



Universität Regensburg

Reproduzierte Realität - Exploration und Evaluation von Projected-Augmented-Reality-Overlays auf Objekte

Bachelorarbeit im Fach Medieninformatik
am Institut für Information und Medien, Sprache und Kultur (I:IMSK)

Vorgelegt von:	Maximilian Eder
Adresse:	Neuprüll 3, 93051 Regensburg
E-Mail (Universität):	maximilian.eder@stud.uni-regensburg.de
E-Mail (privat):	max.eder@aol.com
Matrikelnummer:	2111227
Erstgutachter:	Dr. Raphael Wimmer
Zweitgutachter:	Prof. Dr. Christian Wolff
Betreuer:	Vitus Maierhöfer
Laufendes Semester:	7. Semester B.A. Medieninformatik / Medienwissenschaft
Abgegeben am:	14.04.2022

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung	6
1 Einleitung	7
2 Hintergrund	8
3 Klassifizierung von AR Systemen	10
3.1 Handheld Augmented Reality	11
3.2 Head Mounted Displays	12
3.3 Spatial AR	12
4 Verwandte Arbeiten	14
5 Exploration von PAR Overlays	18
5.1 Setup und Vorgehen	18
5.2 Kalibrierung	20
5.2.1 Kamerakalibrierung	20
5.2.2 Kalibrierung zwischen Kamera und Projektor	21
5.3 Umgebungs- und Projektionslicht	22
5.3.1 Umgebungslicht	22
5.3.2 Projektionslicht	22
5.3.3 Sichtbarkeit der Overlays	23
5.3.4 Schatten	23
5.4 Feedback	25
5.5 Objekterkennung	26
5.5.1 Objekterkennung via Tiefenbild	26
5.5.2 Objekterkennung via RGB Bild	27
5.6 Objekte	28
5.6.1 Größe	28
5.6.2 Form	30
5.6.3 Farbe	30
5.6.4 Oberfläche	31
5.7 Zusammenfassung der Exploration	31
6 Filtertechniken der Reprojektion	32
6.1 Tonwert- und Farbmanipulation	32
6.1.1 Direkte Reprojektion	32
6.1.2 Invertierte Reprojektion	32
6.1.3 Farbprojektion	33
6.2 Texturprojektion	36
6.3 Morphologische Operationen	36
6.4 Kantenprojektion	37
6.5 Blur und Sharpening	37
6.6 Animationen	38

6.7	Zusammenfassung der Filtertechniken	39
7	Nutzerstudie zur Wahrnehmung von PAR Overlays	40
7.1	Studiendesign und Ablauf	40
7.2	ProbandInnen	42
7.3	Setup und Umgebung	43
7.4	Auswahl der Objekte	45
7.5	Auswahl der Filter	46
7.6	Auswahl der Kategorien	48
7.7	Ergebnisse der Nutzerstudie	49
7.7.1	Thinking Aloud	50
7.7.2	Kategorienerstellung	52
7.7.3	Card Ranking	53
7.8	Limitierungen	54
7.9	Zusammenfassung der Nutzerstudie	55
8	Fazit und Ausblick	56
	Literaturverzeichnis	57
	Erklärung zur Urheberschaft	60
	Erklärung zur Lizenzierung und Publikation dieser Arbeit	61

Abbildungsverzeichnis

1	Zugrundeliegendes physisches Modell des Taj Mahal und dasselbe Modell durch <i>shader lamps</i> beleuchtet (Raskar et al., 2001)	15
2	Projizierter Content auf Blöcke im Rahmen einer Lernanwendung (Roberto et al., 2013)	16
3	Verarbeitungsschritte Projected-Augmented-Reality	20
4	Projektion von Aruco Markern zur Kalibrierung zwischen Kamera und Projektor	21
5	Bildung von Schatten	24
6	Verwendung der aus dem RGB Bild extrahierten Objektmaske zur Erstellung der Overlays	29
7	Farbprojektion	34
8	Setup der Farbprojektion	35
9	Verschiedene Texturprojektionen	37
10	Card Ranking Task	42
11	Projektor und Kamera an einer Traverse über dem Tisch	44
12	Selektiv beleuchtete Objekte	46
13	Statische Filter der Nutzerstudie	48

Zusammenfassung

Augmented Reality ist ein in Industrie und Forschung vielbeachtetes und weit verbreitetes Thema. Es existieren allerdings wenige Ansätze auf dem Bereich der Projected-Augmented-Reality-Overlays, welche in vorliegender Arbeit untersucht werden sollen.

In einem explorativen Teil wurden technische Rahmenbedingungen erläutert und verschiedene Filtertechniken vorgestellt und evaluiert.

Auf dieser Grundlage wurde eine Nutzerstudie mit 12 ProbandInnen konzipiert, um mehr über die Wahrnehmung sechs verschiedener Overlays zu erfahren. Dies geschah mithilfe eines Thinking Aloud Teils sowie eines hybriden Card Ranking Tasks.

Die Auswertung der Studie ergibt, dass eine Veränderung der Wahrnehmung durch projizierte AR Overlays möglich ist. So sind Änderungen der wahrgenommenen Farbe, Textur und Auffälligkeit von Objekten erreichbar.

Abstract

Augmented reality is a widely discussed topic in industry and research. However, there are few approaches in regards of projected augmented reality overlays, which will be investigated in this thesis.

In an explorative part, technical parameters were explained and different filtering techniques were presented and evaluated.

On the basis of the gained knowledge, a user study with 12 subjects was designed to learn more about the perception of six different overlays. This was done with the help of a thinking aloud part as well as a hybrid card ranking task.

The evaluation of the study shows that a change in perception is possible through projected augmented reality overlays. Thus, changes in perceived color, texture, and salience of objects are achievable.

Aufgabenstellung

Augmented Reality beschreibt die Überlagerung der realen Umgebung mit virtuellen Informationen/Objekten. Diese Überlagerung kann entweder auf einem Display passieren oder durch Projektion virtueller Objekte auf die reale Umgebung. Ein bisher kaum verfolgter Ansatz ist, modifizierte Bilder/Videos eines Objekts deckungsgleich wieder auf dieses selbst zu projizieren, um bestimmte Effekte erzielen zu können.

Im Rahmen des Forschungsprojekts VIGITIA¹ wird untersucht, wie projizierte erweiterte Realität (Projected Augmented Reality / PAR) Alltagsinteraktionen rund um Tische unterstützen und bereichern kann. Bei PAR nehmen eine oder mehrere Kameras in Echtzeit die Tischoberfläche und darauf befindliche Objekte auf. Ein an der Decke befestigter Projektor ermöglicht die Projektion auf die Tischplatte bzw. die Objekte. Dies erlaubt es, zusätzliche Informationen und Interaktionsmöglichkeiten zu den Objekten einzublenden und analoge Arbeitsprozesse zu unterstützen.

Das Potential von Projected-Augmented-Reality-Overlays auf Objekte im Kontext von Interaktiven Tischen soll im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden. Konkret soll untersucht werden, inwieweit man die Realität durch Re-Projektion verändern kann und welche Filter sich besonders gut eignen. Weitere entscheidende Teilprobleme sind die automatische Kalibrierung sowie die markerlose Objekterkennung.

¹<https://vigitia.de/>

1 Einleitung

Das Reproduzieren der Realität klingt anfangs wie ein Widerspruch. Realität, im Duden als tatsächliche Gegebenheit, Tatsache definiert², entspräche durch Reproduktion nur noch einem Abbild seiner selbst. Diese Arbeit soll jedoch zeigen, dass vor allem die Wahrnehmung der Realität durch eine Reproduktion, genauer einer Projektion von Overlays, verändert werden kann.

Trotz zahlreicher Forschung und Anwendungen im Bereich der Augmented Reality wird selten auf die Möglichkeiten und Probleme von Projected-Augmented-Reality-Overlays eingegangen. Deshalb soll vorliegende Arbeit diesen Bereich erforschen.

Dazu soll nach Vorstellung des Hintergrunds mithilfe einer Klassifizierung verschiedener AR Formen zur Projected-Augmented-Reality hingeführt werden. Anschließend wird der aktuelle Forschungsstand anhand verwandter Arbeiten dargestellt. In einer explorativen Vorstudie sollen die Probleme und Möglichkeiten der Overlays sowie die technischen Hintergründe erörtert werden. Außerdem wird auf die verschiedenen Objekte und Filter eingegangen. Anschließend werden die Erkenntnisse aus dem explorativen Teil verwendet, um eine prototypische Anwendung zur Erforschung der verschiedenen Overlays zu erstellen. Diese sollen dann in einer Nutzerstudie getestet werden, um mehr über die Wahrnehmung von Projected-Augmented-Reality-Overlays zu erfahren. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst und es soll ein Ausblick gegeben werden.

²<https://www.duden.de/rechtschreibung/Realitaet>

2 Hintergrund

Der Realitätsbegriff befindet sich in Zeiten des Umbruchs. Bestrebungen im Bereich der Augmented und Virtual Reality zeigen deutlich, dass die wahrgenommene Realität digital erweitert oder sogar vollständig ersetzt werden kann.

Das sowohl wissenschaftliche als auch kommerzielle Interesse an dieser Erweiterung der Realitätswahrnehmung lässt sich an den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten erkennen. Film und Fernsehen, Computerspiele, sowie Museen und Ausstellungen können immersiver gestaltet werden. Produktionsprozesse können optimiert und effizienter gestaltet werden. Verschiedene Assistenzsysteme lassen sich konzipieren, um Menschen in unterschiedlichen Situationen, wie etwa im Straßenverkehr oder bei medizinischen Operationen, zu unterstützen. Aber auch Visualisierungen von Lerninhalten oder komplexen Strukturen, virtuelle Treffen oder neuartige Produktpräsentationen werden durch Extended Reality möglich (Sonja Kind et al., 2019, S.12). Im Bereich der Virtual Reality (VR) entstehen ganze virtuelle Welten, in die man als BenutzerIn eintauchen kann. Die simulierte Umgebung kann dabei der realen Welt nachempfunden oder komplett fiktiv sein. Ein weitaus realitätsnäherer Ansatz findet sich auf dem Gebiet der Augmented Reality.

Dabei ist es wichtig, zwischen der Realität an sich und der Wahrnehmung derer zu unterscheiden. Eine Erweiterung der Realität an sich ist nach Hugues et al. nicht möglich. Wenn Realität als alles Existierende umfassend definiert wird, kann diese nicht erweitert werden, da sie ja bereits "alles" enthält (Hugues et al., 2011). Legt man den Fokus allerdings auf den Menschen und seine Wahrnehmung, so kann diese Wahrnehmung der Realität sehr wohl erweitert werden und dadurch einen Mehrwert bieten.

AR erlaubt es den NutzerInnen, die reale Umgebung zu sehen, ergänzt um digitale Informationen. Im Gegensatz zu VR findet hier also keine komplette Immersion

statt, sondern es können lediglich Artefakte, wie etwa Texte, Bilder oder virtuelle Objekte, in das Sichtfeld der NutzerInnen eingeblendet werden. Der Grad der Immersion kann hier also, neben weiteren Faktoren wie der benötigten Hardware, als Unterscheidungsmerkmal dienen. Virtuelle Realität hat durch das Eintauchen in eine komplett simulierte Welt einen hohen Immersionsgrad. Augmented Reality weist hingegen einen vergleichsweise geringeren Grad der Immersion auf, da zumindest Teile der real vorhandenen Umgebung noch sicht- und erfahrbar sind (Sonja Kind et al., 2019, S.9).

Diese Arbeit soll sich zwar auf die visuelle Komponente der Augmented Reality beschränken, es ist aber durchaus möglich, die Immersion weiter zu steigern, indem die jeweiligen Simulationen zum Beispiel um auditive (Nagele et al., 2021) oder haptische (Maisto et al., 2017) Elemente erweitert werden.

Im Folgenden soll auf die verschiedenen Formen und Ansätze der Augmented Reality genauer eingegangen werden.

3 Klassifizierung von AR Systemen

Milgram et al. unterschieden bereits 1994 zwischen verschiedenen Formen der Augmented Reality mittels des Reality-Virtuality Continuums. Unter dem Überbegriff der Mixed Reality lassen sich AR Techniken auf einer Achse einordnen, welche die "Echtheit" der Umgebung darstellt. Die Extrempunkte bilden dabei komplett reale Umgebungen sowie komplett virtuelle Umgebungen (Milgram et al., 1994).

Eine weitere Einteilung existiert in der Unterscheidung zwischen den Funktionen der jeweiligen Systeme. So lässt sich laut Hugues et al. (2011) im Bereich der Augmented Reality zwischen einer ergänzten Realität und der Erschaffung einer künstlichen Umgebung unterscheiden.

Dubois & Nigay (2000) definieren mit „Task Focus“ und „Nature of Augmentation“ zwei intrinsische Charakteristiken von AR Systemen. Der Task Focus bezieht sich dabei auf die Objekte, mit denen der Nutzer interagiert. Diese Objekte können dabei virtueller, etwa beim Interagieren mit multimedialen Dokumenten (Ishii & Ullmer, 1997), oder realer Natur sein, wie bei einer Ausstellung mit Zusatzinformationen via AR (Rekimoto & Nagao, 1995). Nature of Augmentation beschreibt die Modalität, welche durch das AR System erweitert beziehungsweise ergänzt wird. Die "Augmentation" kann sich einerseits auf die Ausführung des Tasks beziehen, indem die Interaktionsmöglichkeiten des Nutzers erweitert werden. Oder aber das Beurteilungs- und Wahrnehmungsvermögen des Nutzers wird durch die Bereitstellung zusätzlicher Informationen erweitert. Durch die orthogonal zueinander stehenden Klassifizierungsachsen „Task Focus“ und „Nature of Augmentation“ ergeben sich nach Dubois & Nigay (2000) vier verschiedene Klassen:

- Virtuelle Objekte & Interaktionserweiterung
- Virtuelle Objekte & Wahrnehmungserweiterung
- Reale Objekte & Interaktionserweiterung

- Reale Objekte & Wahrnehmungserweiterung

Neben den eben vorgestellten Klassifizierungssystemen verschiedener AR Systeme lassen sich diese auch durch die jeweiligen Ein- und Ausgabemethoden unterscheiden. Um virtuelle Informationen mit der realen Umgebung verschmelzen zu lassen, ist es notwendig, Informationen über die die NutzerInnen umgebende Welt zu sammeln. Dazu werden vorwiegend Kamerasysteme, aber auch Infrarot- oder Lasersysteme, sowie Laufbänder, Controller oder Trackingsysteme zur Positions- und Bewegungsbestimmung der Personen verwendet (Sonja Kind et al., 2019, S.22). Um die Realität zu erweitern, müssen die generierten Informationen an die NutzerInnen ausgegeben werden. Hier bietet sich eine Vielzahl von Wiedergabegeräten an, was eine weitere Klassifizierungsstrategie verschiedener AR Systeme ermöglicht. Auf diese soll im Folgenden weiter eingegangen werden.

3.1 Handheld Augmented Reality

Das 2016 erschienene Pokémon GO ist ein enorm populäres, ortsbasiertes Augmented-Reality Spiel, welches auf einem Smartphone stattfindet³. Diese Popularität im hartumkämpften Segment der mobilen Spieleanwendungen unterstreicht die Rolle des Smartphones in der Kategorie der Handheld AR Ausgabemethoden.

Neben der Anwendung im Spielekontext werden Handheld Smartphone AR Anwendungen auch im Bereich der Navigation (Bhorkar, 2017) oder im Retail Bereich zur Steigerung der User Experience, vor allem durch das Betrachten virtueller Objekte in einem realen Raum (Stumpp et al., 2019), eingesetzt. Neben den Smartphones gibt es auch weitere Ansätze, welche in den Bereich der Handheld AR fallen. Das Projekt "SideBySide" etwa präsentiert ein System, welches die Interaktion mehrerer Nutzer via mobiler, in der Hand gehaltener Projektoren erlaubt (Willis et al., 2011). Dieses System stellt damit eine Mischform zwischen Handheld und Projected AR dar.

³<https://pokemongolive.com/>

3.2 Head Mounted Displays

Durch spezielle Halterungen, wie etwa Google Cardboard⁴, lassen sich Smartphones aber auch durchaus zu der Ausgabekategorie der Head Mounted Displays (HMDs) zählen. Im Bereich der Virtual Reality sind diese ein sehr gängiges Ausgabemedium. Auch im Bereich der Augmented Reality werden solche Lösungen eingesetzt. Neben den Smartphones in speziellen Vorrichtungen erlauben vor allem sogenannte Smart Glasses eine Überlagerung digitaler Informationen auf die reale Umgebung. Diese sind meist mit mehreren Sensoren und Trackingsystemen für etwa Augen- oder Kopfbewegungen ausgestattet, welche es erlauben, dass der "virtuelle Blickwinkel dem realen Blickwinkel entspricht und keine Diskrepanz für den Nutzer entsteht" (Sonja Kind et al., 2019, S.25).

3.3 Spatial AR

Spatial Augmented-Reality (SAR) beschreibt die Entfernung der Displaytechnologie vom User und die Integration dieser in die Umgebung. Im Vergleich zu Displays, welche am User angebracht sind, etwa HMDs oder Smartphones, ergeben sich andere Herausforderungen und Möglichkeiten. So treten Probleme wie Auflösung der Displays, Sichtfeld oder Tracking in den Hintergrund, andere Schwierigkeiten wie etwa die Beschränkung auf stationäre Anwendungen ergeben sich (Bimber & Raskar, 2005, S.7).

Um Umgebungen via SAR zu erweitern, werden häufig Projektionen eingesetzt. Dies ermöglicht es, auf physische Oberflächen und Objekte zu projizieren. Das Objekt an sich behält dabei Eigenschaften wie seine passive Haptik oder stereoskopische Tiefeninformationen bei. Die direkte Projektion erlaubt in einem gewissen Rahmen eine visuelle Veränderung der Gegenstände. Dies ist vor allem bei iterativem Design und Gestaltungsprozessen ein enormer Vorteil, da bei kleinen visuellen Veränderungen kein komplett neues Produkt hergestellt werden muss. Die Farbe oder Textur eines Objektes kann durch die Projektion verändert oder ergänzt werden. Durch die sofortige Sichtbarkeit lassen sich vorgenommene Änderungen am

⁴<https://arvr.google.com/cardboard/>

Erscheinungsbild des Gegenstandes direkt beurteilen. Außerdem bieten sich durch den Wegfall von nutzergetragener Hardware neue Möglichkeiten für kollaborative Tasks an, da mehrere Nutzer die Projektion betrachten und mit ihr interagieren können (Furht, 2011, S.233).

Head-Up-Displays

Eine gängige Variante von projizierter Augmented Reality sind Head-up-Displays. Diese werden vor allem im Automobilbereich, aber auch in der militärischen sowie zivilen Luftfahrt eingesetzt. Dabei werden Projektionssysteme genutzt, um Informationen in der Windschutzscheibe anzuzeigen (Sonja Kind et al., 2019, S.25).

Cave

Als Cave wird eine Umgebung bezeichnet, in der sich perspektivisch korrekte Projektionen auf den Begrenzungsflächen des Raumes befinden. So können virtuelle Umgebungen durch das Projizieren auf Wände, Decke und Boden erschaffen werden. Das projizierte Bildmaterial hängt dabei von der Position des Nutzers im Raum sowie seinem Blickwinkel ab. Dadurch schränkt sich die Zahl an NutzerInnen ein, welche das Cave System gleichzeitig nutzen können (Furht, 2011, S.233).

Reprojektion

Eine in der Literatur wenig beachtete Unterart der projizierten erweiterten Realität ist die Reprojektion. Durch Kombination von Kamera und Projektor lässt sich das aufgenommene Bildmaterial in verarbeiteter Form wieder projizieren, was eigene Möglichkeiten und Probleme mit sich bringt. Die Reprojektion soll in dieser Arbeit näher betrachtet werden.

4 Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel soll auf den aktuellen Forschungsstand im Bereich der projizierten Augmented Reality eingegangen werden, indem verwandte Arbeiten vorgestellt werden.

Bei der Suche nach verwandter Literatur wurden verschiedene Plattformen verwendet. Neben der herkömmlichen Google Suchmaschine kamen Google Scholar⁵, IEEE Xplore⁶ sowie der Regensburger Katalog⁷ zum Einsatz. Dabei wurden sowohl englische als auch deutsche Suchbegriffe verwendet, um die Ergebnisauswahl zu erweitern. Außerdem fanden sich in den Referenzen der auf diesem Weg gefundenen Literatur weitere relevante Werke.

Wimmer & Echtler (2019) schlagen mit dem Projekt VIGITIA eine digitale und nahtlose Unterstützung von analogen Aktivitäten auf Tischen vor. Durch Projected Augmented Reality lassen sich zusätzliche Informationen einblenden und Interaktionsmöglichkeiten schaffen. Diese Arbeit findet im Rahmen des VIGITIA Projektes statt.

Raskar et al. (2001) stellen mit Shader Lamps eine Möglichkeit vor, physische Objekte durch Projektion grafisch zu gestalten. Dabei werden Gegenstände mit Bildmaterial beleuchtet, wie in Abbildung 1 ersichtlich. Die Projektion erfolgt hier allerdings nur auf farblose Objekte, sodass die visuellen Eigenschaften des beleuchteten Gegenstandes, wie etwa die Farbe oder Textur, hauptsächlich durch die Projektion dargestellt werden.

Die Arbeit von Roberto et al. (2013) beschäftigt sich mit einer prototypischen Anwendung für Kinder, welche das Lernen erleichtern soll. Dabei wird, wie in Abbildung 2 gezeigt, Content auf Blöcke projiziert, welche sich durch das Tracking mit

⁵<https://scholar.google.com>

⁶<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

⁷<https://www.regensburger-katalog.de>

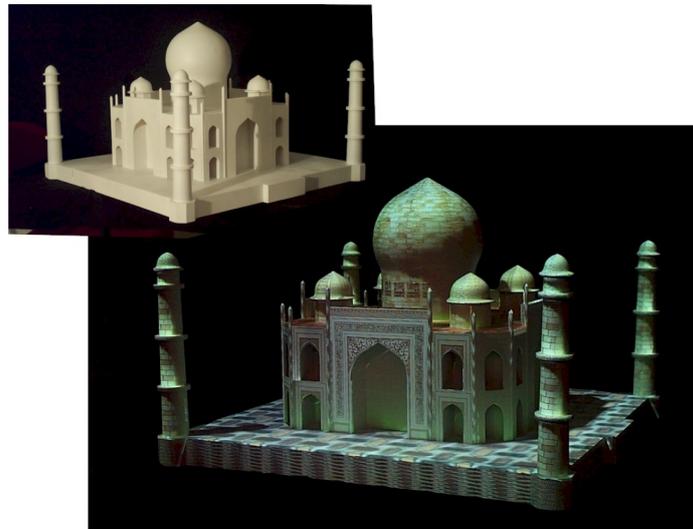


Abbildung 1: Zugrundeliegendes physisches Modell des Taj Mahal und dasselbe Modell durch *shader lamps* beleuchtet (Raskar et al., 2001)

Markern neu anordnen lassen. Projected AR wird hier mit einer greifbaren Interaktionsmethode verbunden. Durch einen Interviewprozess mit Lehrern, welche das System testweise benutzten, kam die Arbeit zu dem Ergebnis, dass dieser Ansatz großes Potential aufweist und sinnvoll im Kontext einer Lernumgebung eingesetzt werden kann. Sowohl Schüler als auch Lehrer zeigten sich von der User Experience überzeugt.

Im Rahmen der Projected-Augmented-Reality existieren nicht nur Laborstudien, sondern auch kommerzielle Produkte, wie etwa das von Fatura et al. (2018) vorgestellte Lightform. Das Produkt setzt sich aus Hardware, bestehend aus Kamera und Prozessor, und Software zum Erstellen und Anzeigen von Inhalten zusammen. Verbunden mit einem Projektor lassen sich sogenannte „Real World Image Filter“ auf die Umgebung projizieren. Lightform soll AR Anwendungen für möglichst viele Nutzer zugänglich machen und die einfache Bedienung in den Vordergrund stellen.

Die Arbeit von Funk et al. (2016) vergleicht verschiedene Instruktionen zur Unterstützung beim Aufbau eines Lego Duplo Sets. Die verschiedenen Systeme zum Ausgeben der einzelnen Schritte sind dabei ein Head-Mounted-Display, ein Tablet, eine klassische Papieranleitung und Projektion. Das Paper kam zu dem Ergebnis, dass der Zusammenbau mithilfe der Projektion am schnellsten erfolgt. Im Vergleich

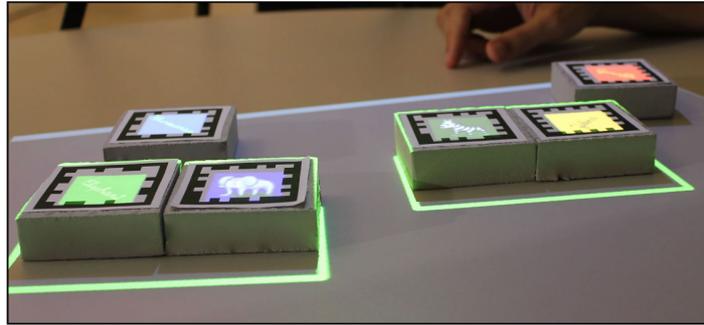


Abbildung 2: Projizierter Content auf Blöcke im Rahmen einer Lernanwendung (Roberto et al., 2013)

zum Head-Mounted-Display passierten bei dieser Form weniger Fehler und die kognitive Belastung war geringer. Hierbei wurde allerdings nur auf die Behälter mit den entsprechenden Teilen projiziert, nicht aber auf die Gegenstände selbst.

Jones et al. (2013) stellen ein Proof-of-Concept System vor, welches die Umgebung eines Fernsehgerätes via Projektion erweitert, um so das herkömmliche Spielerlebnis aufzuwerten. Hier wird vor allem die periphere Wahrnehmung erweitert, da die Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die Spieleinhalte auf dem Fernsehgerät gerichtet ist. Dadurch kann die Wahrnehmung des Raumes verändert, Bewegung simuliert oder das Sichtfeld erweitert werden. Die Selbstkalibrierung des vorgestellten Systems, welches aus einem Projektor und einem Kinect Sensor besteht, erlaubt den Einsatz in jeglichem Raum. In einer Nutzerstudie wurden die Stärken und Schwächen der entwickelten Visualisierungen mit einem Card Sorting Task und der Beantwortung eines Simulator Sickness Fragebogens untersucht. Außerdem wurde informelles Feedback über das System von Game Designern eingeholt. Die Arbeit kommt zu dem Ergebnis, dass aufgrund des positiven Feedbacks beider Nutzergruppen diese Form der erweiterten Realität einen vielversprechenden Ansatz darstellt.

Abschließend lässt sich festhalten, dass in der bisherigen Forschung nur wenig auf Projected-Augmented-Reality-Overlays auf Objekte eingegangen wird. So projizieren Raskar et al. (2001) zwar Bildmaterial auf Objekte, diese sind dabei allerdings komplett neutral gehalten. Bei Funk et al. (2016) wird die Projektion in einem Assembly Task erforscht, allerdings wird hier nicht auf Objekte selbst sondern nur

Behälter projiziert. Die Arbeit von Roberto et al. (2013) beschäftigt sich mit einer Projektion auf Gegenstände, allerdings werden hier nur Blöcke und eine Erkennung per Marker verwendet. Auch die Möglichkeiten einer potenziellen Veränderung der Wahrnehmung von Objekten wird allgemein wenig besprochen. Daher soll sich diese Arbeit auf den Teilbereich der Projected-Augmented-Reality-Overlays konzentrieren.

5 Exploration von PAR Overlays

Um mehr über die Möglichkeiten, Grenzen und Probleme der Reprojektion zu erfahren, wurde eine Vorstudie in Form einer Exploration der Technologie und geeigneter Filter durchgeführt. Dieser Abschnitt soll das Vorgehen sowie die entstandenen Ergebnisse näher beschreiben.

5.1 Setup und Vorgehen

Da diese Arbeit im Rahmen des VIGITIA Projektes stattfindet, orientierte sich auch das Setup stark an dem des Verbundprojektes (Wimmer & Echtler, 2019). So befindet sich über einem herkömmlichen Tisch mit weißer Tischplatte eine Kamera sowie ein Projektor. Im Fall dieser Vorstudie wurde eine Intel RealSense D435 mit einer Auflösung von 1280×720 Pixeln bei Tiefenbildern und 1920×1080 Pixeln bei Farbbildern verwendet. Als Projektor wurde ein Technaxx TX127 mit 1280×720 Pixeln eingesetzt. Der Projektor wurde mithilfe eines Statives auf eine geeignete Höhe gebracht, sodass ein klares, scharfes Bild auf der Tischoberfläche entsteht. Die Kamera wurde neben der Projektionslinse an einem beweglichen Befestigungsarm angebracht. Es wurde darauf geachtet, das System mittig über dem Tisch zu platzieren und mithilfe einer Wasserwaage wurde es parallel zur Tischoberfläche ausgerichtet.

Durch Erprobung verschiedener Positionen und Abstände von Kamera und Projektor kristallisierte sich heraus, dass das beste Ergebnis beziehungsweise die genaueste Projektion erreicht wird, indem der horizontale Abstand der beiden Geräte so gering wie möglich gehalten wird. Dadurch ist die relative Positionierung der Objekte zu Kamera und Projektor sehr ähnlich und eine perspektivische Verzerrung kann reduziert werden.

Der minimale Abstand zwischen Tisch und Projektor wird durch die Nahein-

stellungsgrenze des Projektors vorgegeben. Darüber hinaus empfiehlt es sich zur Maximierung der Projektionsfläche den Projektor so weit wie möglich vom Tisch zu entfernen, sodass letztendlich die komplette Tischoberfläche beleuchtet werden kann. Bezüglich des Abstandes zwischen Tisch und Kamera lässt sich festhalten, dass eine weite Entfernung einen Auflösungsverlust mit sich bringt. Dies liegt vor allem daran, dass für die Reprojektion lediglich die Bildinformationen relevant sind, welche sich auf der Projektionsfläche befinden. Bei einer großen Entfernung zum Tisch muss das Bildmaterial also stark zugeschnitten werden. Bei einer sehr nahen Distanz zum Tisch hingegen treten die Effekte der perspektivischen Verzerrung stärker hervor. Außerdem besteht hier die Gefahr, dass sich die Kamera im Einzugsbereich der Projektion befindet und so einen Teil der eigentlich beleuchteten Tischoberfläche verdeckt, auf welche dann nicht projiziert werden kann. Das Problem würde minimiert werden, indem man die Brennweiten von Kameralinse und Projektorlinse angleicht. Dadurch entspräche der Blickwinkel der Kamera der projizierten Fläche, wenn sich die beiden Geräte auf gleicher Höhe befinden. Dies war jedoch durch fest verbaute Linsen in Kamera und auch Projektor im verwendeten Setup nicht möglich. Als praktikabelste Lösung erwies sich hier die Montage der Kamera auf Ebene der Projektorlinse, da hier sowohl der Auflösungsverlust als auch die perspektivische Verzerrung minimal waren.

Die Bilder der Kamera wurden auf einem Linux System via Python⁸ mit OpenCV⁹ verarbeitet. Die OpenCV Bibliothek wurde verwendet, da diese open source und weit verbreitet ist sowie hilfreiche Funktionen für den Anwendungsfall der Projected-Augmented-Reality enthält.

Die einzelnen Verarbeitungsschritte teilen sich dabei in Erhalt der Kameraframes, Kalibrierung, Objekt- beziehungsweise Konturenerkennung, Filterung und Projektion ein, wie in Abbildung 3 dargestellt. Auf die verschiedenen Punkte wird im Anschluss näher eingegangen.

⁸<https://www.python.org>

⁹<https://opencv.org>

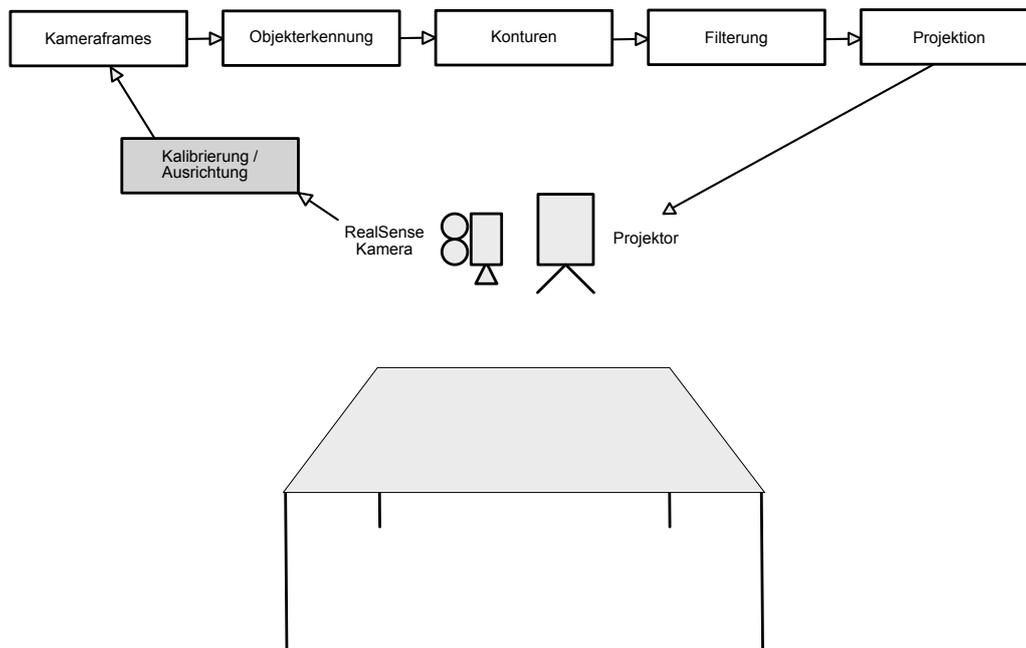


Abbildung 3: Verarbeitungsschritte Projected-Augmented-Reality

5.2 Kalibrierung

Die Notwendigkeit einer möglichst genauen Projektion erfordert eine Kalibrierung des Systems. Diese setzt sich in diesem Fall aus zwei Teilschritten, konkret der Kamerakalibrierung und der Kalibrierung zwischen Kamera und Projektor zusammen.

5.2.1 Kamerakalibrierung

Die Verzerrung der Kameralinse beeinträchtigt die Genauigkeit der Reprojektion. Es ist also nötig, diese zu korrigieren. Hierfür wurde die von Sadekar & Mallick (2020) vorgestellte Methode via Schachbrettmuster verwendet. Dieses Vorgehen erlaubt es, mit zuvor aufgenommenen Bildern von einem Schachbrettmuster in verschiedenen Lagen und Abständen zur Kamera, die Verzerrungen dieser mit der OpenCV Methode `calibrateCamera()` zu verbessern. Dies führte zu guten Ergebnissen, die Genauigkeit der Reprojektion konnte eindeutig verbessert werden. Leichte Verschiebungen der Projektion auf Objekte, welche sich außerhalb der Tischmitte befanden, konnten durch die Kamerakalibrierung vermieden werden.



Abbildung 4: Projektion von Aruco Markern zur Kalibrierung zwischen Kamera und Projektor

5.2.2 Kalibrierung zwischen Kamera und Projektor

Um eine genaue Projektion der zuvor aufgenommenen Objekte zu ermöglichen, müssen Kamera und Projektor zueinander kalibriert werden. Dies begründet sich darin, dass die Kamera im verwendeten Setup auf derselben Höhe wie der Projektor angebracht ist. Durch die leicht weitwinklige Linse nimmt die Kamera unter anderem einen Bereich des Tisches auf, auf welchen der Projektor nicht projizieren kann. Somit muss das Kamerabild vor der Ausgabe zugeschnitten werden, um eine Deckungsgleichheit von Aufnahme und Ausgabe herzustellen.

Um dies zu erreichen, werden die weit verbreiteten Aruco Marker verwendet. Dabei werden verschiedene Marker in den jeweiligen Ecken der Projektion platziert, wie in Abbildung 4 dargestellt. Hier ist anzumerken, dass Marker, welche sich ohne Abstand in den Ecken befinden, nicht erkannt werden. Deshalb werden die Marker um jeweils 10 Pixel nach innen versetzt, dieser Abstand wird im Schritt des Zuschneidens des Kamerabildes dann wieder ausgeglichen. Durch die in OpenCV integrierte Erkennung der Aruco Marker war es möglich, die Eckpunkte dieser zu bestimmen. Nach Ausgleich der Versetzung erhält man dadurch die genauen Koordinaten der Projektionsfläche im Kamerabild. Dadurch lässt sich dieses Bild ausschneiden und durch die Ausgabe über den Projektor erhält man eine genaue Reprojektion auf die volle Projektionsfläche.

5.3 Umgebungs- und Projektionslicht

Sowohl das Licht der Umgebung als auch das der Projektion sind bei Projected-Augmented-Reality Anwendungen von Bedeutung und sollen im Folgenden näher untersucht werden.

5.3.1 Umgebungslicht

Das Umgebungslicht spielt bei Anwendungen im Bereich der Projected-Augmented-Reality eine große Rolle. Es hat dabei Einfluss auf fast alle Verarbeitungsschritte in dem in dieser Arbeit eingesetzten System. So spielt die Beleuchtung der Umgebung bereits beim Kalibrierungsschritt eine entscheidende Rolle. Dies begründet sich durch die erwähnte Kalibrierung mittels projizierter Aruco Marker. Ein zu helles Umgebungslicht, zum Beispiel bedingt durch künstliche Deckenbeleuchtung, kann dazu führen, dass die Marker nicht erkannt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Licht der Umgebung eine höhere Intensität als das Projektorlicht hat und dieses dadurch „überstrahlt“.

Auch die Objekt- und Kantenerkennung ist maßgeblich vom Umgebungslicht abhängig. Vor allem bei zu wenig Licht aus der Umgebung war es schwierig, die Gegenstände auf dem Tisch sicher zu erkennen, da hier der Kontrast zwischen Objekt und Tischoberfläche zu gering war.

5.3.2 Projektionslicht

Zu wenig Umgebungslicht konnte durch das verwendete Setup ausgeglichen werden. Dazu wurde der Tisch beim Schritt der Objekterkennung vom Projektor mit weißem Licht beleuchtet, um die Helligkeit der relevanten Gegenstände auf dem Tisch zu erhöhen. Bei einer zu hellen Projektion kann es allerdings zu Spiegelungseffekten auf der Tischoberfläche kommen, welche je nach Material stärker oder schwächer ausfallen. Lösungsvorschläge hierfür wären entweder die Verwendung einer nicht reflektierenden Unterlage, wie Papier, oder die rechnerische Subtraktion der Spiegelung im Schritt der Bildverarbeitung. Aber nicht nur die Tischoberfläche ist von auftretenden Spiegelungen betroffen, sondern auch die Objekte selbst. Vor al-

lem bei metallischen Oberflächen treten diese bereits teilweise ohne Beleuchtung via Projektor und nur bei hellem Umgebungslicht auf. Bei einer sehr hellen Projektion treten Reflexionen auch bei nicht-metallischen Oberflächen, etwa bestimmten Plastikarten, auf.

Die implementierte Lösung zur Minimierung von Reflexionen setzt sich aus zwei Faktoren zusammen. Zum einen wurde auf eine konstante sowie nicht zu helle Umgebungsbeleuchtung geachtet, welche vor allem durch Dimmen der Innenbeleuchtung und Jalousien realisiert wurde. Zum anderen wurde die Intensität der Projektion so angepasst, dass diese ein suboptimales Umgebungslicht nivellieren kann. Dadurch lässt sich eine optimale Beleuchtung realisieren, welche nicht zu dunkel oder hell ist. Generell funktioniert dieser Ausgleich allerdings nur bei zu dunkler Beleuchtung der Umgebung, da eine zu helle Szene durch Projektion nicht verbessert werden kann. Eine Verdunkelung der Umgebung ist aber meistens umsetzbar, weswegen mit dieser Technik gute Ergebnisse erzielt wurden.

5.3.3 Sichtbarkeit der Overlays

Bezüglich der Sichtbarkeit möglicher Overlays lässt sich generell festhalten, dass eine hellere Projektion zu einer besseren Sichtbarkeit dieser führt. Je dunkler die Umgebung beleuchtet ist, desto heller wirkt die Projektion. Dadurch stechen die Overlays hervor. Im Extremfall einer Betrachtung der Overlays in einem komplett abgedunkelten Raum mit maximaler Helligkeit des Projektors sind die Projektionen extrem auffällig. Auf der anderen Seite des Extrems sind die Overlays in einem hellen Raum mit eingeschalteter Deckenbeleuchtung eher subtil. Sie sind jedoch, je nach verwendetem Filter und Objekt, auch bei sehr heller Umgebung meist wahrnehmbar.

5.3.4 Schatten

Ein nicht zu unterschätzender Faktor bei der Reprojektion sind Schatten, welche durch das Umgebungs- und Projektorlicht entstehen. Schatten, welche vom Umgebungslicht stammen, können durch eine möglichst diffuse Beleuchtung minimiert

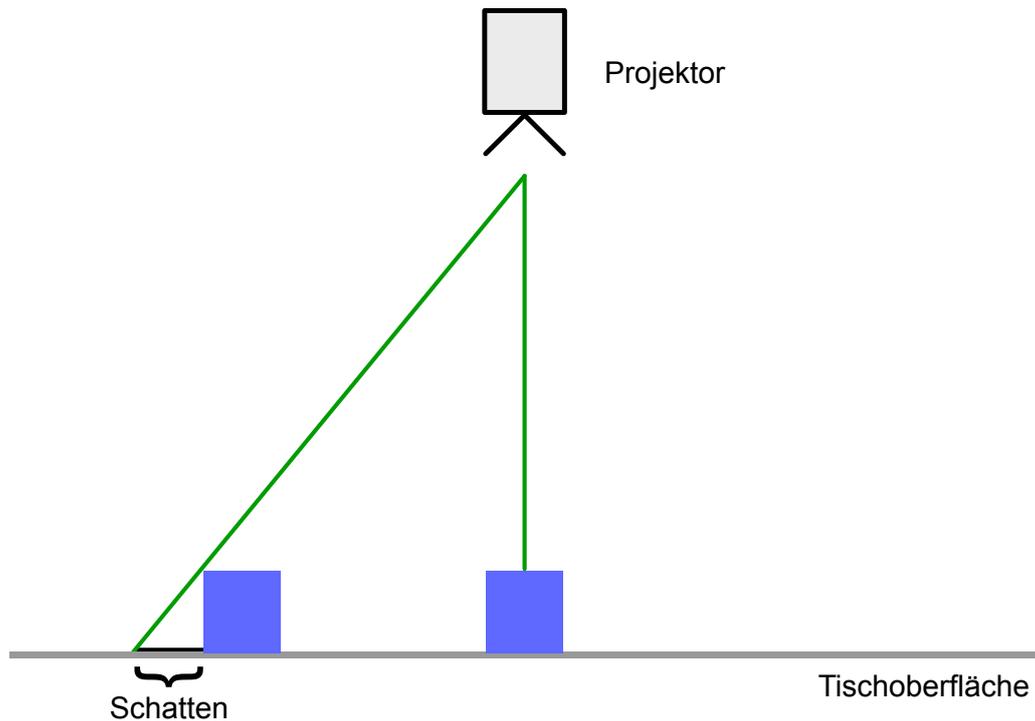


Abbildung 5: Bildung von Schatten

werden. So ist eine punktuelle Beleuchtung von nur einer Seite möglichst zu vermeiden. Dies ist beim Projektionslicht allerdings nicht möglich, da es sich hier um eine einzige Lichtquelle handelt, welche ein divergierendes Lichtbündel abgibt. Dadurch entstehen vor allem bei Gegenständen, welche sich am Rand der Projektionsfläche befinden, Schatten, wie in Abbildung 5 illustriert. In der Mitte der Projektionsfläche ist die Schattenbildung dabei am geringsten, da sich die Lichtquelle direkt darüber befindet.

Vor allem beim zuvor beschriebenen Schritt der weißen Beleuchtung während der Objekterkennung ergeben sich Probleme, da Schatten, welche von den Objekten ausgehen, teilweise als Teil des Objektes erkannt und dadurch auch beleuchtet werden.

Je näher die Projektions- und Kameralinsen beisammen sind, desto weniger Schatten werden von der Kamera aufgenommen. Im Idealfall würden sich beide Geräte am selben Punkt befinden, was in der Praxis jedoch nicht funktioniert. Die Schattenbildung kann also nicht komplett unterbunden werden, durch eine möglichst gerade Ausrichtung des Projektors, einen geringen Abstand zwischen den beiden

Linsen und kein Platzieren von Objekten am äußersten Rand der Projektionsfläche aber durchaus minimiert werden.

5.4 Feedback

Ein erster Schritt bei der Durchführung der Exploration war die reine Reprojektion eines Videostreams der Kamera. Dabei wurde das von der Kamera aufgenommene Bild nach der Kalibrierung ohne weitere Verarbeitungsschritte wieder über den Projektor ausgegeben. Ein digitales Abbild eines auf dem Tisch liegenden Gegenstandes wurde also auf eben dieses Objekt projiziert. Der Gegenstand, welcher nun von einem Overlay beleuchtet wird, wird dann wieder von der Kamera aufgenommen und auf sich selbst projiziert. Dies führt unweigerlich zu einem Feedbackloop, welcher dazu führt, dass nach kurzer Zeit ein komplett weißes Bild projiziert wird.

Durch eine Trennung der Aufnahme und Projektion kann das Feedback verhindert werden. Dies bedeutet, dass die Projektion während der Aufnahme der Szene kurz ausgesetzt werden muss. Dies kann zu einem „Flackern“ der Beleuchtung führen, welches die User Experience beeinträchtigen würde. Das Aus- und wieder Anschalten der Beleuchtung sowie die Aufnahme per Kamera muss also in einer hohen Geschwindigkeit erfolgen, sodass NutzerInnen des Systems dies nicht bemerkt.

Eine solch schnelle und genaue Synchronisierung von Aufnahme und Wiedergabe bringt weitere technische Schwierigkeiten mit sich. Außerdem ergeben sich in diesem Fall weitere Probleme, da die zuvor erwähnte projizierte Beleuchtung der Szene zur Objekterkennung auch zwischen den Projektionen nötig wäre, was zu einem Art Stroboskop Effekt führen könnte. Auch sollen in dieser Arbeit nur statische Szenen mit Overlays ergänzt werden und in der folgenden Nutzerstudie soll keine Interaktion mit den Objekten stattfinden. Deshalb wurde das Feedbackproblem dadurch gelöst, indem eine einzelne Aufnahme vor der Projektion erstellt wird. Diese Aufnahme kann unter kontrollierter Beleuchtung durch den Projektor stattfinden und in allen weiteren Verarbeitungsschritten, wie der Objekt- und Kantenerkennung sowie Filterung, verwendet und letztendlich ausgegeben werden.

5.5 Objekterkennung

Wie im Abschnitt 5.4 erläutert, wurde zuerst eine reine Reprojektion implementiert. Dabei wurde schnell deutlich, dass hier die komplette Szene samt Tischoberfläche beleuchtet wird. Dies ist problematisch, da ein herkömmlicher Tisch mit weißer Oberfläche verwendet wurde. Die Reprojektion der weißen Farbe führte zu einer übermäßigen Helligkeit des Tisches, die Beleuchtung der eigentlichen Objekte auf dem Tisch wurde nur schwach wahrgenommen. Da das Ziel dieser Arbeit die Erforschung von Reprojektion auf Objekte ist, mussten diese in einem ersten Verarbeitungsschritt des rohen Bildmaterials von ihrem Hintergrund getrennt werden. Hierfür ist eine Objekterkennung erforderlich.

5.5.1 Objekterkennung via Tiefenbild

Der erste Ansatz einer Objekterkennung war mittels Tiefeninformationen der beiden Infrarotsensoren der RealSense Kamera. Eine Objekterkennung auf diesem Wege würde gleichzeitig das Problem des Feedbacks eliminieren, da man bei einer Beschränkung auf Bildmaterial der Infrarotkamera das sichtbare Licht und damit die Projektion nicht aufnehmen würde. Außerdem wäre diese Art der Objekterkennung unabhängig von der Beleuchtung der Szene.

Nach Kalibrierung des Systems wurden alle Bildinformationen mit einer Distanz zur Kamera, welche über einem definierten Schwellwert liegt, mit einem schwarzen Hintergrundbild ersetzt. Der Schwellwert wurde durch Ausmessen der Distanz zwischen Kamera und Tischoberfläche definiert. Dies bedeutet, dass alle Bildanteile, welcher weiter von der Kamera entfernt sind als die Oberfläche, als flächiges Schwarz projiziert werden und dadurch in diesen Regionen kaum eine Beleuchtung wahrgenommen wird. Die auf dem Tisch liegenden Gegenstände hingegen haben eine geringere Distanz zur Kamera und werden dadurch mit dem entsprechenden Overlay beleuchtet.

Es stellte sich heraus, dass dieses Verfahren zwar funktioniert, die Objekterkennung jedoch sehr ungenau und rauschanfällig ist. Vor allem an klaren Kanten der Gegenstände fiel dies besonders auf. Eine genaue Objekt- und Kantenerkennung ist

essentiell für die implementierten Overlays, da durch die Überlagerung der Projektion auf die Objekte kleine Ungenauigkeiten sofort auffallen und die Wahrnehmung trüben. Eine Verschiebung des Overlays um nur wenige Millimeter bewirkt bei einer flächigen Projektion eine nur teilweise Beleuchtung. Bei einer Kantenbeleuchtung werden durch eine solche Ungenauigkeit nicht mehr die Umrisse des Gegenstandes, sondern je nach Verschiebung der Tisch oder die Objektfläche beleuchtet. Dies verändert die Wahrnehmung der Overlays maßgeblich und sollte vermieden werden. Aus diesem Grund wurde die Objekterkennung per Tiefeninformationen im weiteren Verlauf nicht verwendet. Durch Verwendung einer Tiefenkamera mit weniger Rauschen und höherer Genauigkeit ließen sich jedoch bessere Ergebnisse erzielen.

5.5.2 Objekterkennung via RGB Bild

Wegen der zuvor dargelegten Gründe wurde eine Objekterkennung via RGB Bild der Kamera implementiert. Die Ergebnisse dieser Art der Erkennung waren um ein Vielfaches genauer verglichen zur Erkennung via Tiefeninformation. Für eine möglichst robuste Erkennung der Objekte wurden verschiedene OpenCV Funktionen hintereinander verwendet, welche durch exploratives Vorgehen unter Zuhilfenahme der OpenCV Dokumentation¹⁰ ermittelt wurden.

In einem ersten Schritt wird das zuvor kalibrierte Kamerabild zu einem Graustufenbild konvertiert. Hier lässt sich anmerken, dass eine Objekterkennung rein durch die Farbe der Objekte durchaus möglich und praktikabel ist, im Fall dieser Arbeit jedoch nicht sehr sinnvoll erscheint. Dies begründet sich vor allem dadurch, dass möglichst verschiedene Objekte mit unterschiedlichen Farben und Oberflächen bei der Reprojektion verwendet werden sollen. Aus selbigem Grund schließt sich auch eine Erkennung rein nach der Form der Gegenstände aus. Durch Thresholding wird dann das Graustufenbild in ein Binärbild verwandelt. Mit der morphologischen Operation des Closings werden nun kleinere Ungenauigkeiten innerhalb der weißen Bildanteile, welche den Objekten entsprechen, ausgebessert. Es folgt eine Canny Edge Kantenerkennung mithilfe eines errechneten Medians, welche sich

¹⁰<https://docs.opencv.org/4.x/index.html>

an Rosebrock (2015) orientiert. Um konstantere Ergebnisse zu erhalten, wird das Bild nun mithilfe der *GaussianBlur* Funktion bearbeitet und schließlich werden die Kanten der Objekte via *findContours* gefunden. Die zurückgegebenen Konturen können dann durch die Größe der eingeschlossenen Kontur gefiltert werden, um etwa nur Objekte einer bestimmten Größe zu beleuchten. Die Konturen werden in einem letzten Schritt dann in ein neu erstelltes, schwarzes Bild gezeichnet, wobei nur die Kontur oder auch die von der Kontur eingeschlossene Fläche dann als weiß abgebildet wird. Die so entstandene Objektmaske wird dann für die jeweiligen Overlays verwendet, wie in Abbildung 6 dargestellt.

Eine Limitierung der Objekterkennung via RGB Bild ist die Erkennbarkeit weißer Objekte. Da im Aufbau dieser Arbeit ein Tisch mit weißer Oberfläche verwendet wird, ist es nahezu unmöglich, mit der implementierten Methode weiße Objekte hierauf zu erkennen. Eine Alternative zum Erkennen von Objekten, welche dieses Problem unter Umständen beheben würde, besteht im Verwenden von Machine Learning Algorithmen, welche auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnitten werden können. Auch das Verwenden mehrerer Kameraperspektiven könnte die Gegenstandserkennung verbessern. Beide Möglichkeiten gehen allerdings über den Rahmen dieser Arbeit hinaus.

5.6 Objekte

Neben der eben dargelegten Limitierung bezüglich der Erkennbarkeit weißer Objekte existieren weitere Eigenschaften der verwendeten Gegenstände, welche Auswirkungen auf die Reprojektion besitzen.

5.6.1 Größe

Bezüglich der Größe der reprojizierten Objekte ist festzuhalten, dass hier der limitierende Faktor die Objekterkennung ist, da sehr kleine Objekte nicht mehr erkannt werden. Da hierfür aber auch die Kameraauflösung sowie die Distanz der Kamera zum Tisch eine Rolle spielen, lässt sich ein solches Setup durchaus für sehr kleine Gegenstände optimieren, sollte der konkrete Anwendungsfall dies erfordern.

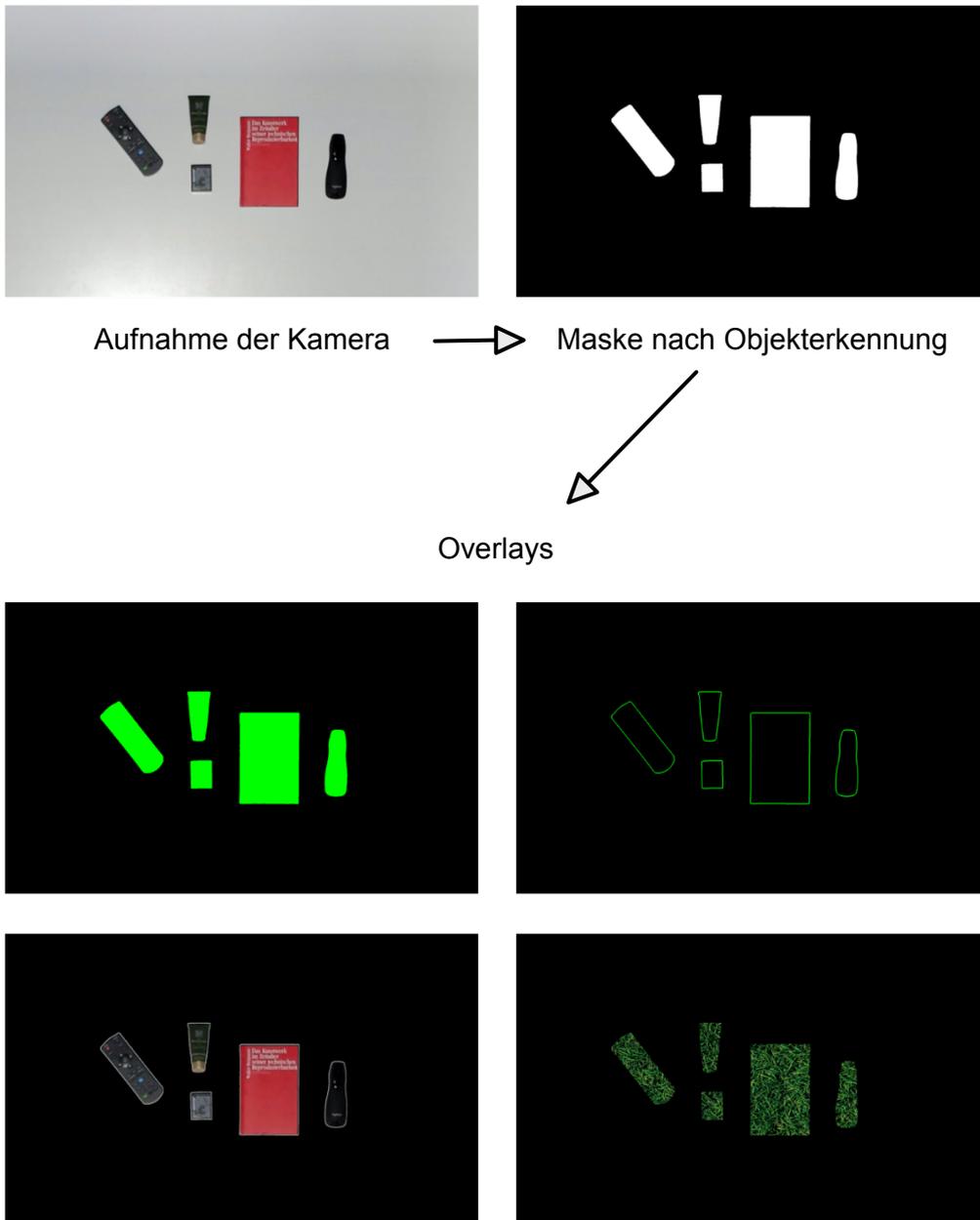


Abbildung 6: Verwendung der aus dem RGB Bild extrahierten Objektmaske zur Erstellung der Overlays

Die Höhe der Gegenstände ist von Bedeutung, da der Projektor auf eine plane Ebene fokussiert wird und nur auf diese Ebene scharf projiziert. Übersteigt nun ein Objekt diese Fokusebene, erscheint das projizierte Bild unscharf. Bei ungefähr gleich hohen Gegenständen stellt dies kein Problem dar, da der Fokus dann justiert werden kann. Bei unterschiedlicher Höhe ist die Projektion nur auf den Gegenständen, welche sich in der Fokusebene des Projektors befinden, scharf.

5.6.2 Form

Auch die Form der beleuchteten Objekte spielen bei der Projected-Augmented-Reality eine Rolle. Dies begründet sich im verwendeten Setup, welches einen einzelnen Projektor über der beleuchteten Szene platziert. Dadurch können Überhänge innerhalb eines Objektes nicht beleuchtet werden. Auch Strukturen mit einem großen Höhenunterschied, wie etwa ein zerknülltes Blatt Papier können zu Problemen führen, da sich hier Schatten in den Vertiefungen bilden und auf diese Stellen nicht projiziert werden kann. Diese Umstände können die Wahrnehmung der verwendeten Overlays trüben. Auch ist es bei den meisten Objekten nicht möglich, sowohl die Oberfläche als auch die Seitenwände mit nur einer Lichtquelle zu beleuchten. Ausnahmen bilden dabei pyramidenförmige Strukturen. Da die Gegenstände auf einem Tisch aber gewöhnlich von oben betrachtet werden, fällt die nicht vorhandene Beleuchtung der Seiten nicht wirklich auf. Für eine Rundumbeleuchtung wären mehrere Projektoren nötig, sodass die Szene nicht nur von oben, sondern auch von den Seiten aus beleuchtet werden kann.

5.6.3 Farbe

Die Farbe der Objekte spielt vor allem bei der Objekterkennung via RGB Bild eine Rolle, da helle Objekte auf hellem Untergrund schlecht erkannt werden. Außerdem hat die Gegenstandsfarbe Auswirkungen auf die Möglichkeiten der Farbmanipulation, wie in 6.1.3 dargestellt.

5.6.4 Oberfläche

Neben der Farbe wirkt sich auch die Oberflächenbeschaffenheit der Objekte auf die Genauigkeit der Objekterkennung aus. Glänzende Objekte sind dabei schwieriger zu erkennen, oft treten dabei kleine Fehler innerhalb der erkannten Objektmaske auf. Spiegelnde Oberflächen haben außerdem den Effekt, dass sie bei einer Projektion auf diese das Licht auch an ihre Umgebung, in diesem Fall den Tisch, abgeben. Dies führt zu interessanten visuellen Effekten um das glänzende Objekt. Konkret entstehen hier kleine Strahlen, welche vom Objekt weggehen. Dies hebt das Objekt im Vergleich zu matten Oberflächen etwas mehr hervor.

5.7 Zusammenfassung der Exploration

Es lässt sich abschließend festhalten, dass eine genaue Projektion auf Objekte von vielen Parametern beeinflusst wird.

Die Ausrichtung sowie der Abstand von Projektor und Kamera spielen eine wichtige Rolle. Außerdem ist es von großem Vorteil für die Genauigkeit, die Kamera zu kalibrieren. Eine weitere Kalibrierung zwischen Kamera und Projektor ist nötig, um eine deckungsgleiche Projektion auf die Objekte zu ermöglichen. Dabei bietet sich ein Verfahren mittels projizierter Aruco Marker an. Eine Objekterkennung erlaubt es, eine Maske zu erzeugen, durch welche die gefilterten Overlays nur auf die Gegenstände projiziert werden können. Außerdem gilt es, das Umgebungs- und Projektionslicht zu kontrollieren, da dies Auswirkungen auf die Schattenbildung, Objekterkennung und Sichtbarkeit der Overlays hat.

Die Erkenntnisse in diesen Bereichen sollen bei der Umsetzung der Nutzerstudie berücksichtigt werden.

6 Filtertechniken der Reprojektion

Durch den Schritt der Objekterkennung ist es nun möglich, die erkannten Objekte durch verschiedenen Filter zu bearbeiten und diese gefilterten Overlays dann auf die Objekte zu projizieren. Die verschiedenen Filter sollen in diesem Kapitel exploriert werden. Dabei ist anzumerken, dass eine möglichst genaue Beschreibung der Filter verwendet wird. Die bewusste Entscheidung gegen Verwendung von Fotografien der einzelnen Filter begründet sich in der Schwierigkeit, die Filter in ihrer Gesamtheit und Wirkung auf Bildern einzufangen.

6.1 Tonwert- und Farbmanipulation

Es folgt eine Beschreibung der explorierten Reprojektionen, welche sich auf das Verändern der Tonwerte und Farben beschränken.

6.1.1 Direkte Reprojektion

Der erste Ansatz nach Kalibrierung und Objekterkennung war die direkte Reprojektion der Gegenstände. Durch die Überlagerung eines projizierten Abbilds eines Objektes auf das Objekt selbst entstanden interessante visuelle Effekte. Vor allem farbige Oberflächen gewannen durch die Projektion an Farbintensität und Helligkeit, da die Farbe des Objekts durch die Reprojektion dieser verstärkt wird. Bei dunklen Oberflächen hingegen war es schwierig, einen Unterschied zwischen projiziertem und unprojiziertem Zustand auszumachen.

6.1.2 Invertierte Reprojektion

Bei der Invertierung wurden die Bildinformationen mithilfe der *bitwise_not* Funktion umgekehrt. Bei farbigen Oberflächen war dieser Effekt besonders sichtbar, da

hier die Farbintensität durch die Umkehrung deutlich abnahm. So erschien eine zuvor grüne Oberfläche durch die Beleuchtung seines invertierten und dadurch violetten Farbwertes fast grau.

Es ist also möglich, die Farben einer Oberfläche durch direkte Reprojektion zu verstärken oder durch invertierte Reprojektion abzuschwächen.

6.1.3 Farbprojektion

Die zuvor beschriebene Objekterkennung erlaubt es, die Gegenstände auf dem Tisch durch eine Farbprojektion zu beleuchten, welche sich dann nur auf den Objekten und nicht auf dem Tisch selbst befindet. Neben dem reinen Hervorheben der beleuchteten Gegenstände bietet sich hier die Möglichkeit, die Farbwahrnehmung der Objekte durch die Projektion zu verändern.

Hier ist anzumerken, dass ein Unterschied in der Farbdarstellung zwischen Projektion und Gegenstand durch die Farbtreue sowohl der Aufnahme der Kamera als auch der Wiedergabe des Projektors besteht. Diese Diskrepanz kann durch Einstellungen an den Geräten korrigiert werden, im Fall dieser Arbeit wurden allerdings mit den Standardeinstellungen gute Ergebnisse erzielt.

Die Exploration der Farbprojektion betrifft zwei verschiedene Variablen. Zum einen kann die Farbe der Projektion verändert werden, zum anderen die Farbe der Gegenstände selbst. Da sich hier eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten ergibt, musste eine systematische Auswahl getroffen werden. Deshalb wurde sich auf die RGB Grundfarben rot, grün, blau sowie weiß beschränkt. Es ist dabei anzumerken, dass diese Auswahl keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, eine Erforschung weiterer Farbkombinationen den Umfang dieser Arbeit allerdings übersteigen würde.

Die Auswahl der Objektoberfläche spielt eine wichtige Rolle bei der Farbprojektion. Bei der Farbexploration wurde deshalb bei jeder Kombination dasselbe Material, konkret farbiges Papier, verwendet, um eine Vergleichbarkeit zuzulassen. Die Oberflächeneigenschaften von Papier eignen sich gut, da diese nicht zu matt oder glänzend sind.

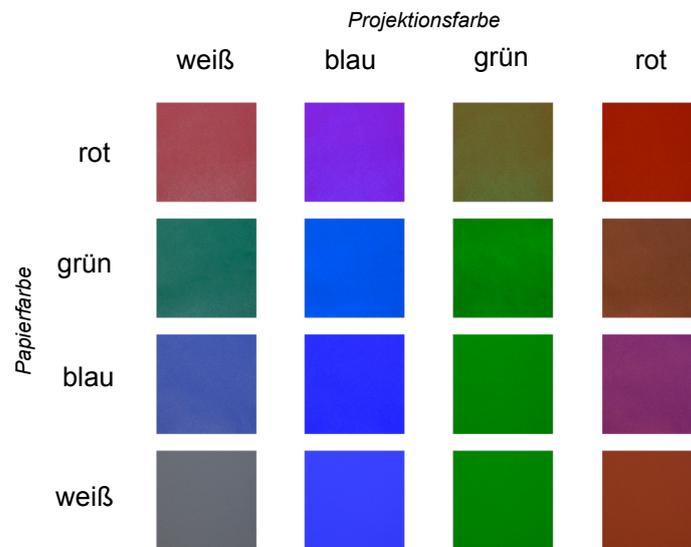


Abbildung 7: Farbprojektion

Zur besseren Vergleichbarkeit sind in Abbildung 7 Fotografien der verschiedenen Oberflächen mit den unterschiedlichen Beleuchtungen dargestellt. Dafür wurde das beleuchtete Papier von oben durch eine auf einem Stativ montierte Kamera fotografiert, wie in Abbildung 8 zu sehen. Dies hat, wie zuvor erwähnt, Limitierungen, da die Farbwiedergabe durch die Kamera verfälscht werden kann. Dennoch erlauben die Aufnahmen einen guten Überblick über die Möglichkeiten der Farbveränderung via Projektion. Außerdem wurde darauf geachtet, das Umgebungslicht konstant zu halten, da Unterschiede in Helligkeit oder Farbtemperatur Auswirkungen auf die wahrgenommene Farbdarstellung haben.

Es zeigt sich, dass die Grundfarbe des Papiers bei einer weißen Beleuchtung lediglich aufgehellt und nicht im Farbwert verändert wird. Bei einer farbigen Beleuchtung hingegen lässt sich die Farbe des Papiers beziehungsweise die Wahrnehmung davon durchaus verändern. Besonders deutlich wird dies bei der Papierfarbe Weiß, welche bei einer Farbprojektion eben jene Farbe komplett zurückgibt. Aber auch bei farbigem Papier lassen sich Änderungen feststellen. So entsteht bei blauer Beleuchtung von rotem Papier eine Art violette Mischfarbe, bei identischer Projektion auf grünem Papier hingegen entsteht der Eindruck einer blauen Farbe. Außerdem fällt auf, dass die grüne Projektion alle verwendeten Papierfarben grün färbt. Lediglich

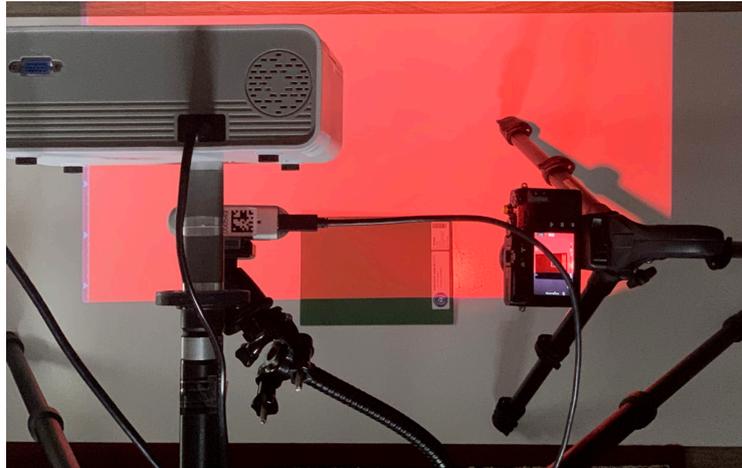


Abbildung 8: Setup der Farbprojektion

bei rotem Papier entsteht dabei ein sehr dunkles Grün, welches sich einem braunen Farbton annähert. Bei roter Projektion auf roten Untergrund verstärkt sich die Intensität der Farbe, der Farbton an sich ändert sich allerdings kaum, da die Farbwerte von Papieroberfläche und Projektion sehr nah beieinander liegen. Ist das Ziel, die Farbe intensiver oder heller erscheinen zu lassen, ohne Änderungen am Farbton vorzunehmen, sollten die Farbwerte übereinstimmen. Bei einer hohen Farbtreue von Projektor und Kamera bietet es sich hier an, eine direkte Reprojektion zu verwenden, da der exakte Farbton aufgenommen und auf die Oberfläche projiziert wird.

Eine Manipulation der Farbwahrnehmung von Objekten durch Reprojektion ist also durchaus möglich. Die Intensität der Effekte kann dabei durch die Helligkeit der jeweiligen Projektion moduliert werden.

Durch geschickte Wahl der jeweiligen Projektionsfarbe lässt sich der Farbeindruck eines Objektes bis zu einem gewissen Punkt verändern. Bei einer weißen Oberfläche sind die Änderungsmöglichkeiten dabei sehr vielfältig, da die Farbe der Projektion fast unverändert zurückgegeben wird. Aber auch bei bunten Objekten ist eine Farbmanipulation möglich. Die Breite der Änderungsmöglichkeiten der verschiedenen Farben ließe sich in weiterführenden Arbeiten erforschen.

Dadurch ergeben sich Nutzungsmöglichkeiten der Reprojektion für Anwendungsfälle, bei denen ein schnelles oder temporäres Ändern des visuellen Erscheinungsbildes benötigt wird. Die Ergebnisse der Farbmanipulation sind jedoch abhängig

vom verwendeten Projektor sowie dem Umgebungslicht.

6.2 **Texturprojektion**

Neben Farben spielen die Materialien beziehungsweise Texturen eine wichtige Rolle in der Wahrnehmung von Objekten. Auch hier bietet es sich an, diese Eigenschaft per Projected-Augmented-Reality zu verändern oder ergänzen.

Die Projektion von Texturen erfolgt dabei analog der Projektion von Farben, es wird also nur auf die zuvor erkannten Objekte projiziert. Dabei wurden Bilder verwendet, welche Texturen, wie etwa Holz, Beton oder auch Gras, darstellen. Diese Bilder wurden durch eine von der Objekterkennung zurückgegebene Maske ausgeschnitten und dann über den Projektor ausgegeben, wie in Abbildung 9 dargestellt. Bei farbigen Objekten ergibt sich diesbezüglich der Effekt, dass sowohl die projizierte Farbe als auch die Textur einen Effekt auf das Objekt hat. Die Farbe des Bildes interagiert mit der Farbe des Objektes, wobei letztendlich Farben entstehen, die weder der Farbe der Objektoberfläche noch der des projizierten Bildes entsprechen.

Bezüglich der Textur lässt sich eine Änderung der Wahrnehmung des Objektes festhalten, da die Oberfläche um prägnante visuelle Informationen, wie etwa Holzfasern, ergänzt wird. Diese Wahrnehmungsveränderung soll in der Nutzerstudie weiter erforscht werden.

6.3 **Morphologische Operationen**

Neben der Farbänderung und Kantenbeleuchtung lassen sich auch morphologische Operatoren auf das Bildmaterial anwenden. Hier stellte sich allerdings heraus, dass diese Form der Bildbearbeitung für die Reprojektion, abgesehen von der Verwendung im Rahmen der Objekterkennung, nur bedingt geeignet ist. Ein Anwendungsfall ist das Vergrößern der Projektionsfläche der einzelnen Objekte per Dilatation. Durch das Vergrößern geht die Projektion über das Objekt selbst hinaus und umrandet es durch Projektion auf die angrenzende Tischfläche. Diese Projektion ist besonders auffällig, da besonders viel Licht von der weißen Tischoberfläche zurückgegeben wird.

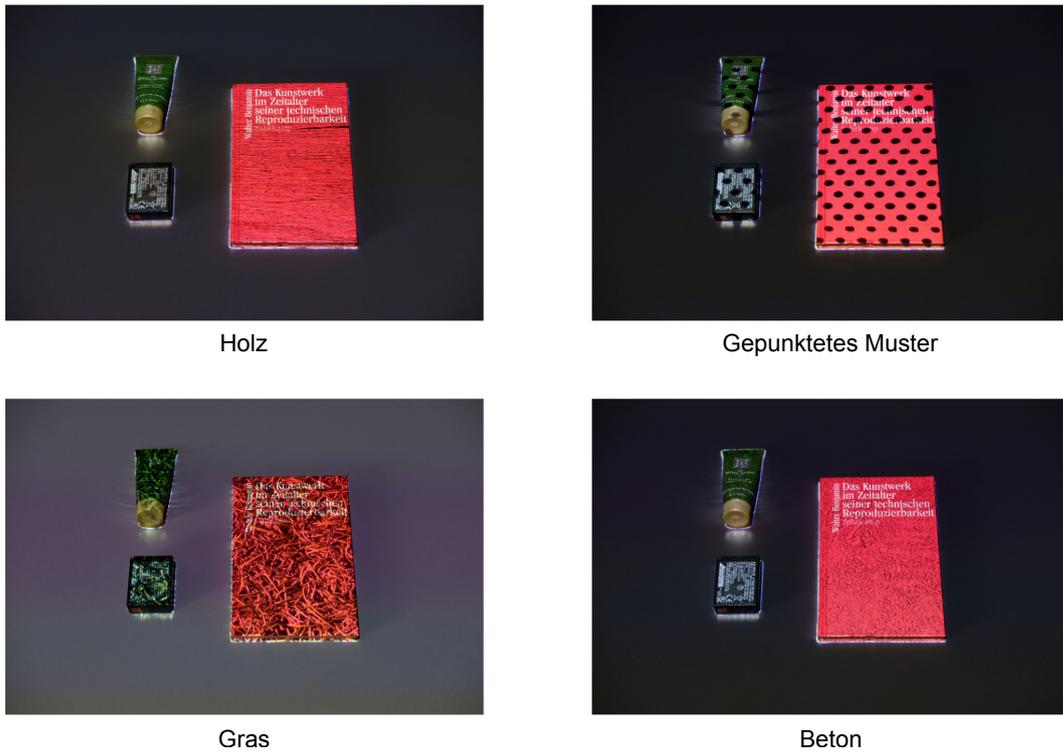


Abbildung 9: Verschiedene Texturprojektionen

6.4 Kantenprojektion

Eine weitere Möglichkeit im Rahmen der Reprojektion ist die Beleuchtung der Kanten. Durch die genaue Objekterkennung können so lediglich die Umrisse der Objekte beleuchtet werden. Hier stellt sich heraus, dass es durchaus von Vorteil ist, wenn die Linienstärke der Kantenprojektion etwas höher ist, da dies durch den bei den morphologischen Operationen bereits erwähnten Effekt der weißen Tischoberfläche die Umrisse stärker hervorhebt.

6.5 Blur und Sharpening

In der digitalen Bildbearbeitung lässt sich die Schärfe des Bildes manipulieren. Bezüglich der Reprojektion ergeben sich damit interessante Phänomene.

Sharpening

Eine Schärfung des projizierten Bildmaterials hat keinen großen Effekt auf die Wahrnehmung der Objekte. Da die realen Gegenstände bereits als sehr scharf wahrgenommen werden, hat eine Nachschärfung durch ein projiziertes Overlay keine wirklich sichtbaren Auswirkungen.

Blur

Durch Verwendung der OpenCV Funktion *GaussianBlur* konnte Unschärfe in die Reprojektion eingeführt werden. Auch dies hat, ebenso wie das Sharpening, einen nur sehr schwachen Effekt auf die reprojizierten Objekte. Das Overlay schafft es dabei nicht wirklich, Kanten verschwimmen zu lassen, da die Wahrnehmung der realen Kanten hier dominiert.

6.6 Animationen

Alle bisher beschriebenen Overlays haben gemeinsam, dass sie statischer Natur sind. Neben dieser unbewegten Beleuchtung existiert die Möglichkeit, Bewegung in die Projektion und damit auch die Objektoberfläche zu bringen. Dabei können sowohl ganze Flächen als auch nur die Kanten animiert werden.

Flächenanimation

Zur Animation der Flächen wurde dieselbe Technik wie bei den Textur Overlays verwendet, nur dass hier die verwendeten Texturbilder bei jedem projizierten Frame etwas gedreht wurden. Dadurch wird etwa die durch die Texturprojektion hervorgerufene schlechte Lesbarkeit noch weiter beeinträchtigt. Aber auch angenehme visuelle Effekte können damit erzielt werden, etwa durch Verwendung eines Bildes mit flächigen Farbverläufen, welche sich dann über die Objektoberflächen hinbewegen und so die Farbe dieser kontinuierlich verändern.

Kantenanimation

Neben der Flächenanimation können auch nur die Kanten animiert werden. Dies wurde durch Veränderung der Strichstärke der Kanten realisiert, welche bis zu einem gewissen Punkt erhöht und nach Erreichen dieses wieder verringert wurde.

Dadurch entsteht ein „pulsierender“ Effekt der Kanten, welcher in der Nutzerstudie weiter erforscht werden soll.

6.7 Zusammenfassung der Filtertechniken

Es lässt sich abschließend festhalten, dass durch Nutzung von Projected-Augmented-Reality Overlays die visuelle Wahrnehmung von Objekten durchaus verändert werden kann. Es ist möglich, die Farbwahrnehmung mittels gezielter Farbprojektion zu steuern, Texturen über Objekte zu legen, sodass diese um visuelle Informationen ergänzt werden, oder Bewegung durch Animation der Flächen oder Kanten einzuführen. Diese Möglichkeiten sollen unter Beachtung der in diesem Kapitel gewonnenen Erkenntnisse in einer anschließenden Nutzerstudie bestätigt und weiter erforscht werden.

7 Nutzerstudie zur Wahrnehmung von PAR Overlays

Um die Wahrnehmung von Projected-Augmented-Reality Overlays weiter zu erforschen, wurde eine prototypische Anwendung erstellt, welche Objekte auf einem Tisch mit verschiedenen Overlays beleuchtet. Darauf aufbauend wurde eine Nutzerstudie konzipiert und durchgeführt, auf welche in den folgenden Abschnitten weiter eingegangen werden soll.

7.1 Studiendesign und Ablauf

Es wurde eine qualitative Studie konzipiert mit dem Ziel, mehr über die Wahrnehmung verschiedener PAR Overlays zum Hervorheben von Gegenständen auf Tischen herauszufinden.

Nach Begrüßung, kurzer Vorstellung der Studie und Unterzeichnen der Datenschutzerklärung, welche mithilfe einer Vorlage ¹¹ erstellt wurde, wurden die demographischen Daten der ProbandInnen festgehalten. Neben Alter, Beruf und Geschlecht wurde außerdem das Vorhandensein einer unkorrigierten Sehschwäche abgefragt, da dies Auswirkungen auf die Wahrnehmung der Overlays haben könnte.

Die Studie wurde per Video aufgezeichnet. Die Aufnahme diente dabei nur als Hilfestellung bei der Auswertung der Aussagen der ProbandInnen. Nach besagter Auswertung wurden die Videos gelöscht.

In einem ersten Teil der Nutzerstudie wurden den ProbandInnen sechs verschiedene Overlays präsentiert, welche sie betrachten sollten. Dabei sollten sie ihre Gedanken laut äußern. Es wurde vor Beginn darauf hingewiesen, dass es keine falschen Aussagen gibt und die Overlays und nicht die ProbandInnen getestet werden.

¹¹<http://consentgenerator.uvrg.org>

In einem nächsten Schritt wurden den ProbandInnen vier Kategorien vorgestellt, in welchen die Filter in einem zweiten Schritt gerankt werden sollten. Zuerst aber war es die Aufgabe der TeilnehmerInnen, weitere, eigene Kategorien zu erstellen.

Bei der verwendeten Methode des Card Sorting existieren mit offenen, geschlossenen und hybriden Formen verschiedene Ansätze (Conrad & Tucker, 2018). Im Vorfeld der Studie wurde überlegt, alle Kategorien von den ProbandInnen erstellen zu lassen, was der Open Card Sorting Technik entsprechen würde. Zur besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Durchläufe und der Schwierigkeit, neue Kategorien aus dem Stegreif zu erstellen, wurde hier letztendlich ein hybrider Ansatz gewählt. Die bereits vorhandenen sollten dabei als Hilfestellung oder Guideline zur Erstellung eigener Kategorien dienen.

Die Karten des Card Ranking Tasks wurden im Vorfeld mit Schlagwörtern zur Beschreibung der einzelnen Filter beschriftet. Es wurde sich bewusst gegen die Verwendung von ausgedruckten Fotos oder digitalen Card Sorting Tools entschieden, um so ein potentiell Ranking der Fotos und nicht der wahrgenommenen Overlays auszuschließen. Vor dem Schritt des Rankings wurden die einzelnen Karten vorgelesen und der entsprechende Filter noch einmal eingeblendet, um Unklarheiten bei den TeilnehmerInnen zu verhindern.

In einem weiteren Schritt sollten dann die zuvor gesehenen Filter in den jeweiligen Kategorien gerankt werden, wie in Abbildung 10 dargestellt. Dieser Ansatz orientiert sich dabei an der Arbeit von Jones et al. (2013). Analog zu der Nutzerstudie des IllumiRoom soll auch in dieser Arbeit nicht der „beste visuelle Effekt“ gefunden werden, sondern mehr über die Wahrnehmung der Overlays entlang mehrerer Dimensionen beziehungsweise Kategorien herausgefunden werden. In der Kategorie der Helligkeit etwa sollten die ProbandInnen die wahrgenommene Helligkeit der Filter sortieren. Der am hellsten wahrgenommene Filter wurde ganz oben platziert, der am dunkelsten wahrgenommene ganz unten. Dies wurde für jede vorgegebene Kategorie sowie die selbst erstellten mit jeweils denselben Karten wiederholt. Die ProbandInnen hatten dabei jederzeit die Möglichkeit, ein Overlay erneut zu sehen.

Bei der Studie wurde nach Abwägung ein Within-Subjects Design verwendet.



Abbildung 10: Card Ranking Task

Dies begründet sich durch die von (Lazar et al., 2017, S.52) vorgestellten Vorteile dieses Ansatzes. Danach werden weniger ProbandInnen benötigt und individuelle Unterschiede können effektiver isoliert werden. Potenziell auftretende Ermüdungserscheinungen wurden durch Verwendung von insgesamt sechs Filtern und einer Studiendauer von circa einer halben Stunde so gering wie möglich gehalten. Lerneffekte sind bei einem Within-Subjects Design wohl kaum zu vermeiden. Um diese zu kontrollieren, wurde die von (Lazar et al., 2017, S.52) im Kontext dieses Designs vorgeschlagene Methode eines Balanced Latin Square Designs verwendet. Mithilfe eines Online Tools¹² wurden die sechs verschiedene Reihenfolgen der Overlays generiert. Außerdem wurde zwischen den Betrachtungen der einzelnen Filter die Projektion kurz ausgeschaltet, um die Wahrnehmung, vor allem nach optisch eher anstrengenden Overlays, zu neutralisieren.

7.2 ProbandInnen

Da die Zielgruppe einer Projected-Augmented-Reality Anwendung sehr divers und vielfältig ist, wurden bei der ProbandInnenauswahl keine strikten Richtlinien gesetzt. Die Rekrutierung erfolgte über das Online Forum der Medieninformatik so-

¹²https://cs.uwaterloo.ca/~dmasson/tools/latin_square/

wie über den Bekanntenkreis. Die Teilnahme war dabei ohne Voraussetzungen oder Vorkenntnisse möglich. Insgesamt wurde die Studie mit 12 ProbandInnen durchgeführt. Durch das Balanced Latin Square Design mit sechs Variationen wurde also jede Variante insgesamt zweimal durchlaufen. Aufgrund der qualitativen Auswertung der Studie erwies sich die Anzahl an ProbandInnen als ausreichend und entspricht der von Hwang & Salvendy (2010) vorgestellten 10 ± 2 Regel.

Zehn der ProbandInnen waren dabei Studenten. Das Alter der TeilnehmerInnen reichte von 20 bis 56 Jahren. Der Altersdurchschnitt betrug 28 Jahre und der Altersmedian 23 Jahre. Neun der TeilnehmerInnen identifizierten sich als männlich, drei als weiblich. Keiner der TeilnehmerInnen hatte eine unkorrigierte Sehschwäche.

Studierende der Medieninformatik oder Informationswissenschaft an der Universität Regensburg erhielten bei Bedarf eine halbe Versuchspersonenstunde. Alle ProbandInnen wurden außerdem mit einem Kaffeegutschein vergütet.

7.3 Setup und Umgebung

Die Nutzerstudie fand im Hauptraum des VR4 Labors der Medieninformatik statt. Auf einem regulären Tisch wurden möglichst verschiedene Objekte, welche sich auch im Alltag auf einem Tisch befinden könnten, verteilt. Durch vorherige Reservierung des Raumes wurde darauf geachtet, dass die ProbandInnen möglichst ungestört ihre Gedanken äußern können. Dennoch befanden sich manchmal Personen im Raum, dies war aber für die TeilnehmerInnen laut eigener Aussage nicht störend.

Über dem Tisch wurde eine Logitech Brio 4K Kamera mit einer Auflösung von 4096×2160 Pixeln sowie ein Viewsonic LS700-4K Projektor mit einer Auflösung von 3840×2160 Pixeln an einer Traverse befestigt, wie in Abbildung 11 zu sehen. Der Projektor wurde dabei auf maximale Helligkeit, mittleren Kontrast und eine Farbtemperatur von 6500K eingestellt.

Aufgrund der vorangegangenen Erfahrungen bei der Exploration wurde darauf geachtet, dass sowohl Kamera als auch Projektor möglichst parallel zum Tisch ausgerichtet sind. Außerdem wurde die Distanz zwischen Kamera und Projektor möglichst gering gehalten. Ein weiterer Tisch wurde mit Abstand vor dem Tisch, auf den



Abbildung 11: Projektor und Kamera an einer Traverse über dem Tisch

projiziert wurde, platziert. Auf diesem fand der Card Ranking Task statt. Durch die Platzierung der Tische war es den ProbandInnen möglich, auch während des Card Ranking Tasks die Filter, falls erwünscht, erneut zu betrachten. Die Studie fand im Stehen statt, um eine optimale Sichtbarkeit der Overlays zu ermöglichen. Eine Durchführung im Sitzen würde vor allem die vom ProbandInnen abgewandten Teile der Projektion bedingt durch die Höhe der Objekte verdecken.

Wie im vorangegangenen Teil der Arbeit dargelegt, spielt das Umgebungslicht eine erhebliche Rolle bei der Objekterkennung sowie auch der Wahrnehmung der Overlays. Bei der Nutzerstudie wurde darauf geachtet, das Umgebungslicht möglichst konstant bei allen Durchläufen zu halten. Die Fensterfront des Raumes wurde durch halbtransparente Rollos abgedunkelt und die Deckenbeleuchtung wurde abgeschaltet. Außerdem wurde darauf geachtet, die Studie ungefähr zur selben Tageszeit durchzuführen, konkret zwischen 13 und 17 Uhr nachmittags.

Die Umgebung wurde also vor allem durch etwas abgedunkeltes Tageslicht beleuchtet. Diese Lichtsituation wurde bewusst gewählt, da ein komplett dunkler oder lichtdurchfluteter Raum kaum den Bedingungen eines potentiellen, realen Anwendungsfalles eines Projected-Augmented-Reality Systems entsprechen würde.

Wie in der Exploration wurde Python mit OpenCV zur Bildverarbeitung verwenden

det. Es wurden dabei die in der Exploration erarbeiteten Techniken zur Objekterkennung, Kamerakalibrierung und Kalibrierung zwischen Kamera und Projektor verwendet.

Der Code für das System wurde möglichst modular gehalten. Die einzelnen Filter akzeptieren den kalibrierten Frame als Input und geben nach dem Durchlaufen verschiedenster Verarbeitungsschritte ein Bild zurück, welches dann über den Projektor ausgegeben wird.

7.4 Auswahl der Objekte

Die verwendeten Gegenstände waren dabei bei jedem Versuchsdurchlauf gleich und es wurde darauf geachtet, trotz der durch die Projektionsfläche vorgegebenen Flächeneinschränkung möglichst verschiedene Objekte mit unterschiedlichen Texturen, Farben und Größen zu verwenden. Die Gegenstände wurden möglichst „natürlich“ auf dem Tisch verteilt. Außerdem wurden oft zwei Gegenstände desselben Typs verwendet. Dabei wurde dann nur auf jeweils ein Objekt projiziert, um eine Vergleichbarkeit zwischen dem beleuchteten und unbeleuchteten Zustand herzustellen, wie in Abbildung 12 ersichtlich. Konkret befanden sich folgende Objekte auf dem Tisch:

- 1 Kugelschreiber
- 2 Textmarker
- 2 Bücher
- 2 Fineliner
- 1 Sonnenbrille
- 2 Marker
- 1 Fernbedienung
- 2 Konsolen Controller
- 1 Presenter Fernbedienung
- 4 Münzen
- 1 Handcreme
- 1 Feuerzeug

die Komplexität des Card Ranking Tasks. Im Folgenden werden die ausgewählten Filter vorgestellt, der statische Teil dieser Auswahl ist in Abbildung 13 dargestellt. Folgende Filter kamen bei der Studie zum Einsatz:

Highlighting Flächen

Dieses Overlay beleuchtet die Gegenstände vollflächig mit einer grünen Farbe. Die Farbauswahl begründet sich darin, dass Grün in der Studienumgebung sehr gut sichtbar ist und sich in der Mitte des von Menschen wahrnehmbaren Lichtspektrums befindet. Natürlich würde der Erkenntnisgewinn maximiert werden, wenn hier verschiedenfarbige Overlays verwendet werden würden. Jede weitere Farbe würde die Studie allerdings in die Länge ziehen. Außerdem ist Ziel dieser Arbeit, möglichst verschiedenen Overlays zu erforschen und eine Farbänderung stellt kein grundlegend anderes Overlay dar.

Highlighting Kanten

Auch beim Hervorheben der Kanten wird aus den eben genannten Gründen die Farbe Grün verwendet. Es wurde darauf geachtet, die Kanten so auffällig wie möglich zu beleuchten. Aufgrund der Erkenntnisse aus der Vorstudie wurde hier etwas über die eigentliche Kante des Objektes hinaus projiziert, um eine prägnante Umrandung der Objekte zu erreichen.

Animierte Kanten

Dieses Overlay ist wie das Highlighting der Kanten aufgebaut, mit dem Unterschied, dass hier ein „Pulsieren“ der Kanten in Form eines Zu- und wieder Abnehmens der Strichstärke implementiert wurde.

Textur Overlay

Auch die Auswahl des verwendeten Bildes für die Textur musste beschränkt werden, um die Studie nicht zu lang werden zu lassen. Es wurde eine Grastextur verwendet, da sich diese in der Exploration als sehr auffällig herausstellte. Andere Texturen wie etwa Holz oder Papier waren weniger ausgeprägt, da sie im Vergleich schwächer ausgeprägte Strukturelemente beinhalten. Die einzelnen Halme der Grastextur treten prägnanter hervor als etwa die Fasern oder Astlöcher einer Holztextur.

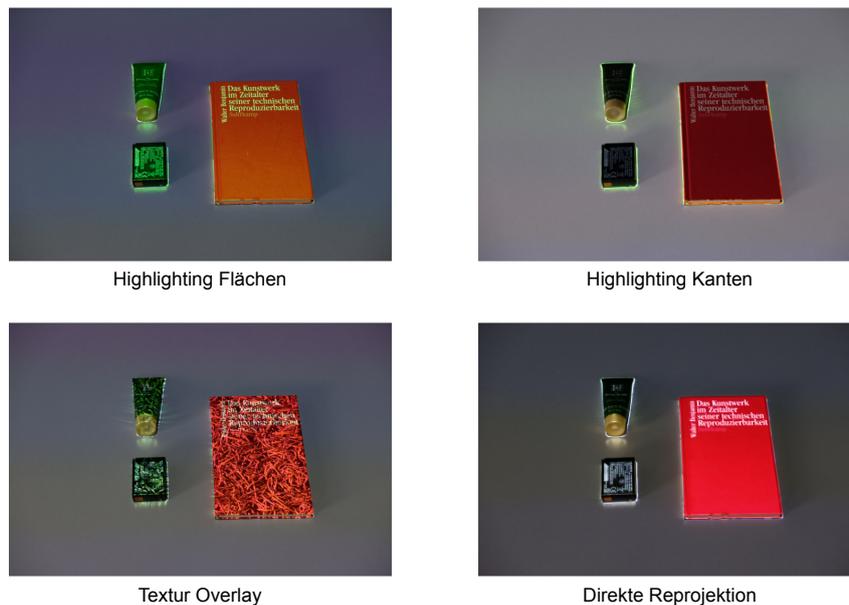


Abbildung 13: Statische Filter der Nutzerstudie

Textur Overlay animiert

Für die animierte Variante wurde dieselbe Textur wie beim statischen Textur Overlay verwendet. Diese Textur wurde dabei kontinuierliche wenige Grad vor- und zurückgeschwenkt. Die Grasstruktur „huscht“ also über die Oberfläche der beleuchteten Objekte.

Direkte Reprojektion

Da die direkte Reprojektion an sich vor allem bei dunkleren Objekten kaum auffällt, wurde diese in der Nutzerstudie mit einem dünnen weißen Rand um den Umriss des Gegenstandes kombiniert. Dadurch sollte untersucht werden, ob durch Kombination von Flächen- und Kantenbeleuchtung ein Teil der Projektion mehr hervorsticht als der andere.

7.6 Auswahl der Kategorien

Die Auswahl der vorgegebenen Kategorien wurde bewusst getroffen. Es wurde darauf geachtet, Kategorien zu verwenden, in denen die Filter von hoch zu niedrig sortiert werden konnten. Es folgt eine kurze Beschreibung der Kategorien.

Wahrgenommene Helligkeit

Durch die Verwendung verschiedenartiger Overlays stellte sich die Frage nach der wahrgenommenen Helligkeit. So sollte hier erörtert werden, welche Formen der Projektion als hell und welche als weniger hell wahrgenommen werden und ob die Animation der Overlays Einfluss darauf hat.

Auffälligkeit der hervorgehobenen Objekte

Da ein Anwendungsfall der Projected-Augmented-Reality Overlays die Unterstützung beim Suchen von Gegenständen ist, stellt sich hier die Frage, mit welcher Projektion dies am besten gelingt. Um dies zu untersuchen, wurde die Dimension der Auffälligkeit der hervorgehobenen Objekte verwendet.

Veränderungsgrad der Objekte durch das Overlay

Durch die Erkenntnisse der Vorstudie ließ sich festhalten, dass ein Verändern der visuellen Wahrnehmung eines Objektes durch die Reprojektion durchaus möglich ist. Dies sollte in der Nutzerstudie bestätigt und weiter untersucht werden. Deshalb sollten die ProbandInnen die Filter nach dem Veränderungsgrad der Objekte durch das Overlay sortieren.

Persönliches Gefallen

Auch wenn Geschmäcker verschieden sind, sollte durch Verwendung des persönlichen Gefallens als Kategorie erörtert werden, ob es einen Konsens zwischen den ProbandInnen gibt, ob also einzelne Overlays kollektiv abgelehnt oder angenommen werden.

Neben den eben erwähnten vorgegebenen Kategorien erfolgte die Sortierung der Overlaykarten auch in den zuvor von den TeilnehmerInnen selbst erstellen Kategorien.

7.7 Ergebnisse der Nutzerstudie

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Nutzerstudie, eingeteilt in die Abschnitte Thinking Aloud, Kategorienerstellung und Card Ranking, beschrieben werden.

7.7.1 Thinking Aloud

Da der Thinking Aloud Task bei Betrachtung jeweils eines Overlays stattfand, soll auf diese im Einzelnen eingegangen werden.

Highlighting Flächen

Die grüne Fläche wurde von den meisten ProbandInnen als Neonfarbe bezeichnet. Die Farbe wurde von den ProbandInnen als gelb, grün oder gelb-grün beschrieben. Bei hellen Oberflächen fiel die flächige Beleuchtung dabei deutlicher auf als bei dunkleren Objekten. Ein Proband nahm die grüne Beleuchtung einer schwarzen Oberfläche als „verschmutzt“ wahr. Eine Mehrzahl an ProbandInnen betonte, dass die weiße Schrift auf einem roten Buch durch dieses Overlay mehr hervorgehoben wird und weiße Stellen die Farbe des Overlays annehmen. Eine Probandin sagte aus, dass ein Legoreifen auf dem Tisch mit der Beleuchtung schwerer zu erkennen sei, da die Schattenbildung der inneren Struktur des Objektes durch die Projektion minimiert wurde.

Highlighting Kanten

Alle ProbandInnen erkannten bei diesem Overlay, dass nur auf die Umrisse der Objekte projiziert wird. Zwei TeilnehmerInnen merkten an, dass die selektive Beleuchtung deutlicher wird als bei der flächigen Beleuchtung. Drei ProbandInnen erwähnten außerdem, dass für sie die Objekte durch die Projektion einen Art „Comiceffekt“ hätten. Die leichte Ungenauigkeit der Objekterkennung und damit die nicht komplett stimmige Umrandung einer Münze, bedingt durch deren glänzende Oberfläche, fiel zwei TeilnehmerInnen auf.

Animierte Kanten

Dieses Overlay wurde von den ProbandInnen als „dynamisch“, „pulsierend“ und „flackernd“ beschrieben. Eine Anmerkung war, dass das Pulsieren die Bedeutung einer möglichen Interaktion mit den Gegenständen haben könnte. Durch die Bewegung erregt das Overlay mehr Aufmerksamkeit als die statische Variante. Interessant ist hierbei aber auch, dass einem Teil der Probanden die Animation nicht sofort auffiel. Ein Teilnehmer erwähnte, dass die projizierte Strichstärke der animierten

Kantenprojektion Einfluss auf die wahrgenommene Größe des Objektes hat.

Textur Overlay

Bei dem Textur Overlay herrschte unter allen ProbandInnen die Ansicht, dass dieser Effekt anstrengend und etwas verwirrend ist. Einige bezeichneten das Muster als „Camouflage“ und sagten aus, dass die Objekte durch die Projektion undeutlicher zu erkennen seien. Eine Probandin fand die nicht beleuchteten Gegenstände bei dieser Art des Overlays auffälliger. Zwei TeilnehmerInnen fanden den Effekt vor allem bei dem Gamecontroller besonders beeindruckend, da sie das Overlay bei diesem als Teil des Gegenstands wahrnahmen. Sie zogen hier den Vergleich mit aufgeklebten „Skins“. Die Textur an sich wurde dabei für die TeilnehmerInnen bei allen Objekten deutlich, die grüne Farbe hingegen wurde lediglich bei schwarzen oder weißen Gegenständen wahrgenommen, da sich bei bunten Oberflächen gemischte Farben ergaben. Schriften waren durch das Overlay sehr schwer zu erkennen.

Textur Overlay animiert

Hier verhielten sich die Aussagen ähnlich wie bei der statischen Textur. Die Bewegung wurde sofort erkannt und die Lesbarkeit wurde noch als ein Stück weiter eingeschränkt empfunden. Ein Proband merkte an, dass es sehr ungewohnt ist, dass die Bewegung nur auf den Objekten stattfindet, da er sich diese auch auf dem Untergrund erwartet hätte. Allgemein wurde auch dieses Overlay als eher unangenehm und anstrengend wahrgenommen, ein Teilnehmer bezeichnete es allerdings als „Eyecatcher“.

Direkte Reprojektion

Bei der direkten Reprojektion mit weißer Umrandung war interessant, dass allen ProbandInnen zuerst die Umrandung stärker ins Auge fiel als die Reprojektion. Nach kurzer Zeit wurde dann aber auch die Reprojektion bemerkt, vor allem bei hellen Objekten sagten die Teilnehmer aus, dass die Farben dadurch heller und intensiver geworden sind. Bei dunkleren Oberflächen fiel die Reprojektion nur schwach bis gar nicht auf. Einige TeilnehmerInnen bezeichneten den Effekt als futuristisch und angenehm. Zwei ProbandInnen hoben hervor, dass die weiße Schrift auf dem

roten Buch einen plastischen 3D Effekt erhielt.

7.7.2 Kategorienerstellung

Sechs der 12 ProbandInnen erstellen jeweils noch weitere, eigene Kategorien. Diese sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

Wahrgenommener Kontrast

Diese Kategorie soll laut dem Probanden den Kontrast zwischen beleuchtetem Objekt und der Tischoberfläche darstellen. Diesen Kontrast empfand er bei den Texturprojektionen am geringsten und bei den Kantenprojektionen am höchsten.

Farbintensität

Die Probandin, welche die Kategorie der Farbintensität erstellte, empfand die Farben der Reprojektion am intensivsten, die Farben der beleuchteten Kanten hingegen am wenigsten intensiv.

Anstrengung

Diese Kategorie wurde von drei ProbandInnen erstellt. Daraus lässt sich schließen, dass diese Kategorie eine wichtige Dimension in der Beurteilung von Projected-Augmented-Reality Overlays darstellt. Die ersten beiden Rankingplätze wurden dabei von allen drei TeilnehmerInnen gleich belegt. Bei der animierten Textur wurde die meiste Anstrengung empfunden, gefolgt von den animierten Kanten. Bewegte Overlays werden von diesen ProbandInnen also als anstrengender wahrgenommen als statische.

Nutzen

Mit dieser Kategorie beschreibt die Probandin den potenziellen Nutzen des Overlays für einen abstrakten und nicht näher beschriebenen Anwendungsfall. In den Textur Overlays sieht sie dabei den größten Nutzen, in den Kantenumrandungen den niedrigsten.

Wahrgenommene Größe

Bei der Flächenbeleuchtung und Reprojektion werden die Objekte laut der Kategorisiererstellerin vergleichsweise größer wahrgenommen. Bei den Textur Overlays ist dies hingegen nicht der Fall.

7.7.3 Card Ranking

Durch die für eine statistische Signifikanz zu geringe TeilnehmerInnenzahl wurde beim Card Ranking auf eine quantitative Auswertung verzichtet. Trotzdem wurden Trends und Tendenzen im Ranking festgestellt, welche im Folgenden dargestellt werden. Außerdem soll auf die Aussagen der TeilnehmerInnen während des Card Rankings sowie ihre Gründe für die jeweilige Reihenfolge eingegangen werden.

Wahrgenommene Helligkeit

Bezüglich der wahrgenommenen Helligkeit ordneten zehn ProbandInnen die direkte Reprojektion an erster Stelle ein. Dies begründeten sie durch die Kombination aus weißer, auffälliger Umrandung und der helleren und intensiveren Farben, vor allem bei den hellen Objekten. Außerdem wurden die Textur Overlays tendenziell als etwas dunkler wahrgenommen als die Kantenbeleuchtung. Dies ist interessant, da beide Overlays Grün als Grundfarbe verwenden, die Strukturelemente in dem Texturbild das Overlay aber dunkler erscheinen lassen.

Auffälligkeit der hervorgehobenen Objekte

Bei der Auffälligkeit ist bei einigen ProbandInnen eine recht ähnliche Verteilung wie bei der Helligkeit zu beobachten. Durch die von den ProbandInnen getroffenen Aussagen lässt sich festhalten, dass für viele die Helligkeit eines Overlays direkt mit der Auffälligkeit zusammenhängt. Einige TeilnehmerInnen merkten außerdem an, dass bewegte Overlays stärker auffallen als statische Projektionen.

Veränderungsgrad der Objekte durch das Overlay

Neun ProbandInnen nannten beim Veränderungsgrad das animierte Textur Overlay an erster Stelle. Durch die Einführung von Bewegung sowie das Ergänzen der Objekte mit einer Textur, nicht nur einer Farbe, verändern sich diese am meisten.

Auch hier lässt sich festhalten, dass mehr Bewegung im Overlay zu einem höheren wahrgenommenen Veränderungsgrad bei den ProbandInnen führte.

Persönliches Gefallen

Alle ProbandInnen bis auf einen nannten die direkte Reprojektion mit weißen Kanten als Overlay, welches ihnen persönlich am besten gefiel. Dies begründeten sie durch das saubere Erscheinungsbild, bedingt durch die weißen Kanten, sowie die intensiven Farben. Die Textur Projektionen, vor allem im animierten Zustand, wurden in dieser Kategorie am schlechtesten bewertet, da diese anstrengend und verwirrend seien. Eine Probandin merkte hier außerdem an, dass das Textur Overlay die Gegenstände zu stark verändert und ein Muster kreiert wird, welches „nicht vorhanden ist“.

7.8 Limitierungen

Auch wenn diese Nutzerstudie interessante Ergebnisse produziert, ist sie natürlich nicht ohne Limitierungen.

So stellt die Auswahl der verwendeten Overlays eine große Limitierung dar. Dies ist allerdings notwendig, um die Studie in einem zeitlich vertretbaren Rahmen zu halten. Weitere Arbeiten zum Thema der Projected-Augmented-Reality Overlays könnten sich auf einzelne Overlay Formen spezialisieren und diese in ihrer vollen Breite erforschen. So wäre es denkbar, eine Nutzerstudie mit Flächenprojektion in verschiedenen Farben oder Texturprojektion mit unterschiedlichen Texturen zu konzipieren, um die verwendeten Farben oder Texturen untereinander zu vergleichen.

Auch die vorgegebenen Kategorien sind eine Einschränkung, welche allerdings durch die Möglichkeit zur Erstellung eigener Kategorien minimiert wurde.

Auch wenn die ProbandInnen sich nach eigener Aussage nicht von im Raum anwesenden Personen gestört fühlten, stellt dies eine potenzielle Limitierung dar, da es die TeilnehmerInnen möglicherweise im Thinking Aloud einschränkt. Eine höhere ProbandInnenanzahl würde eine statistische Auswertung des Card Ranking Tasks erlauben, welche sich als erkenntnisreich herausstellen könnte. Die Proband-

Innenauswahl an sich könnte außerdem bezüglich Alter, Beruf und Geschlechterverteilung diverser sein.

7.9 Zusammenfassung der Nutzerstudie

Vor allem durch die Vorarbeit im Rahmen der Exploration konnte die Nutzerstudie unter Rahmenbedingungen eines geeigneten Umgebungslichts sowie genauer Objekterkennung und Projektion stattfinden. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Reprojektion auf Objekte verschiedene, in 7.7 genauer vorgestellte Wahrnehmungsveränderungen hervorrufen kann. So ist es möglich, Farben, Texturen und die Auffälligkeit der Objekte durch Projektion zu verändern.

8 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde die reproduzierte Realität in Form von Projected-Augmented-Reality Overlays durch Klassifizierung, Vorstellung verwandter Arbeiten, Exploration und einer anschließenden Nutzerstudie erforscht.

Die Ergebnisse der Exploration zeigen, dass sich auf dem Feld der Reprojektion eigene Probleme ergeben. Durch die vorgestellten und implementierten Techniken lassen sich aber dennoch genaue und sinnvolle Overlays realisieren.

Durch die Ergebnisse der Nutzerstudie lässt sich festhalten, dass die Wahrnehmung visueller Eigenschaften von Objekten durch Reprojektion verändert werden kann. Die Auswahl der Overlays hängt stark vom Zweck der Projektion und dem konkreten Anwendungsfall ab.

Projected-Augmented-Reality Overlays haben sehr viel Potential, vor allem durch die Möglichkeit der kollaborativen Betrachtung sowie der Nutzung bereits vorhandener Gegenstände. Die Reprojektion bietet sich dabei bei allen Anwendungen an, bei denen ein schnelles und reversibles Ändern der visuellen Eigenschaften benötigt wird. Durch die Projektion gibt es bezüglich der Oberfläche keine Beschränkung. Auch portable Lösungen wären zukünftig denkbar, was die Auswahl an Objekten, welche beleuchtet werden können, erweitern würde.

In zukünftigen Arbeiten könnten man die Objekterkennung mit einer besseren Tiefenkamera realisieren, um so eine dynamische Beleuchtung der Objekte zu ermöglichen. Ein Setup mit mehreren Projektoren würde eine zusätzliche Projektion der Objektseiten erlauben. Mit mehreren oder höher auflösenden Kameras ließe sich außerdem die Genauigkeit der Objekterkennung und damit auch die Qualität der Projektion verbessern.

Literaturverzeichnis

- Bhorkar, G. (2017). A Survey of Augmented Reality Navigation. *arXiv:1708.05006* [cs].
- Bimber, O. & Raskar, R. (2005). *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. CRC Press.
- Conrad, L. Y. & Tucker, V. M. (2018). Making it tangible: hybrid card sorting within qualitative interviews. *Journal of Documentation*, 75 (2), 397–416.
- Dubois, E. & Nigay, L. (2000). Augmented reality: which augmentation for which reality? In *Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments* (S. 165–166). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Factura, B., LaPerche, L., Reyneri, P., Jones, B. & Karsch, K. (2018). Lightform: procedural effects for projected AR. In *ACM SIGGRAPH 2018 Studio* (S. 1–2). Vancouver British Columbia Canada: ACM.
- Funk, M., Kosch, T. & Schmidt, A. (2016). Interactive worker assistance: comparing the effects of in-situ projection, head-mounted displays, tablet, and paper instructions. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '16* (S. 934–939). Heidelberg, Germany: ACM Press.
- Furht, B. (2011). *Handbook of Augmented Reality*. Springer Science & Business Media.
- Hugues, O., Fuchs, P. & Nannipieri, O. (2011). New Augmented Reality Taxonomy: Technologies and Features of Augmented Environment. In B. Furht (Hrsg.), *Handbook of Augmented Reality* (S. 850). Springer.
- Hwang, W. & Salvendy, G. (2010). Number of people required for usability evaluation: the 10±2 rule. *Communications of the ACM*, 53 (5), 130–133.
- Ishii, H. & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems* (S. 234–241). Atlanta Georgia USA: ACM.
- Jones, B. R., Benko, H., Ofek, E. & Wilson, A. D. (2013). IllumiRoom: peripheral projected illusions for interactive experiences. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 869–878). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.

- Lazar, J., Feng, J. H. & Hochheiser, H. (2017). *Research Methods in Human-Computer Interaction*. San Francisco: Elsevier Science & Technology.
- Maisto, M., Pacchierotti, C., Chinello, F., Salvietti, G., De Luca, A. & Prattichizzo, D. (2017). Evaluation of Wearable Haptic Systems for the Fingers in Augmented Reality Applications. *IEEE Transactions on Haptics*, 10 (4), 511–522. (Conference Name: IEEE Transactions on Haptics)
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, 2351.
- Nagele, A. N., Bauer, V., Healey, P. G. T., Reiss, J. D., Cooke, H., Cowlshaw, T., ... Pike, C. (2021). Interactive Audio Augmented Reality in Participatory Performance. *Frontiers in Virtual Reality*, 1.
- Raskar, R., Welch, G., Low, K.-L. & Bandyopadhyay, D. (2001). *Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination*. The Eurographics Association.
- Rekimoto, J. & Nagao, K. (1995). The world through the computer: computer augmented interaction with real world environments. In *Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology - UIST '95* (S. 29–36). Pittsburgh, Pennsylvania, United States: ACM Press.
- Roberto, R. A., Freitas, D. Q. d., Simões, F. P. M. & Teichrieb, V. (2013). A Dynamic Blocks Platform Based on Projective Augmented Reality and Tangible Interfaces for Educational Activities. In *2013 XV Symposium on Virtual and Augmented Reality* (S. 1–9).
- Rosebrock, A. (2015, April). *Zero-parameter, automatic Canny edge detection with Python and OpenCV*. Zugriff am 2022-04-12 auf <https://www.pyimagesearch.com/2015/04/06/zero-parameter-automatic-canny-edge-detection-with-python-and-opencv/>
- Sadekar, K. & Mallick, S. (2020, Februar). *Camera Calibration using OpenCV*. Zugriff am 2022-04-10 auf <https://learnopencv.com/camera-calibration-using-opencv/>
- Sonja Kind, Jan-Peter Ferdinand, Tobias Jetzke, Stephan Richter & Sebastian Weide. (2019). *Virtual und Augmented Reality Status quo, Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen* (TAB-Arbeitsbericht Nr. 180).
- Stumpp, S., Knopf, T. & Michelis, D. (2019). User Experience Design With Augmented Reality (AR). In *Proceedings of the ecie 2019 14th european conference on innovation and entrepreneurship*.

- Willis, K. D., Poupyrev, I., Hudson, S. E. & Mahler, M. (2011). SideBySide: Ad-hoc Multi-user Interaction with Handheld Projectors. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology* (S. 431–440). Santa Barbara, California, USA: ACM.
- Wimmer, R. & Echtler, F. (2019). VIGITIA: Unterstützung von alltäglichen Tätigkeiten an Tischen durch Projected AR. In *Mensch und Computer 2019 - Workshopband* (S. 6). Gesellschaft für Informatik e.V.

Erklärung zur Urheberschaft

Ich habe die Arbeit selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie alle Zitate und Übernahmen von fremden Aussagen kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die vorgelegten Druckexemplare und die vorgelegte digitale Version sind identisch.

Regensburg, 14.04.2022



Unterschrift

Erklärung zur Lizenzierung und Publikation dieser Arbeit

Name: Maximilian Eder

Titel der Arbeit: *Reproduzierte Realität - Exploration und Evaluation von Projected-Augmented-Reality-Overlays auf Objekte*

Hiermit gestatte ich die Verwendung der schriftlichen Ausarbeitung zeitlich unbegrenzt und nicht-exklusiv unter folgenden Bedingungen:

- Nur zur Bewertung dieser Arbeit
- Nur innerhalb des Lehrstuhls im Rahmen von Forschung und Lehre
- Unter einer Creative-Commons-Lizenz mit den folgenden Einschränkungen:
 - BY – Namensnennung des Autors
 - NC – Nichtkommerziell
 - SA – Share-Alike, d.h. alle Änderungen müssen unter die gleiche Lizenz gestellt werden.

(An Zitaten und Abbildungen aus fremden Quellen werden keine weiteren Rechte eingeräumt.)

Außerdem gestatte ich die Verwendung des im Rahmen dieser Arbeit erstellten Quellcodes unter folgender Lizenz:

- Nur zur Bewertung dieser Arbeit
- Nur innerhalb des Lehrstuhls im Rahmen von Forschung und Lehre
- Unter der CC-0-Lizenz (= beliebige Nutzung)
- Unter der MIT-Lizenz (= Namensnennung)
- Unter der GPLv3-Lizenz (oder neuere Versionen)

(An explizit mit einer anderen Lizenz gekennzeichneten Bibliotheken und Daten werden keine weiteren Rechte eingeräumt.)

Ich willige ein, dass der Lehrstuhl für Medieninformatik diese Arbeit – falls sie besonders gut ausfällt - auf dem Publikationsserver der Universität Regensburg veröffentlichen lässt.

Ich übertrage deshalb der Universität Regensburg das Recht, die Arbeit elektronisch zu speichern und in Datennetzen öffentlich zugänglich zu machen. Ich übertrage der Universität Regensburg ferner das Recht zur Konvertierung zum Zwecke der Langzeitarchivierung unter Beachtung der Bewahrung des Inhalts (die Originalarchivierung bleibt erhalten).

Erklärung zur Lizenzierung und Publikation dieser Arbeit

Ich erkläre außerdem, dass von mir die urheber- und lizenzrechtliche Seite (Copyright) geklärt wurde und Rechte Dritter der Publikation nicht entgegenstehen.

- Ja, für die komplette Arbeit inklusive Anhang
- Ja, für eine um vertrauliche Informationen gekürzte Variante (auf dem Datenträger beigefügt)
- Nein
- Sperrvermerk bis (Datum):

Regensburg, 14.04.2022



Unterschrift

Inhalt des beigelegten Datenträgers

/1_Ausarbeitung	Die schriftliche Ausarbeitung als PDF
/2_Code	Quellcode der prototypischen Anwendung für die Nutzerstudie
/3_Studie/Design	Datenschutzerklärung und Ablaufnotizen der Nutzerstudie
/3_Studie/Rohdaten	Rohdaten des Card Ranking Tasks, demographischen Fragebogens sowie der balanced latin square Reihenfolge der Filter
/4_Bilder	Alle erstellten Bilder
/5_Vortrag	Folien des Antrittsvortrags
/6_Quellen	Alle in der Arbeit zitierten Quellen im PDF-Format
