–133.
- LEICA (2019), Leica Zeno 20 GIS-Datenerfassungsgerät. <https://leica-geosystems.com/de-de/products/gis-collectors/gis-handhelds-tablets/leica-zeno-20> (01.11.2019).
- LI, W., HAN, Y., LIU, Y., ZHU, C., REN, Y., WANG, Y. & CHEN, G. (2018), Real-time location-based rendering of urban underground pipelines. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7 (1), doi: 10.3390/ijgi7010032.
- LimeSurvey (2019). <https://www.limesurvey.org/de/> (04.10.2019).

- LIVINGSTON, M. A., ROSENBLUM, J. L., BROWN, D., SCHMIDT, G. S., JULIER, S., YOHAN, B., SWAN, E.O., ZHUMING, A. & MAASSEL, P. (2011), Military Applications of Augmented Reality. In: 671–706.
- MACEachren, A. (1995), *How maps work: Representation, Visualization & Design*.
- MEUSER, M. & NAGEL, U. (1991), *ExpertInneninterviews - vielfach erprobt, wenig beachtet: ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion*. Westdt. Verl., Opladen.
- MILGRAM, P. & KISHINO, F. (1994), Taxonomy of mixed reality visual displays. In: *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D (12), 1321–1329.
- MIRAUDA, D., ERRA, U., AGATIELLO, R. & CERVERIZZO, M. (2017), Applications of mobile augmented reality to water resources management. In: *Water (Switzerland)*, 9 (9), doi: 10.3390/w9090699.
- MUNRO, D., CALITZ, A. P. & VOGTS, D. (2017), A mobile Augmented Reality emulator for android. In: *South African Computer Journal*, 29 (1), 172–190, doi: 10.18489/sacj.v29i1.435.
- NAVON, D. (2010), The effect of recognizability on figure–ground processing: Does it affect parsing or only figure selection? In: *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 64, 608–624, doi: 10.1080/17470218.2010.516834.
- ORTEGA, S., WENDEL, J., SANTANA NÚÑEZ, J. M., MURSHED, S. M., BOATES, I., TRUJILLO-PINO, A., NICHERSU, A. & PABLO SUÁREZ, J. (2019), Making the Invisible Visible—Strategies for Visualizing Underground Infrastructures in Immersive Environments. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8, 152, doi: 10.3390/ijgi8030152.
- PENG, F. & JING, Z. (2017), A mobile augmented reality system for exhibition hall based on Vuforia. In: *2017 2nd International Conference on Image, Vision and Computing, ICIVC 2017*, 1049–1052.
- PEREVALOV, D. & TATARNIKOV, I. (2013), *Mastering openFrameworks: creative coding demystified. A practical guide to creating audiovisual interactive projects with low-level data processing using openFrameworks*. Packt Publ, Birmingham.
- PIEKARSKI, W., SMITH, R. & THOMAS, B. H. (2004), Designing backpacks for high fidelity mobile outdoor augmented reality. In: *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 280–281.
- PRÜFER, P. & STIEGLER, A. (2002), *Die Durchführung standardisierter Interviews: ein Leitfaden*, Mannheim.
- RANZINGER, M., SCHMALSTIEG, D., JUNGHANNS, S., MENDEZ, E. & SCHALL, G. (Hrsg.) (2007), *Augmented Reality in der Leitungsdokumentation*.
- REINWALD, F., SCHOBER, C. & DAMYANOVIC, D. (Hrsg.) (2013), *From Plan to Augmented-Reality - Workflow or Successful Implementation of AR Solutions in Planning and Participation Processes*. Eigenverl. d. Vereins CORP, Schwechat.
- REKIMOTO, J. (1998), Matrix: a realtime object identification and registration method for augmented reality. In: *Proceedings. 3rd Asia Pacific Computer Human Interaction (Cat. No.98EX110)*, 63–68.
- ROBERTS, G. W., EVANS, A., DODSON, A. H., DENBY, B., COOPER, S. & HOLLANDS, R. (Hrsg.) (2002), *The Use of Augmented Reality, GPS and INS for Subsurface Data Visualisation*.
- ROSENBERG, D. & STEPHENS, M. (2007), *Use Case Driven Object Modeling with UML. Theory and Practice*. Apress, Berkeley, CA.
- ROSENBERG, L. (1992), The Use of Virtual Fixtures as Perceptual Overlays to Enhance Operator Performance in Remote Environments, 52.

- SAMSUNG (2019), Samsung Galaxy Tab S 10.5 SM-T805. <https://www.samsung.com/de/support/model/SM-T805NZWADBT/> (04.10.2019).
- SANTANDER, V. & CASTRO, J. (2002), Deriving use cases from organizational modeling. In: 32–39.
- SCHALL, G., MENDEZ, E., KRUIJFF, E., VEAS, E., JUNGHANNS, S., REITINGER, B. & SCHMALSTIEG, D. (2009), Handheld Augmented Reality for underground infrastructure visualization. In: *Personal and Ubiquitous Computing*, 13 (4), 281–291, doi: 10.1007/s00779-008-0204-5.
- SCHALL, G., MENDEZ, E. & SCHMALSTIEG, D. (2008), Virtual redlining for civil engineering in real Environments. In: *Proceedings - 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008, ISMAR 2008*, 95–98.
- SCHALL, G., SCHMALSTIEG, D. & JUNGHANNS, S. (2010), VIDENTE-3D Visualization of Underground Infrastructure using Handheld Augmented Reality.
- SCHALL, G., SCHMALSTIEG, D. & LEBERL, F. (2009), Einsatz von Mixed Reality in der mobilen Leitungsauskunft. In: *Proceedings of 15. Internationale Geodätische Woche*. Wichmann, 130–138.
- SCHALL, G., ZOLLMANN, S. & REITMAYR, G. (2013), Smart Vidente: Advances in mobile augmented reality for interactive visualization of underground infrastructure. In: *Personal and Ubiquitous Computing*, 17 (7), 1533–1549, doi: 10.1007/s00779-012-0599-x.
- SCHMALSTIEG, D., FUHRMANN, A., HESINA, G., SZALAVÁRI, Z., ENCARNÇÃO, L., GERVAUTZ, M. & PURGATHOFER, W. (2003), The Studierstube Augmented Reality Project. In: *Presence Teleoperators & Virtual Environments*, 11, doi: 10.1162/105474602317343640.
- SCHMALSTIEG, D., SCHALL, G., WAGNER, D., BARAKONYI, I., REITMAYR, G., NEWMAN, J. & LEDERMANN, F. (2007), Managing complex augmented reality models. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*, 27 (4), 48–57, doi: 10.1109/MCG.2007.85.
- SCHMALSTIEG, D. & WAGNER, D. (2008), Mobile Phones as a Platform for Augmented Reality. In:
- SCHNELL, R., HILL, P. B. & ESSER, E. (2018), *Methoden der empirischen Sozialforschung*. De Gruyter Oldenbourg, Berlin.
- SCHRENK, M., POPOVIČ, V. V., ZEILE, P., ELISEI, P. & BEYER, C. (Hrsg.) (2015), *REAL CORP 2015. Plan Together – Right Now – Overall. From Vision to Reality for Vibrant Cities and Regions*. Proceedings of the 20th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society : Beiträge zu 20. Internationalen Konferenz zu Stadtplanung, Regionalentwicklung und Informationsgesellschaft. CORP - Competence Center of Urban and Regional Planning, Wien.
- SENGUPTA, S. & BHATTACHARYA, S. (2006), Formalization of UML use case diagram-a Z notation based approach. In: *2006 International Conference on Computing Informatics*, 1–6.
- SHOAIB, H. & JAFFRY, S. W. (2015), A Survey of Augmented Reality. In:
- SLOCUM, T., MACMASTER, R., KESSLER, F. & HOWARD, H. (2009), *Thematic cartography and geovisualization*, 3rd Edition.
- SOURCEFORGE.
- STATISTA (2017), Rosige Zukunft für erweiterte Realität. <https://de.statista.com/infografik/9006/marktentwicklung-von-augmented-und-virtual-reality/> (15.06.2019).
- SUTHERLAND, I. E. (1968), A Head-mounted Three Dimensional Display. In: *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*. ACM, New York, NY, USA, 757–764.

- SWAIN, S., MOHAPATRA, D. & MALL, R. (2010), Test Case Generation Based on Use case and Sequence Diagram. In: *International Journal of Software Engineering*, 3.
- SZALAVÁRI, Z., SCHMALSTIEG, D., FUHRMANN, A. & GERVAUTZ, M. (1998), "Studierstube": An Environment for Collaboration in Augmented Reality. In: *Virtual Real*, 3 (1), 37–48, doi: 10.1007/BF01409796.
- TALMAKI, S., DONG, S. & KAMAT, V. R. (2010), Geospatial Databases and Augmented Reality visualization for improving safety in urban excavation operations. In:
- THOMAS, B. H., CLOSE, B., DONOGHUE, J., SQUIRES, J., BONDI, P. de, MORRIS, M. & PIEKARSKI, W. (2000), ARQuake: an outdoor/indoor augmented reality first person application. In: *Digest of Papers. Fourth International Symposium on Wearable Computers*, 139–146.
- TOKUSHO, Y. & FEINER, S. (2009), Prototyping an Outdoor Mobile Augmented Reality Street View Application.
- TRAUN, C. (2015), Wahrnehmungsorientierte Kartengestaltung. In: *Online-Karten im Fokus. Praxisorientierte Entwicklung und Umsetzung*. Wichmann Verlag, 71–88.
- VAN KREVELEN, D.W.F. & POELMAN, R. (2010), Augmented Reality: An Overview.
- VARAKIN, D., LEVIN, D. & FIDLER, R. (2004), Unseen and Unaware: Implications of Recent Research on Failures of Visual Awareness for Human-Computer Interface Design. In: *Human-computer Interaction*, 19, doi: 10.1207/s15327051hci1904_9.
- VIDAL, F. P., BELLO, F., BRODLIE, K. W., JOHN, N. W., GOULD, D., PHILLIPS, R. & AVIS, N. J. (2006), Principles and Applications of Computer Graphics in Medicine. In: *Computer Graphics Forum*, 25 (1), 113–137, doi: 10.1111/j.1467-8659.2006.00822.x.
- VINGE, V. (Hrsg.) (2009), Mixed and augmented reality: "Scary and wondrous". 2009 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Arts, Media and Humanities.
- VISTA IV, F. P., LEE, D. J. & CHONG, K. T. (2013), Remote activation and confidence factor setting of ARToolKit with data association for tracking multiple markers. In: *International Journal of Control and Automation*, 6 (6), 243–252, doi: 10.14257/ijca.2013.6.6.23.
- WAGEMANS, J., ELDER, J. H., KUBOVY, M., PALMER, S. E., PETERSON, M. A., SINGH, M. & HEYDT, R. von der (2012), A century of Gestalt psychology in visual perception: I. Perceptual grouping and figure-ground organization. In: *Psychological bulletin*, 138 6, 1172–1217.
- WAGNER, D. & SCHMALSTIEG, D. (2003), First steps towards handheld augmented reality. In: *Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers*, 2003. Proceedings, 127–135.
- WALTER, P. (2010), Technische Kundendienstleistungen: Einordnung, Charakterisierung und Klassifikation. In:
- WEI, H., MIN, S. & SONGNIAN, L. (2016), A 3D GIS-based interactive registration mechanism for outdoor augmented reality system. In: *Expert Systems with Applications*, 55, 48–58, doi: 10.1016/j.eswa.2016.01.037.
- WERTHEIMER, M. (1922), Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. In: *Gestalt Theory*, 39, doi: 10.1515/gth-2017-0007.
- WOOD, M. (1968), Visual Perception and Map Design. In: *The Cartographic Journal*, 5 (1), 54–64, doi: 10.1179/caj.1968.5.1.54.
- XIAO, C. & LIFENG, Z. (2014), Implementation of mobile augmented reality based on Vuforia and Rawajali. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences, ICSESS*, 912–915.

- YOU, X., ZHANG, W., MA, M., DENG, C. & YANG, J. (2018), Survey on Urban Warfare Augmented Reality. In: ISPRS Int. J. Geo-Information, 7, 46.
- ZHANG, X., HAN, Y., HAO, D. S. & LV, Z. (2016), ARGIS-based outdoor underground pipeline information system. In: Journal of Visual Communication and Image Representation, 40 (Part B), 779–790, doi: 10.1016/j.jvcir.2016.07.011.