

# Entwicklung einer VR-Umgebung zur Untersuchung des induzierten Roelofs Effekts

## Masterarbeit

zur Erlangung des Grades Master of Science (M.Sc.)  
im Studiengang Computervisualistik

vorgelegt von  
Svenja Neuneier

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Müller  
(Institut für Computervisualistik, AG Computergraphik)

Zweitgutachter: Prof. Dr. Eva Neidhardt  
(Institut für Psychologie, Päd. Psychologie und Ang. Entwicklungspsychologie)

Koblenz, im November 2017





## Aufgabenstellung für die Masterarbeit

Svenja Neuneier  
(Matr.-Nr. 209 210 477)

**Thema: Entwicklung einer VR-Umgebung zur Untersuchung des induzierten Roelofs Effekts**

Virtuelle Realität hat sich in den letzten Jahren enorm entwickelt. So stehen heute einer breiten Masse Hard- und Softwarelösungen zur Verfügung, die man vor wenigen Jahren noch für unmöglich gehalten hat. Dadurch etabliert sich VR als wichtige Technologie in verschiedenen Anwendungsbereichen, wie z.B. in der Wahrnehmungsforschung.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Psychologie der Uni Koblenz soll in diesem Zusammenhang ein Wahrnehmungsphänomen untersucht werden, das als Roelofs Effekt bekannt ist und sich mit VR-Technologien sehr gut untersuchen lässt.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Umgebung in der virtuellen Realität zu gestalten, um den induzierten Roelofs Effekt ohne Beeinflussung durch einen zusätzlichen Rahmen eines Anzeigegeräts zu testen. Die resultierenden Ergebnisse sollen anschließend mit den Ergebnissen aus einem Experiment an einem Computerbildschirm oder Tablet verglichen werden, um herauszufinden ob der Rahmen des Anzeigegerätes den Effekt wirklich beeinflusst.

Schwerpunkte dieser Arbeit sind:

1. Einarbeitung in die VR
2. Einarbeitung in den Roelofs Effekt
3. Recherche bestehender Experimente und deren Ergebnisse
4. Auswahl einer VR Brille und Entwicklungsumgebung
5. Anforderungen an das zu erstellende VR Experiment und Vergleichsexperiment
6. Konzeption und Realisierung der zwei Experimente
7. Durchführung der Experimente
8. Bewertung und Dokumentation der Ergebnisse

Koblenz, den 05.05.2017

S. Neuneier

Svenja Neuneier

S. Müller

Prof. Dr. Stefan Müller

## Zusammenfassung

Der Markt der virtuellen Realität entwickelt sich derzeit besonders im Hinblick auf die Hardware kontinuierlich weiter. Infolgedessen ergeben sich immer weitere Anwendungsmöglichkeiten. Neben der Spielebranche bieten sich auch der Forschung neue Möglichkeiten. So lassen sich auch Wahrnehmungsphänomene mithilfe dieser Technologie erforschen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit der Untersuchung des induzierten Roelofs Effekts in der virtuellen Realität sowie in der Wirklichkeit anhand eines Computerbildschirms. Dieser beschreibt eine Fehlwahrnehmung, die auftritt, wenn die individuelle Körpermitte und ein Rahmen, der ein optisches Zielobjekt umfasst, verschoben zueinander auftreten, was zu einer Fehllokalisierung des Objekts führt. Die folgende Untersuchung soll Aufschluss über die Beeinflussung durch den Rahmen eines Anzeigegeräts geben. Zudem werden Rückschlüsse über die Eignung der virtuellen Realität bezüglich der Wahrnehmungsforschung gezogen. Die Ergebnisse in der virtuellen Realität weisen ein stärkeres Maß der Wahrnehmungsverzerrung durch den Roelofs Effekt auf, wodurch der feste Rahmen eines Anzeigegeräts als zusätzliche Orientierungshilfe vermutet werden kann.

The market for virtual reality is rapidly evolving regarding its hardware components. Further applications are the result of this progress. In addition to the gaming market virtual reality offers further possibilities and advantages in research. That way this technology provides the investigation of perceptual phenomena. Therefore the present thesis aimed to examine the induced roelofs effect in a virtual environment and in reality in front of a computer screen. The roelofs effect describes a misperception that occurs if a persons midline and a target surrounding frame are offset, which results in a false localisation of the object. Thus the present study provides insight into the influence of a computer screen regarding this effect. Moreover, conclusions concerning the suitability of virtual reality in perceptual research are drawn. The results obtained by the virtual reality indicated a greater degree of perceptual distortion. Therefore the fixed frame of the computer screen can be assumed as an additional orientation.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Menschliche Informationsverarbeitung . . . . .	2
2.1.1	Theorie der zwei Pfade . . . . .	4
2.2	Der Roelofs Effekt . . . . .	9
2.3	Das Bridgeman Experiment . . . . .	9
2.4	Das Dassonville Experiment . . . . .	12
2.5	Das gemeinsame Experiment . . . . .	15
2.6	Virtuelle Realität . . . . .	17
2.6.1	Systeme der immersiven virtuellen Realität . . . . .	19
2.6.2	Anwendungsgebiete der virtuellen Realität . . . . .	20
2.7	Virtuelle Realität in der Psychologie . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Konzeptentwicklung</b>	<b>23</b>
3.1	Verwandte Konzepte . . . . .	23
3.2	Eigener Ansatz . . . . .	24
3.2.1	Erste Ideen . . . . .	24
3.2.2	Konzept . . . . .	25
3.2.3	Anforderungsliste . . . . .	25
3.2.4	Versuchsablauf . . . . .	27
3.2.5	Zielgruppe . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Realisierung</b>	<b>31</b>
4.1	Anwendungsablauf . . . . .	31
4.2	Die Trainingsphase . . . . .	32
4.3	Die Testphase . . . . .	33
4.4	Design . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Evaluation</b>	<b>36</b>
5.1	Hypothese . . . . .	36
5.2	Versuchsaufbau . . . . .	36
5.3	Versuchsdurchführung . . . . .	38
5.4	Versuchspersonen . . . . .	39
5.5	Ergebnis . . . . .	39
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>46</b>
6.1	Verbesserungen . . . . .	46
6.2	Vision . . . . .	47
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>48</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>51</b>

# 1 Einleitung

Virtuelle Realität (VR) entwickelt sich permanent weiter und bietet daher eine Vielzahl an Möglichkeiten in verschiedensten Anwendungsbereichen. Es werden zunehmend Hardware- sowie Softwarelösungen präsentiert, die vor Jahren nur in Filmen denkbar gewesen wären. Dadurch bietet diese Technologie enorme Möglichkeiten, Welten zu erschaffen und ebenso zu erleben, ohne diese in der Realität erzeugen zu müssen. Seitdem bezahlbare Versionen auf dem Markt erschienen sind, etablieren sich diese auch für den Normalverbraucher, wodurch sich vor allem Vorteile für die Unterhaltungsbranche bieten. Darüber hinaus ergeben sich auch für andere Bereiche der Industrie sowie der Forschung eine Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten. Ein Anwendungsbeispiel zeigt sich anhand der Bundeswehr, die mithilfe der virtuellen Realität nahezu realistische Flugsimulationen erzeugt oder Fallschirmsprünge nachstellt. Auch in der Medizin oder der Planung von Infrastrukturen kommt die virtuelle Realität zum Einsatz. Studien zeigen, dass Nutzer jedoch überwiegend die Spielbranche als Anwendungsgebiet der virtuellen Realität sehen. Dennoch bietet sich anderen Branchen eine Effizienzsteigerung durch Anwendung der Technologie, die in der Unterhaltungsindustrie nicht in dem Sinne gegeben ist. Besonders Aspekte der Wahrnehmungspsychologie lassen sich in diesem Zusammenhang untersuchen und könnten die Innovation der virtuellen Welt in Experimenten nutzbringend einsetzen [1].

Ziel dieser Arbeit ist es daher unter anderem zu zeigen, inwiefern sich virtuelle Umgebungen eignen psychologische Wahrnehmungsexperimente durchzuführen. Vor allem eine immersive virtuelle Realität mittels Head-Mounted-Display (HMD) bietet die Voraussetzungen, eine nahezu perfekt an ein Experiment angepasste Umgebung zu erzeugen. Dies wird anhand des Roelofs Effekt demonstriert, indem dieser in der virtuellen Realität sowie in einer realen Umgebung getestet wird. Der genannte Effekt beschreibt eine Fehlwahrnehmung, die auftritt, wenn die individuelle Körpermitte und ein Rahmen, der ein optisches Zielobjekt umfasst, verschoben zueinander auftreten, was zu einer Fehllokalisierung des Objekts führt. Die gewonnenen Ergebnisse sollen letztlich Aufschluss über die Ausprägung des Roelofs Effekts geben sowie infolgedessen die Unterschiede der genutzten Medien unterstreichen.

Zu Beginn wird aufgrund dessen ein umfassender Überblick über psychologische Grundlagen gegeben. Anschließend folgt eine fundamentale Erläuterung der genannten Technologie, auf deren Grundlage ein Konzept entwickelt wurde, um den Roelofs Effekt zu untersuchen. Anschließend wird die Realisierung der Anwendungen für die folgenden Experimente beleuchtet. Der abschließende Teil dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Versuchsdurchführung, deren Ergebnisse und dem daraus resultierenden Fazit.

## 2 Grundlagen

Im Folgenden werden zunächst sowohl Grundlagen der Psychologie, als auch der virtuellen Realität dargestellt. Dies umfasst in einem ersten Teil einerseits die visuelle Informationsverarbeitung des Menschen und andererseits Wahrnehmungseffekte, die entstehen können. Der zweite Teil hingegen gibt einen Einblick in die virtuelle Realität. Abschließend wird die Verbindung dieser beiden Themengebiete betrachtet.

### 2.1 Menschliche Informationsverarbeitung

Da der Mensch permanent einer Vielzahl von Reizen ausgesetzt ist, kommt es zu einer kontinuierlichen Einwirkung auf den menschlichen Organismus. Informationen können nun als Auswahl einer Menge an Reizen definiert werden. Diese Selektion wird durch Aufmerksamkeitsprozesse gesteuert. Während bei der Bottom-up-Verarbeitung ein Reiz für die automatische Auslösung von Prozessen verantwortlich ist, sind bei der Top-Down-Verarbeitung kognitive Modelle beteiligt. Wahrnehmung erfolgt demzufolge auch mithilfe von konstruierten Mustern, die durch Erlebnisse geformt werden. Der Mensch wird also durch sein gelerntes Wissen, wie auch persönliche Neigungen beeinflusst [2] [3].

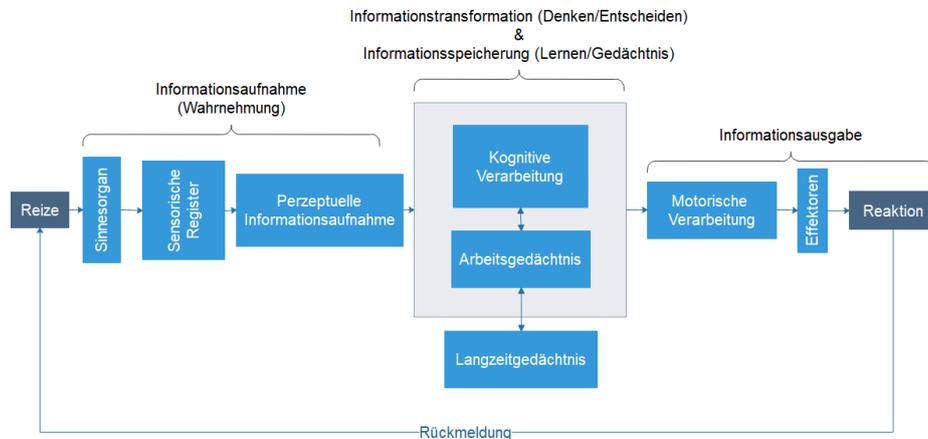
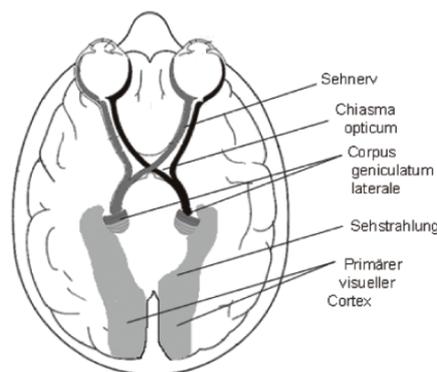


Abbildung 1: Informationsverarbeitung in Anlehnung an [4].

Abbildung 1 zeigt die Verarbeitung dieser Reize in ihren Grundzügen. Durch ein Sinnesorgan wird ein Stimulus aufgenommen. Dieser wird anschließend sensorisch registriert, falls er den Schwellwert des jeweiligen Sinnesorgans erreicht. Anschließend wird er wahrgenommen. Diese drei Schritte können als Informationsaufnahme beziehungsweise Wahrnehmung zusammengefasst werden. Nun folgt die Informationstransformation sowie Speicherung. Die aufgenommenen Informationen müssen kognitiv be-

wertet werden. Dieser Schritt zeichnet sich vor allem durch Entscheidungs- und Denkprozesse aus, die mithilfe der schon vorhandenen Informationen aus dem Langzeitgedächtnis getroffen werden. Die aktuellen Reizinformationen werden derweil im Arbeitsgedächtnis gespeichert. Abschließend erfolgt die Informationsausgabe, welche eine Rückmeldung bezüglich des Reizes darstellt. Dementsprechend findet eine motorische Verarbeitung der Ergebnisse aus dem vorangegangenen kognitiven Prozess statt, die in einer entsprechenden Reaktion resultiert [4]. Dieses Modell der Informationsverarbeitung wurde 1970 entwickelt und zeichnet sich vor allem durch serielle Abläufe aus. Es wurde davon ausgegangen, dass ein Prozess erst starten kann, sobald der vorangegangene beendet wurde. Mit der Zeit stellte man jedoch fest, dass kognitive Prozesse vielfach zu ein und demselben Zeitpunkt vorkommen können und entwickelte daraus den Begriff der parallelen Informationsverarbeitung [5].

Zusammenfassend dient Wahrnehmung dem Ziel, Handlungen an aktuelle Situationen anzupassen und diese planvoll auszuführen. Die Wahrnehmungspsychologie beschäftigt sich daher mit zwei Kernthemen. Es muss festgestellt werden, inwiefern Wahrnehmung und motorische Prozesse ineinander übergreifen und wie ein Abbild der Außenwelt geschaffen wird. Dazu ist zunächst ein Blick auf die menschliche Physiologie erforderlich. Abbildung 2 zeigt den Pfad der visuellen Wahrnehmung nach Eysenck und



**Abbildung 2:** Schema zur visuellen Reizverarbeitung [6].

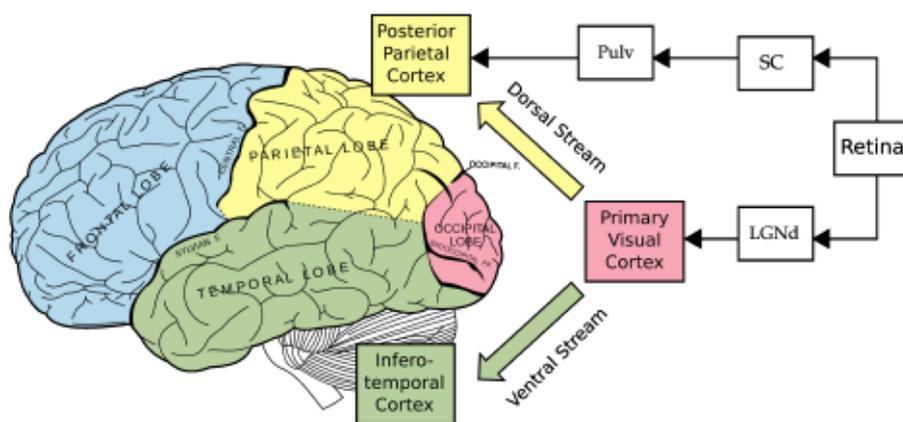
Keane [5]. Durch die Linse des Auges wird das Abbild der Umgebung auf die Netzhäute projiziert, auf der sich Rezeptoren befinden. Diese lassen sich in Stäbchen sowie Zapfen unterscheiden, deren Aufgabe in der Umwandlung von Lichtreizen in neuronale Signale besteht. In der Netzhaut sind diese mit den Ganglienzellen verschaltet, deren Axone die Sehnerven bilden. Diese führen zum *Chiasma Opticum*, der Stelle, an der sich die Sehnerven beider Augen kreuzen. Somit werden in der rechten Hirnhälfte die Informationen, die links des anvisierten Blickpunktes liegen und in der lin-

ken Hirnhälfte die Informationen rechts des Blickpunkts verarbeitet. Die Sehnerven führen zum *Corpus geniculatum laterale*, welcher durch weitere Verzweigungen der Axone in den *primären visuellen Cortex* führt [6].

Der Weg der visuellen Wahrnehmung lässt sich demzufolge in zwei Pfade unterteilen, die nach den Zelltypen des *Corpus geniculatum laterale* benannt wurden: Zum einen in den *parvozellulären* Pfad und zum anderen in den sogenannten *magnozellulären* Pfad. In den nachgeschalteten Hirnbereichen lässt sich diese Unterteilung fortführen. Hier unterscheidet man aufgrund ihrer Lokalisation den dorsalen und ventralen Pfad [5] [6].

### 2.1.1 Theorie der zwei Pfade

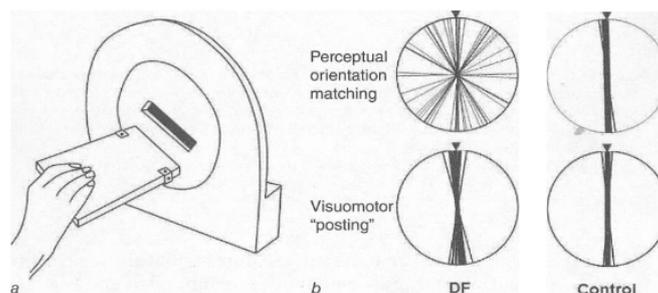
Durch die zuvor beschriebene Unterteilung in zwei Pfade, welche sich darüber hinaus durch unterschiedliche Grundfunktionen auszeichnen, folgten diverse Interpretationen seitens der kognitiven Psychologie. Die erste Interpretation des visuellen Wahrnehmungspfades erfolgte durch Ungerleider und Mishkin [7]. Sie bezeichneten den ventralen Pfad als den sogenannten Was-Pfad, der für die Wahrnehmung von Objekten zuständig ist. Den dorsalen Pfad, welcher als Wo-Pfad deklariert wurde, ordneten sie der räumlichen Wahrnehmung zu. Die Annahme über diese zwei Funktionsunterschiede wurde durch tierexperimentelle Studien belegt. In diesen wurden Affen mit Schädigungen in den jeweiligen Gehirnregionen Lernexperimenten unterzogen. In den Experimenten, die räumliche Wahrnehmung beinhalteten, schnitten Affen mit Gehirnläsionen im dorsalen Bereich deutlich schlechter ab, als gesunde Affen. Ebenso kam es bei Experimenten im Bezug auf Objektunterscheidungen zu Lerneinbußen bei Affen mit Schädigungen im ventralen Pfad des *primären visuellen Cortex* [7].



**Abbildung 3:** Pfade der visuellen Informationsverarbeitung nach Goodale und Milner [8].

Eine weiterführende Interpretation folgte 1955 durch Milner und Goodale. Diese führten die Auffassung von Ungerleider und Mishkin weiter aus und unterschieden die Pfade wie folgt: Die Wahrnehmung über den dorsalen Pfad soll für die Steuerung motorischer Handlungen verantwortlich sein, während der ventrale Pfad, verknüpft mit den kognitiven Netzwerken, eine detaillierte visuelle Repräsentation der Welt konstruiert. Diese soll zusätzlich als Hilfe für die Objekterkennung sowie die Erkennung und Einordnung von Ereignissen dienen. Abbildung 3 zeigt die beiden unterschiedlichen Pfade der Informationsverarbeitung, die vom *primären visuellen Cortex* aus getrennt voneinander verlaufen.

Erste Belege für diese Unterscheidung lieferte eine Studie mit der neurologischen Patientin D.F., die bezüglich ihrer visuellen Fähigkeiten getestet wurde. Die Patientin erlitt aufgrund eines Unfalls eine irreversible Schädigung im ventralen Pfad, welche zu Defiziten in der Objekterkennung führte. Sie konnte weder alltägliche Objekte, noch die Gesichter von Bekannten erkennen. Selbst einfache geometrische Grundformen bereiteten ihr Schwierigkeiten. Dennoch zeigten sich keine Beeinträchtigungen bei der Erkennung von Objektfarben oder deren Oberflächenstrukturen. Es ergaben sich demzufolge nur Schwierigkeiten mit Objektformen. Sollte sie auf Objekte der gleichen Form zeigen, absolvierte sie diese Aufgabe ohne größere Probleme. Ein weiterer Test bestärkte darüber hinaus die Theorie der zwei Pfade. Die Patientin D.F. wurde angewiesen eine Karte so zu halten, dass deren Drehwinkel einem Schlitz in einer drehbaren Scheibe entsprach. Bei dieser Aufgabe versagte die Patientin, während sie bei der Aufforderung die Karte in den Schlitz zu stecken keine Probleme aufwies. Abbildung 4 zeigt dieses Experiment sowie die Ergebnisse der Patientin



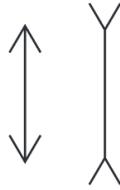
**Abbildung 4:** Unabhängigkeit der Handlung und bewussten Wahrnehmung im Fall der Patientin D.F. [8].

D.F. im Vergleich zu Kontrollpersonen. Es wird deutlich, dass die Patientin D.F. in der handlungsorientierten Aufgabe, die Karte in den Schlitz zu stecken, ähnliche Ergebnisse wie die Kontrollgruppe erzielte, in der wahrnehmungsorientierten Aufgabe jedoch deutlich schlechter abschnitt. Goodale und Milner folgerten daher, dass die konkrete Handlung im Gegensatz

zu der bewussten Wahrnehmung nicht beeinflusst wird. Darüber hinaus schlossen sie eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Pfade aus [9] [8].

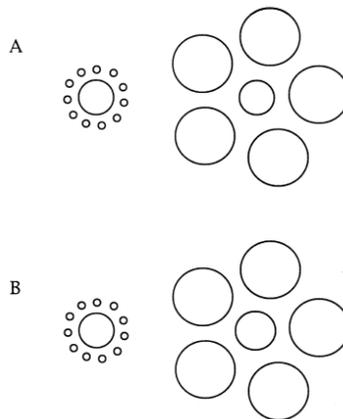
Im Gegensatz zur Untersuchung von Patienten mit Hirnschädigungen im dorsalen oder ventralen Pfad bestehen auch Experimente mit gesunden Probanden. Ein Selbstversuch des amerikanischen Psychologen G. Stratton im Jahre 1896 sollte die genannte Unabhängigkeit der zwei Pfade, auch Dissoziation genannt, ebenfalls demonstrieren. Sieben Tage lang trug er eine Konstruktion, die alles was er sah auf den Kopf stellte. So wurde sein Sichtfeld in der Horizontalen sowie in der Vertikalen gespiegelt. Nachts verband er seine Augen. Sein Ziel war es, herauszufinden, wie sein Gehirn auf diese neue Ansicht reagiert und somit auch zu verstehen wie auf ein Bild, welches verkehrt herum auf die Netzhaut projiziert wird, eine korrekte Wahrnehmung folgt. Während seines Experiments war es ihm anfangs nicht möglich ein Blatt zu beschriften und gleichzeitig auf dieses zu schauen. Auch in den motorischen Handlungen zeigten sich derartige Effekte. Wollte er beispielsweise nach einem Objekt greifen, bewegte er die falsche Hand. Am fünften Tag verschwanden die anfänglichen Orientierungsprobleme und er konnte normale Handlungen durchführen. Daraus schlussfolgerte er, dass ein umgekehrtes Bild für das wirkliche Sehen nicht notwendig ist. 1951 griffen T. Erismann und I. Kohler den Versuch erneut auf. Die Versuchspersonen trugen in diesem Experiment Umkehrbrillen mit einem Spiegelsystem, dass ebenfalls oben, unten, links und rechts miteinander vertauschte. Nach kurzer Zeit gelang es den Probanden, wieder Fahrrad sowie Ski zu fahren und die Welt nach ihren Angaben wieder als richtig herum wahrzunehmen. Anhand dieser Studien erfolgte die Erkenntnis, dass sich erst das Bewegungsverhalten anpasst und erst anschließend der Wahrnehmungseindruck normalisiert. Demnach ist das Sehen im Bezug auf eine Handlung offenbar von dem Sehen bezüglich der visuellen Wahrnehmung abzugrenzen [10].

Aufgrund der Theorie der zwei Pfade folgte eine Vielzahl an Experimenten. Hierbei betrachtete man vor allem optische Täuschungen, welche zu einer zuverlässigen Irreführung der visuellen Wahrnehmung führten. Bevorzugt wurden Illusionen mit geometrischen Größenunterschieden, um den Einfluss der visuellen Wahrnehmung auf motorische Handlungen zu untersuchen. Die Überblickstudie von N. Bruno und V. Franz [12] über mehrere Experimente mit solchen Illusionen zeigte jedoch, dass sich die zwei Pfade nicht gänzlich unabhängig voneinander betrachten lassen, so wie es Goodale und Milner annahmen. Eine Illusion, die die Theorie der zwei Pfade jedoch bestärkt, findet sich in Form der Müller-Lyer-Täuschung wieder. Abbildung 5 stellt diese dar, welche aus zwei einfachen Linien besteht, die jeweils durch zwei Winkel umschlossen werden. Fragt man nun nach der Linienlänge, nimmt der Betrachter einen Unterschied wahr. Die linke Linie erscheint ihm in diesem Zusammenhang fälschlicherweise länger als die rechte. Der Betrachter unterliegt also einer Verzerrung seiner be-



**Abbildung 5:** Müller-Lyer-Täuschung [11].

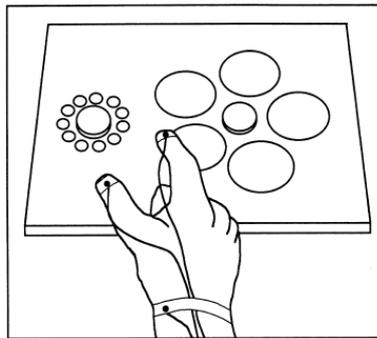
wussten Wahrnehmung. In Zeigeeexperimenten wiesen Probanden jedoch keine Beeinträchtigungen hinsichtlich ihrer motorischen Handlungen auf. Den Versuchspersonen wurde aufgetragen, nach der Mitte einer Figur zu greifen. Anschließend wurde der Abstand des gegriffenen Punktes zu der tatsächlichen Mitte berechnet. An dieser Stelle ergab sich keine Beeinflussung der motorischen Leistung durch die Täuschung. Der britische Psychologe und Neurowissenschaftler Richard Gregory erklärte das Phänomen aufgrund einer Fehlskalierung der Größenkonstanz. Er wies darauf hin, dass letztere üblicherweise anhand der Berücksichtigung von Entfernungen eine korrekte Wahrnehmung gewährleistet. Ist jedoch nur ein zweidimensionales Abbild gegeben, kommt es zu der oben genannten Fehlwahrnehmung [11].



**Abbildung 6:** Die Ebbinghaus-Illusion mit zwei verschiedenen Darstellungen A und B [13].

Die Ebbinghaus-Illusion stellt eine weitere optische Täuschung im Bereich der Theorie der zwei Pfade dar. Abbildung 6 zeigt zwei unterschiedliche Darstellungen dieser Illusion. Teil A präsentiert zwei Hauptkreise gleicher Größe umgeben von einer kreisförmigen Anordnung kleinerer beziehungsweise größerer Kreise. Im Falle der kleineren Kreise nimmt der Betrachter den Hauptkreis im Vergleich zu dem zweiten Kreis als deutlich

größer wahr. Teil B hingegen weist bei einer ähnlichen Darstellung einen bedeutsamen Unterschied auf. Hier wurde der rechte Hauptkreis bezüglich seiner Größe angepasst, sodass er nun als gleich groß wahrgenommen wird. In Wirklichkeit unterscheidet er sich allerdings in der Größe von dem anderen Kreis. Die visuelle Wahrnehmung wird demnach durch die Ansammlung der Umgebungskreise manipuliert. Um Rückschlüsse auf die Wahrnehmung im Dienste motorischer Handlungen ziehen zu können, entwickelten Aglioti et al. (1955) eine dreidimensionale Variante der Ebbinghaus-Täuschung. Mithilfe von Spielsteinen und aufgemalten Umgebungskreisen wurde den Probanden alternierend eine der zwei Darstellungen aus Abbildung 6 präsentiert. Die Versuchspersonen sollten anschließend einen Jeton greifen. Bei einer Wahrnehmung von gleich großen Steinen wurde der rechte Spielstein als Greifziel festgelegt. War die Person dagegen der Annahme, dass es sich um unterschiedlich große Jetons handelt, sollte sie den linken Stein greifen. Abbildung 7 stellt das Greifex-



**Abbildung 7:** Experiment bezüglich der motorischen Wahrnehmung anhand der Ebbinghaus Illusion [13].

periment dar. Da die Grifföffnung während des Experimentes getrackt wurde, konnte festgestellt werden, dass sich die visuelle Wahrnehmung nicht mit der motorischen deckt. In Versuchssituationen, in denen die Spielsteine als gleich groß wahrgenommen wurden und der Proband demnach den rechten Spielstein greifen sollte, öffnete sich die Greifhand weiter als bei dem kleineren Stein. Dies deutet auf eine Abgrenzung von Wahrnehmungsurteil und Greifkalibrierung hin.

Im Hinblick auf die vorangegangene Theorie kann davon ausgegangen werden, dass die Größeneinschätzung eines Objektes in Bezug auf seine Umgebung im ventralen System geschieht. Die Greifbewegung dagegen unterliegt der im dorsalen Pfad kodierten Objektgröße relativ zum Betrachter [13]. Weitere Illusionen, die ähnlichen Ergebnisse aufweisen, sind die Ponzo-Illusion, die Rod-and-Frame-Illusion sowie der Roelofs Effekt. Letzterer wird aufgrund seiner Wichtigkeit für diese Arbeit im Folgenden genauer erläutert.

## 2.2 Der Roelofs Effekt

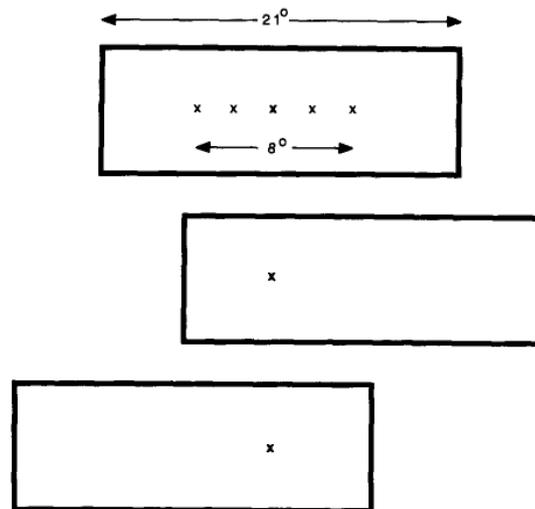
Der Physiker C.O. Roelofs entdeckte 1935 einen Wahrnehmungseffekt, welcher bei der Betrachtung zur Seite verschobener Rahmen auftritt. Wird ein rechteckiger Rahmen von der Körpermitte aus nach links verschoben, unterschätzt der Betrachter diese Verschiebung und nimmt ihn als weiter rechts wahr. Dies tritt gleichermaßen bei einer Rahmenverschiebung nach rechts ein [14]. Der Effekt wurde 1997 von Bridgeman, Peery, und Anand [18] zum induzierten Roelofs Effekt weiterentwickelt. Sie gingen einen Schritt weiter und fügten der Darstellung ein Objekt hinzu, welches vom vorhandenen Rahmen umschlossen dargestellt wurde. Das Augenmerk der von Bridgeman entwickelten Experimente lag auf der Gewinnung von Messdaten bezüglich der Fehlwahrnehmung des Objektes. Dies sollte Aufschluss darüber geben, warum ein Reiz unterschiedliche Auswirkungen auf motorische Reaktionen und visuelle Wahrnehmung haben kann [15]. Seine Experimente wurden einige Zeit später von Dassonville [14] reproduziert, der eine andere Annahme über das Zustandekommen des Effektes formulierte. Im Weiteren wird daher zunächst der induzierte Roelofs Effekt nach Bridgeman und anschließend die Reproduktion Dassonvilles erörtert.

## 2.3 Das Bridgeman Experiment

Ähnlich der Theorie von Goodale und Milner ging Bridgeman davon aus, dass die visuelle Reizverarbeitung an mehreren Orten vorgenommen wird, welche die aufgenommenen Informationen auf verschiedene Arten kodieren. Dabei stützte er seine Annahme auf den physiologischen Erkenntnissen von Van Essen et. al. [16], die das visuelle System als Zusammensetzung mehrerer Areale betrachteten. Ausgehend von der Unterscheidung visueller Wahrnehmung und visuell bedingter Handlungen, benannte Bridgeman zwei separierbare funktionale Systeme, die er als Karten bezeichnet. Eine dieser Karten soll für die Bearbeitung aller visuellen Informationen sowie deren Beurteilung verantwortlich sein, während die andere Karte Informationen bereitstellt, die für die Handlungsplanung infolge eines Reizes benötigt werden. Darüber hinaus schloss er, im Gegensatz zu Goodale und Milner, nicht die Interaktion beider Karten aus, stellte jedoch klar, dass beide parallel und unabhängig bezüglich der Wahrnehmung funktionieren. So kann die visuelle Wahrnehmung durch Illusionen beeinflusst werden, während das räumliche Verhalten unbeeinflusst bleibt.

Des weiteren ergaben psychologische Studien, dass sich Menschen über Verschiebungen in der Welt nicht bewusst sind, während sie die Augen bewegen. Unter der Voraussetzung, dass die räumlichen Informationen aufrecht erhalten werden, kommt es dennoch zu keiner Desorientierung. Dies gilt als früher Hinweis darauf, dass kognitive Systeme von motorischen Systemen separierbar sind. Bridgeman kritisierte vorangegangene Experi-

mente, die Aufschluss über die beschriebene Dissoziation geben sollten. Alle diese Experimente beinhalteten ihm zufolge Bewegungen oder Verschiebungen seitens der Probanden und ließen die Möglichkeit, dass die Dissoziation in diesem Fall mit dem motorischen System zusammenhängen könnte außer Acht.



**Abbildung 8:** Anordnung der Rahmen sowie der Objekte bei Experimenten des induzierten Roelofs Effekts nach Bridgeman [17].

In seinen ersten Experimenten mit dem originalen Roelofs Effekt untersuchte er die Kodierung eines Reizes für visuelle Wahrnehmung sowie motorische Handlungen ohne Bewegung der Versuchsperson. Er wollte zeigen, dass diese Kodierung bei ein und dem selben Reiz unterschiedlich erfolgt. Zusätzlich zu der originalen Darstellung des Roelofs Effekts fügte er seiner Szenerie ein Objekt in Form eines „x“ hinzu. Dieses wurden in einem Abstand von  $2^\circ$  von der Mitte aus verteilt. Der Rahmen wurde asymmetrisch im Blickfeld des Betrachters dargestellt ( $5^\circ$  links oder rechts der Mitte), da die Illusion auch eintritt wenn keine der Rahmenkanten zentriert vor dem Betrachter erscheint. Dies führte zu einer Fehlwahrnehmung der Objektposition entgegengesetzt der Positionsverschiebung des Rahmens. Bridgeman erklärte, dass die Probanden die Rahmenposition fehl einschätzen und dieser eine Illusion der tatsächlichen Objektposition induziert. Dementsprechend erweiterte er die Bezeichnung des Roelofs Effekt zum induzierten Roelofs Effekt. Die Anordnung des Stimulus wird in Abbildung 8 gezeigt. Anhand dieser wird deutlich, dass die tatsächlichen Objektpositionen bei einer Rahmenverschiebung unverändert bleiben. Abgebildet werden drei Rahmenpositionen. Der oberste Rahmen präsentiert an dieser Stelle die mittlere Position und zeigt zudem alle fünf Objektposi-

tionen, die ein Objekt innerhalb des Rahmens einnehmen kann. Während des Experiments wird dem Probanden jeweils ein Objekt an einer der fünf Positionen sowie nur ein Rahmen an einer der drei möglichen Positionen angezeigt [17]. Die Darstellung im Ganzen erfolgte auf einem zylindrischen Bildschirm, der die Versuchspersonen zu Hälfte umgab. Zudem wurde diesen ein Pointer zur Verfügung gestellt. So konnten motorische Antworten mittels eines strombasierten Verfahrens mit der wirklichen Objektposition abgeglichen werden. Die kognitiven Antworten erfolgten in Form eines Tastendrucks. Die Versuchspersonen sollten dementsprechend eine Taste von eins bis fünf auf einem vor sich platzierten Tastenfeld auswählen und betätigen. Zudem fungierte eine Entertaste als Bestätigung, wenn sich der Pointer an der richtigen Stelle befand. Bridgeman testete in seinem ersten Experiment zehn Personen, die ihn selbst einschlossen und keinerlei visuelle Beeinträchtigungen aufwiesen. Diese wurden im ersten Schritt des Experiments einer sogenannten Trainingsphase unterzogen. Hier wurden die möglichen Objektpositionen sequentiell dargestellt. An jeder Stelle wurde das Objekt für eine Sekunde eingeblendet, woraufhin für eine halbe Sekunde ein leerer Bildschirm folgte. Diese Prozedur wurde dreimal wiederholt, bevor ein Objekt zufallsbasiert an einer der Positionen angezeigt wurde. Die Probanden sollten nun mittels Tastendruck die Position des eingeblendeten Objekts bewerten. Nach fünf richtig wahrgenommenen Angaben folgte das motorische Training, in dem die Position mit Hilfe des Pointers angegeben werden sollte. Anschließend ging das Experiment in eine Testphase über. Durch die Kombination von drei Rahmenpositionen, fünf Objektpositionen und zwei unterschiedlichen Methoden der Positionsangabe wurde der Proband mit insgesamt 30 Ausführungen pro Durchgang konfrontiert. Diese wurden in ihrer Reihenfolge zufällig ausgewählt. Die Reihenfolge der Positionsangabemethode erfolgte dementsprechend ebenso zufällig und nicht abwechselnd. Um Rückschlüsse auf die interne gespeicherte Reizdarstellung ziehen zu können, wurde nach jedem Szenario ein leerer Bildschirm angezeigt, der Zeit für die Positionsangabe geben sollte. Somit wurde ausgeschlossen, dass es sich um eine reine Wahrnehmungsaufgabe handelt. Jeder Versuchsdurchgang wurde fünf mal wiederholt, was zu einer Gesamtzahl von 150 Versuchen führte. Um die Art der Antwortmethode zu signalisieren, wurden verschiedene Töne abgespielt. Das Ergebnis zeigte, dass die Probanden das Objekt im Mittel  $2^\circ$  in die entgegengesetzte Position des Rahmens verschoben wahrnahmen, welches einer Verschiebung um eine Position entspricht. Bridgeman wiederholte das Experiment anschließend mit einer Verzögerung zwischen der Reizdarstellung und der Urteilsabgabe. Dadurch wollte er herausfinden, ob sich die Wirkung des Effekts nach einer Zeit verändert oder konstant bleibt. Die Verzögerung reichte bei diesen Experimenten von einer bis zu fünf Sekunden. Während sich bei einer Sekunde noch keine merklichen Unterschiede abzeichneten, wurde der Effekt nach zunehmender Verzögerung

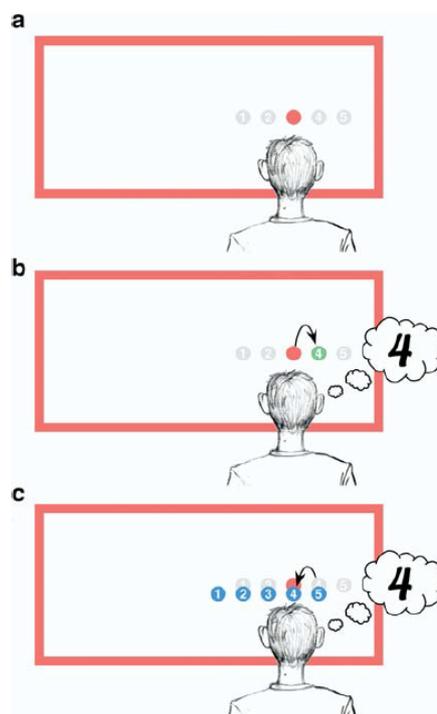
auch in der motorischen Handlung sichtbar. Bei der maximalen Verzögerung wurde die motorische Wahrnehmung ebenso stark wie die kognitive Wahrnehmung beeinflusst. Die Verzögerung hatte jedoch keine weiteren Auswirkungen auf die Urteilsabgabe per Tastendruck [18]. Aus den Ergebnissen schlussfolgerte Bridgeman letztendlich die Bestätigung seiner Annahme der zwei Karten. Jeder Mensch besitzt demnach eine kognitive sowie motorische Karte des Bildraums. Wird eine Person gefragt, was sie sieht, kommt die kognitive Karte zum Einsatz, die die visuell aufgenommenen Umgebungsinformationen beinhaltet. Zusätzlich weist diese Karte eine hohe Sensibilität gegenüber kleineren Objektbewegungen auf, indem sie Bewegungen und Positionen relativ betrachtet. Die Einschätzung der Objektposition zu dem Individuum selbst geht durch diese Sensibilität jedoch verloren. Die motorische Karte dagegen lenkt die visuell bedingten Handlungen. Bridgeman äußert jedoch, dass die enthaltenen Informationen dieser Karte nicht unbedingt für die Wahrnehmung zugänglich seien. Zudem schreibt er dieser eine geringere Sensibilität bezüglich Objektbewegungen sowie eine niedrigere Genauigkeit zu. Dies erklärt, wieso motorische Handlungen weniger leicht durch Illusionen beeinflusst werden. Die Ergebnisse seines zweiten Experiments zeigen allerdings auch, dass diese Genauigkeit nur von kurzer Dauer ist. Die motorische Karte besitzt demnach einen kleineren Speicher und stellt eine Sammlung visueller Informationen des Hier und Jetzt dar. Informationen werden in der kognitiven Karte über einen längeren Zeitraum gespeichert. Soll nun eine motorische Handlung auf einen Reiz erfolgen, der nicht länger präsent ist, muss die motorische Karte räumliche Informationen aus der kognitiven Karte entnehmen. Da diese Informationen illusionsbedingt verfälscht sind, unterliegt die motorische Handlung ebenfalls der Täuschung [17].

## 2.4 Das Dassonville Experiment

Entgegen der Annahme von Bridgeman formulierten Paul Dassonville und Jagdeep Kaur Bala [19] eine andere Vermutung bezüglich des Roelofs Effekts. Sie gingen von einer vielmehr mechanischen Erklärung aus, in der die fehleingeschätzte Objektposition aus einer Verschiebung der erinnerten Positionen resultiert. So soll die verschobene Rahmenposition zu einer Neuorientierung des visuellen Systems und demnach zur Bildung einer neuen Mitte des Betrachters führen. Infolgedessen wird die visuelle Wahrnehmung getäuscht, während die motorische Wahrnehmung unbeeinflusst bleibt, da der Mensch an dieser Stelle von der individuellen Körpermitte aus agiert.

Abbildung 9 stellt die zuvor genannten Erklärungsansätze am Beispiel einer linken Rahmenverschiebung dar. Teil a zeigt dabei die Ausgangslage des Experiments mit den tatsächlichen Objektpositionen. Im Mittelteil der Abbildung wird die Erklärung nach Bridgeman deutlich. Hier nimmt

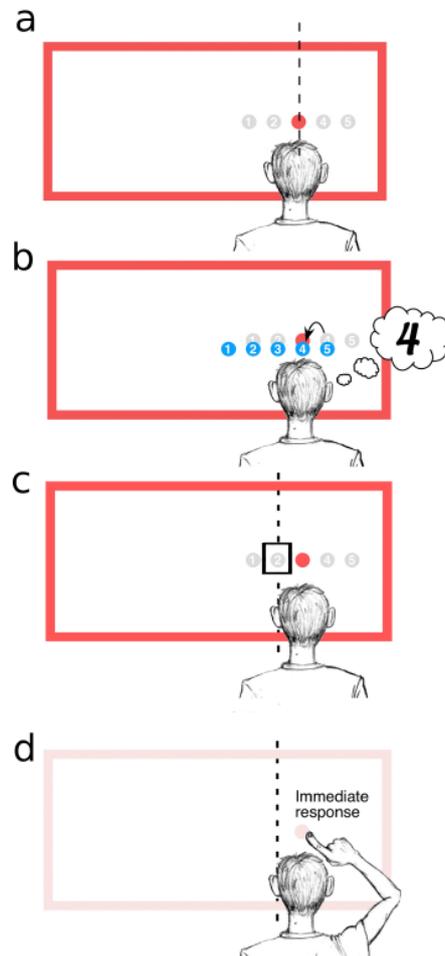
der Betrachter eine Verschiebung entgegen des Rahmens wahr um diesen zu zentrieren. Im unteren Teil des Bildes wird der Ansatz nach Dassonville und Bala präsentiert. Es erfolgt eine Orientierung der Körpermitte am verschobenen Rahmen, welche zu einer fehlgeleiteten Erinnerung der Objektpositionen führt. So nimmt der Betrachter das Objekt zwar an der richtigen Stelle wahr, ordnet diesem aber eine falsche Objektposition zu. Diese Annahme resultiert in derselben fehlerhaften Positionsangabe wie auch bei Bridgemans Erklärungsansatz. Dem Objekt an Position drei wird demnach die Position vier zugeschrieben. Um die Hypothese der verschobe-



**Abbildung 9:** Vergleich der verschiedenen Erklärungsansätze bezüglich des Roelofs Effekts [19].

nen Körpermitte zu bestätigen, replizierten Dassonville und Bala zunächst Bridgemans Versuche. In diesen mussten Probanden vorab die Objektpositionen in einer Trainingsphase lernen. Anschließend absolvierten sie die erste Testphase zur Überprüfung der visuellen Wahrnehmung. Hier wurde ebenfalls eine Urteilsangabe hinsichtlich der Objektposition verlangt. Im Unterschied zu den vorangegangenen Experimenten befanden sich die Versuchspersonen jedoch in einem völlig abgedunkelten Raum, um keinerlei Orientierungshilfen zu schaffen. Im zweiten Teil der Testphase wurden die Probanden angewiesen, anstelle einer Zeigebewegung eine Augenbewegung zu der Objektposition zu vollführen. Diese erbrachte ebenfalls

das Ergebnis, dass unmittelbar auf den Reiz folgende Handlungen unbeeinflusst bleiben. Bei einer Pause von vier Sekunden zeigte sich der Effekt im geringen, aber aussagekräftigen Maße. Ein anschließender Test sollte nun die oben genannte Hypothese verifizieren. Daher wurde den Versuchspersonen in jeder Ausführung des Experiments ein Rahmen an einer der drei möglichen Positionen gezeigt. Ein erzeugtes Geräusch signalisierte den Probanden daraufhin, dass sie ihre Augen zu einer der zuvor gelernten Objektpositionen bewegen sollten. Der Annahme folgend, dass sich die erinnerten Objektpositionen in Richtung des Rahmens verschieben, würde in diesem Fall auch die Augenbewegung zu einer dieser Positionen beeinflusst werden. Hier ergab sich eine Verschiebung der Objektposition von  $-1.61^\circ \pm 0.32^\circ$ . Da die Versuchspersonen die erinnerte Position in Richtung des Rahmens und, entgegen Bridgemans Annahme, nicht entgegengesetzt der Rahmenrichtung wahrnahmen, bezeichneten Dasonville und Bala ihre Erkenntnis auch als *inversen Roelofs Effekt für erinnerten Raum*. Damit konnte eine Täuschung der Wahrnehmung ausgeschlossen werden. Vielmehr unterliegt der Betrachter einer Verzerrung seiner Erinnerung an die möglichen Positionen. In einem weiteren Experiment bei völliger Dunkelheit sollte diese Schlussfolgerung genauer untersucht werden. Um Aufschluss über die Orientierung einer Versuchsperson zu geben, wurde dieser nach dem Erlernen der Objektpositionen nur ein Rahmen angezeigt. Der Proband wurde angewiesen, ausschließlich geradeaus zu schauen. Daraus ergab sich, dass die Orientierung von der Rahmenverschiebung abhängig ist. Wurde ein mittiger Rahmen angezeigt, schaute die Versuchsperson exakt geradeaus. Bei einer Verschiebung des Rahmens nach links oder rechts verschob sich auch die Orientierung der Person in diese Richtung. Die Verschiebung der Körpermitte äußerte sich mit  $-1.08^\circ \pm 0.14^\circ$ . Als Ursache dafür vermuteten Dasonville und Bala die Abwesenheit von Orientierungshilfen im Raum, anhand derer Menschen ihre Mittellinie selbst einschätzen können. In völliger Dunkelheit und nur anhand des Rahmens erfolgt dann eine Fehleinschätzung der eigenen Körpermitte. Alle räumlichen Informationen resultieren demnach ausschließlich aus der Rahmenposition sowie der eigenen Position im Raum, was eine unbewusste Projektion der Körpermitte auf den Rahmen zur Folge hat. Diese Erkenntnis dient zudem zur Erklärung der nicht beeinflussten motorischen Handlung. Abbildung 10 a zeigt die tatsächliche Körpermitte der Person an, der Rahmen erscheint mit einer Verschiebung nach links. Daher wird, wie schon im Vorangegangenen erklärt, das Objekt als weiter rechts wahrgenommen. In diesem Beispiel würde die Versuchsperson, aufgrund einer Verschiebung der eigenen Mittellinie durch den verschobenen Rahmen, das Objekt an Position vier anstelle von Position drei lokalisieren (Abbildung 10 b). Die motorische Handlung dagegen führt zu einer korrekten Positionsangabe rechts der verzerrten Mittellinie. Abbildung 10 c deutet den eigentlich zu erwartenden Fehler an. Demzufolge müsste der Betrachter auf Position zwei zei-



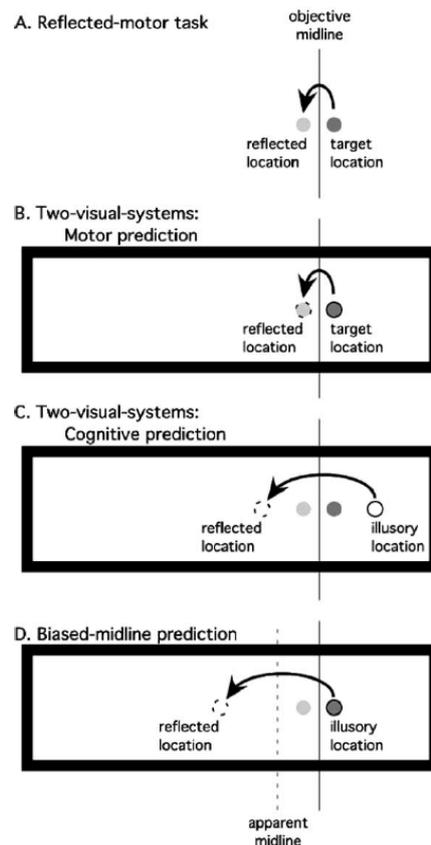
**Abbildung 10:** Motorische und visuelle Wahrnehmung der Objektposition nach Dassonville und Bala [19].

gen, welche als Position drei wahrgenommen wird. Der visuelle Wahrnehmungsfehler neutralisiert jedoch den Fehler in der motorischen Wahrnehmung, was wiederum zu einer korrekt gezeigten Position führt [19].

## 2.5 Das gemeinsame Experiment

In einem gemeinsamen Experiment [20] wollten Bridgeman, als Befürworter der Theorie der zwei Pfade, sowie Dassonville und Bala, die ihrerseits von einer mechanischen Erklärung ausgingen, den wirklichen Grund für das Auftreten des Roelofs Effekts herausfinden. Dieses sogenannte „Killerexperiment“ sollte nun zeigen, welche der beiden Theorien für den Roelofs Effekt verantwortlich ist. Der Proband wurde in diesem Versuch angewiesen, die gespiegelte Objektposition bezüglich seiner Körpermitte anzuge-

ben beziehungsweise zu zeigen. Abbildung 11 A veranschaulicht diese Aufgabe. Die Linie beschreibt an dieser Stelle die egozentrische Mittellinie des Betrachters. Erscheint das Objekt rechts von dieser Linie soll die Versuchsperson den gespiegelten Punkt angeben, der sich in diesem Beispiel links der Mittellinie befindet. Abbildung 11 B und C zeigen darüber hinaus eine



**Abbildung 11:** Motorische und visuelle Wahrnehmung der Objektposition nach Dassonville und Bala [20].

Vorhersage der Positionsangabe basierend auf der Theorie der zwei Pfade. Demnach wird erwartet, dass die motorische Handlung auch in diesem Experiment nicht getäuscht wird. Die Versuchspersonen müsste daher problemlos auf die gespiegelte Position des Objektes zeigen können. Bei der kognitiven Urteilsangabe erfolgt die zuvor erläuterte Verschiebung der Objektposition nach rechts. Dies resultiert in einer gespiegelten Positionsangabe links der Mittellinie. Im Gegensatz dazu zeigt Abbildung 11 D die erwartete, gespiegelte Objektposition nach Annahme der verschobenen Körpermitte. Verschiebt sich diese, so liegt die Position des gespiegelten Punktes doppelt so weit links wie laut der Annahme von Bridgeman. Das Experiment wurde in völliger Dunkelheit vor einem flachen Bildschirm durchge-

führt. Zudem wurde die motorische Aufgabe beider vorangegangenen Experimente verwendet. So sollten die Probanden die Objektpositionen zeigen oder durch Augenbewegung fokussieren.

Die Ergebnisse des „Killereperiment“ traten erwartungsgemäß ein. Folglich wurde die visuell bedingte Handlung in Form von Augen- oder Zeigebewegung nicht beeinflusst. Die visuelle Wahrnehmung dagegen wies einen doppelt so hohen Fehler in die gespiegelte Richtung auf. Dementsprechend wurden die prognostizierten, gespiegelten Objektpositionen nach der Theorie der verschobenen Mittellinie angegeben. Daraus folgte die Erkenntnis, dass sich der gezeigte Effekt durch die Theorie von Dassonville und Bala erklären lässt ohne die Theorie der zwei Pfade heranziehen zu müssen. Dennoch wollten sie diese Theorie nicht völlig verwerfen, betonten jedoch, dass der Roelofs Effekt keinen eindeutigen Beweis für Bridgemans Annahme der zwei Pfade darstellt [20].

## 2.6 Virtuelle Realität

Da virtuelle Realität in dieser Arbeit ein Kernthema verkörpert, wird sie im Folgenden genauer betrachtet. Wie G.Strattons Versuch mit einer Umkehrbrille demonstrierte, besteht kein fester Zusammenhang zwischen Realität und visueller Wahrnehmung. Infolgedessen lässt sich die Wahrnehmung der Realität durch künstliche Reize manipulieren. So kann ein realer Reiz durch Objekte sowie auch ein künstlich erzeugter Reiz eine ähnliche Wahrnehmung erzeugen. Dies führt zu einem Trugschluss, der den Menschen denken lässt, dass ein Objekt in der Realität vorhanden sei. Ein Beispiel dafür zeigt sich in einfachsten Objektabbildungen [21]. Abbildung 12 zeigt das berühmte Ölgemälde des Surrealisten René Magritte mit dem Titel „Ceci n'est pas une pipe.“ (*Dies ist keine Pfeife.*). Der Künstler zeigt mit diesem Werk, dass das, was der Mensch sieht keine Pfeife in der Realität darstellt, sondern nur ein Abbild dieser ist. Der Betrachter nimmt jedoch das Abbild des Objekts sowie das wahrhaftige Objekt gleichermaßen wahr. Ein Begriff, der diese Gegebenheit ebenfalls beschreibt, findet sich in dem Wort *virtuell* wieder. Virtuelle Dinge sind demnach nicht physisch in der Realität wiederzufinden, dennoch aber in ihrer Wirkung und Funktionalität gleichermaßen vorhanden [21].

Wenngleich noch nicht unter dem Begriff der virtuellen Realität, wurde bereits 1956 das erste System zur Darstellung von virtuellen Umgebungen von Morton Heilig entworfen. In den folgenden Jahren erschienen ähnliche Systeme, die jedoch aufgrund von zu geringer Rechenleistung, zu niedriger Auflösung oder zu hohen Entwicklungskosten scheiterten. Der Begriff *virtuellen Realität* erschien zum ersten Mal 1982 in dem Roman „The Judas Mandala“ von Damien Francis Broderick. Das von William Gibson geschriebene Werk „Neuromancer“ führte darüber hinaus den Begriff *Cyberspace* ein, welcher als Synonym für virtuelle Realität gilt. 1989 beschrieb der



**Abbildung 12:** René Magritte, Der Verrat der Bilder 1928-1929 [22].

Zukunftsforscher Jaron Lanier den Begriff der virtuellen Realität als „computergenerierte Umgebung, die die verschiedenen Sinne eines Nutzers stimuliert und Interaktionen erlaubt, wenn möglich in Echtzeit“ [23].

Demzufolge lassen sich folgende vier Kernelemente der virtuellen Realität bilden:

**1. Virtuelle Welt**

Eine virtuelle Welt beschreibt einen imaginären Raum, der in einem virtuellen System, aber auch außerhalb von diesem vorkommen kann. So stellen beispielsweise einige Filme oder Theaterstücke ebenfalls solche Welten dar. Darüber hinaus können diese auch lediglich als Vorstellung existieren. In virtuellen Systemen setzt sich die Welt aus computergenerierten Objekten zusammen.

**2. Immersion**

Der Begriff der Immersion beschreibt das Gefühl eines Menschen, mental in virtuelle Welten einzutauchen. Durch künstliche Stimuli kann erreicht werden, dass das Bewusstsein des Menschen völlig in den Hintergrund rückt. Vollkommene Immersion wird hierbei als Präsenz bezeichnet, die die virtuelle Welt als real erscheinen lässt.

**3. Sensorische Rückmeldung**

Der Mensch findet sich in der virtuellen Welt wieder. Dies bedeutet, er nimmt sich als Teil der erzeugten Welt wahr, die mit ihren künstlichen Reizen auf seinen Organismus einwirkt. Eine sensorische Rückmeldung erfährt er dementsprechend allein durch seine Position und Orientierung in der virtuellen Realität. Diese wird mithilfe von Trackingverfahren ermittelt.

**4. Interaktion**

Um die Authentizität der virtuellen Welt zu bewahren, muss die Interaktion des Nutzers gegeben sein. Das System muss folglich auf Aktionen des Anwenders reagieren, um diesem das Gefühl zu vermitteln, in die Welt integriert zu sein und nicht nur als Beobachter zu

existieren. Die meisten virtuellen Umgebungen bieten daher die direkte Interaktion mit Objekten, die beispielsweise gegriffen werden können.

Dementsprechend fungiert die virtuelle Realität als ein Medium, welches sich aus den vorangegangenen Komponenten zusammensetzt. Es wird eine computergenerierte Welt geboten, in der Position, Orientierung sowie Aktionen des Benutzers vom System aufgenommen werden. Infolgedessen werden dem Organismus Rückmeldungen in Form künstlicher Reize geliefert. Dem Anwender wird das Gefühl vermittelt, mental in die virtuelle Umgebung eingebunden zu sein [24].

### 2.6.1 Systeme der immersiven virtuellen Realität

Um dem Benutzer die zuvor genannten Hauptmerkmale einer Anwendung in der virtuellen Realität zu ermöglichen, muss ein solches System allen Anforderungen gerecht werden. Das System muss demnach in Echtzeit auf die Interaktion des Nutzers mit der virtuellen Welt reagieren um das Gefühl der Immersion aufrecht zu erhalten. Abbildung 13 zeigt ein solches System mit seinen Hauptbestandteilen. Ein leistungsstarker Computer bildet die zentrale Einheit des Systems. Grundlegende Komponenten sind hier ein Programm sowie eine Datenbank, die Informationen der virtuellen Welt beinhaltet. Durch Peripheriegeräte, wie beispielsweise ein HMD, wird dem Nutzer die visuelle Wahrnehmung der virtuellen Welt ermöglicht. Diese Geräte sind mit Sensoren ausgestattet, welche die Kommunikation mit dem Computer gewährleisten. So können Position und Aktionen des Nutzers übermittelt werden, um anschließend in Echtzeit auf diese Steuerbefehle reagieren zu können. Das erwähnte HMD stellt eines der ge-

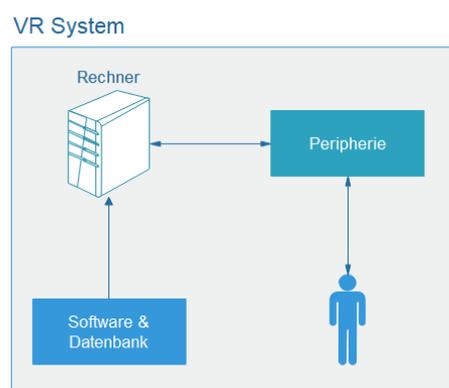


Abbildung 13: System der virtuellen Realität.

häufigsten Peripheriegeräte dar, um ganzheitlich in virtuelle Welten einzutauchen. Es ermöglicht visuelle Wahrnehmung, die dem Menschen als wich-

tigste Informationsaufnahmequelle dient, da ca. 70 % der Sinneszellen dem Sehen zuzuschreiben sind. Durch das geschlossene System wird das Sichtfeld des Benutzers von der Außenwelt vollständig abgegrenzt, sodass im Bezug auf die visuelle Wahrnehmung eine hohe Immersion gewährleistet werden kann. Durch die sogenannte Stereoskopie erlebt der Benutzer das Geschehen in einer dreidimensionalen Umgebung. Dabei werden für das linke und rechte Auge jeweils zweidimensionale Bilder aus unterschiedlichen Perspektiven gezeigt [25].

Bekannte HMD Geräte finden sich unter anderem in der *Oculus Rift*, entwickelt von Oculus VR und der *Vive* von HTC. Solche leistungsstarke Geräte zeichnen sich primär durch ihre hohe Bildwiederholungsrate sowie Auflösung aus. Dadurch werden Gleichgewichtsstörungen und Übelkeit seitens des Nutzers vermieden. Darüber hinaus werden HMDs meist mit zusätzlicher Peripherie ausgestattet. Kopfhörer, Trackingsysteme und Controller erweitern das System der virtuellen Realität [26]. Haptische Endgeräte, beispielsweise in Form von Datenhandschuhen werden in dieser Arbeit nicht weiter erläutert, da ausschließlich mit der *HTC Vive* gearbeitet wurde. Diese bringt zwei Controller sowie ein Trackingsystem mit, welches die Position des Benutzers erfasst. Abbildung 14 zeigt die *Vive* mit ihrer weiteren Peripherie.



Abbildung 14: *HTC Vive* mit zwei Controllern und Trackingsystem <sup>1</sup>.

## 2.6.2 Anwendungsgebiete der virtuellen Realität

Die Anwendungsgebiete virtuell basierter Simulationen zeigen eine große Bandbreite an Möglichkeiten. So sind Systeme der virtuellen Realität unter anderem in Medizin, Architektur, Telekommunikation, Trainingsbereichen und insbesondere in der Unterhaltungsbranche zu finden. Um einen kurzen und prägnanten Überblick der Anwendungsfälle zu geben, werden diese im Folgenden zusammengefasst [27]:

### 1. Darstellungsanpassung von Strukturen

Strukturen in unserer Umgebung können dreidimensional rekonstruiert und in ihrer Auflösung verändert werden. So bietet die virtuelle

<sup>1</sup><https://www.vive.com/de/product/>

Realität die Möglichkeit, Molekularmodelle oder geologische Strukturen zu untersuchen.

## 2. **Simulation von Umgebungen**

Geplante Umgebungen, die noch nicht erschaffen wurden, können so simuliert werden. Beispiele dafür finden sich in der Automobilbranche oder in der Architektur. Bevor man Planungen in die Realität umsetzt, können diese virtuell erzeugt und untersucht werden. Vorteile liegen hier vor allem in der Kostenersparnis.

## 3. **Simulation von Abläufen**

Ebenso ist eine Simulation von Abläufen möglich, die der Einübung von Verhaltensweisen in einer möglichst realitätsnahen Umgebung dient. Anhand dessen können Gefahren durch Handlungsfehler im Training umgangen werden. Ein Beispiel findet sich in Fahr- oder Flugsimulatoren wieder.

## 4. **Rekonstruktion von Strukturen**

Auch vorhandene dreidimensionale Objekte oder Strukturen lassen sich mittels virtueller Realität darstellen. In der Medizin können somit Organe rekonstruiert werden.

## 5. **Rekonstruktion von Verhaltensweisen**

Ein weiterer Vorteil liegt in der Rekonstruktion von Verhaltensweisen des Menschen und somit der Untersuchung verdeckter psychologischer Prozesse. Virtuelle Realität ermöglicht die Durchführung realitätsnaher Experimente unter kontrollierten und gut beobachtbaren Umgebungsvoraussetzungen.

## 2.7 **Virtuelle Realität in der Psychologie**

Obwohl Psychologen Gefahren in der zunehmenden Immersion der virtuellen Realität sehen, wurde im vorangegangenen Kapitel ein Vorteil im Bezug auf psychologische Experimente genannt, der genau dieser Immersion zu verdanken ist. Die virtuelle Realität ermöglicht eine künstliche Erschaffung von perfekt angepassten Umgebungen, die dadurch insbesondere methodische Vorteile aufweisen. Im Hinblick auf diese Arbeit konnte ein vollständig abgedunkelter Raum virtuell erzeugt werden, der dem Betrachter keinerlei Orientierungshilfen bietet. Dies erfolgte darüber hinaus ohne größeren logistischen Aufwand, welcher bei den Experimenten von Dasonville, Bala und Bridgeman notwendig war um eine nahezu vollkommene Dunkelheit zu gewährleisten. Die erzeugte Umgebung in der virtuellen Realität weist dagegen nicht nur optimale Anforderungen auf, sondern bietet exakte Voraussetzungen für das in dieser Arbeit durchgeführte Experiment. So können Probanden Situationen als real erleben, die weitab der Realität

liegen. Dabei ergibt sich zudem die Möglichkeit, solche Situationen zu verändern und dementsprechend zu manipulieren. Weitere Anwendungsbereiche in der Psychologie lassen sich anhand von Angstpatienten beobachten. 1997 untersuchten Albert S. Carlin et. al. [28] erstmals die Phobie vor Spinnen im virtuellen Raum. Probanden wurden virtuell in Situationen mit Spinnen versetzt. Es zeigten sich die gleichen körperlichen Reaktionen, die sich auch in der realen Welt beobachten ließen. Die Auseinandersetzung mit virtuellen Spinnen über einen Zeitraum von zwölf Wochen reduzierte erfolgreich den Grad der Angst in der Realität.

Professor Mühlberger, Inhaber des Lehrstuhls für Klinische Psychologie und Psychotherapie an der Universität Regensburg gab in einem Interview an, dass beispielsweise eine Expositionstherapie in der virtuellen Realität bei 80% der Behandelten Wirkung zeigt. Die Erfolgsquote liegt daher ähnlich hoch wie bei einer normalen Konfrontationstherapie. Vorteile der virtuellen Realität beruhen hierbei vor allem in einem geringeren Zeit- sowie Organisationsaufwand bei der Durchführung. Obwohl die Methode der Therapie in einer virtuellen Umgebung seit 2014 existiert, wird diese bisher nur selten angewendet. Laut Mühlberger musste sich die Hardware vorerst weiterentwickeln. Dank des aktuellen Entwicklungsstands mit sinkenden Hardwarekosten und optimierter Bildschirmauflösung ist eine häufigere Anwendung im Therapiebereich denkbar. Weitere mögliche Anwendungsbereiche ergeben sich bezüglich der Behandlung von Phantom-schmerzen oder der Therapie von Suchtkranken, die in der virtuellen Realität kritische Situationen trainieren könnten [29].

Auch in Wahrnehmungsexperimenten gestaltet sich die virtuelle Realität als nützliches Werkzeug. Am Max Planck Institut für biologische Kybernetik wurde daher ein virtuelles Modell von Tübingen entwickelt. Ziel war es, herauszufinden, inwieweit sich die Wahrnehmung in der virtuellen Realität ändert. Hauptsächlich sollte die Orientierung und Navigation im Modell und in der realen Stadt untersucht und verglichen werden. Erste Versuche anhand eines normalen Bildschirmtests ergaben keine Desorientierung. Weitere Ergebnisse in der virtuellen Welt wurden zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht gewonnen [30].

### 3 Konzeptentwicklung

Dieses Kapitel beschreibt die Konzeptentwicklung der vorliegenden Arbeit. Zunächst wird auf vorhandene ähnliche Konzepte eingegangen. Basierend auf den existierenden Ergebnissen wurde ein eigener Ansatz entwickelt, der im Folgenden erläutert wird.

#### 3.1 Verwandte Konzepte

Verwandte Konzepte, bezogen auf die psychologische Komponente, finden sich in den Experimenten des Roelofs Effekts wieder, die auch in Kapitel 2.3, 2.4 und 2.5 beschrieben wurden. Weitere artverwandte Konzepte lassen sich darüber hinaus auch in Verbindung mit virtueller Realität, wie in Kapitel 2.7 aufgeführt wurde, erkennen. Annähernd vergleichbare Ansätze finden sich jedoch vor allem in wahrnehmungsorientierten Experimenten, die in der virtuellen Realität durchgeführt wurden. Besonders Tiefenwahrnehmung sowie die Wahrnehmung von Abständen wurde dahingehend betrachtet. Ein Beispiel bietet die Arbeit von V. Interrante et. al. [31], in der die egozentrische Distanzwahrnehmung in der virtuellen Realität im Vergleich zu der Wirklichkeit untersucht wurde. Zu diesem Zweck wurde eine existierende Umgebung in der virtuellen Welt nachgebildet. Das Phänomen der Verzerrung von Distanzwahrnehmungen gestaltet sich als wiederkehrendes Thema in der Forschung der virtuellen Realität. Interrante et. al. wollten daher Aufschluss über das Zustandekommen dieses Effekts geben. Der Unterschied zu vorherigen Experimenten bestand darin, dass die Probanden, während sie sich in dem virtuellen Raum befanden, sich auch zeitgleich in dem korrespondierenden, real existierenden Raum bewegten. Der Versuchsablauf eines ihrer Experimente startete mit der Fixierung eines Zielobjekts durch den Blick des Probanden. Anschließend wurde er angewiesen, die Augen zu schließen und sich blind auf das Objekt zuzubewegen. In der virtuellen Realität wurde zusätzlich die Darstellung des HMD schwarz geschaltet, während in der Realität die Augen verbunden wurden. Die zurückgelegte Distanz wurde gemessen und die resultierenden Werte der virtuellen Welt mit denen der Wirklichkeit verglichen. Interrante et. al. fanden heraus, dass die Verzerrung der Wahrnehmung bezüglich Distanzen in ihrem Experiment weitaus geringer ausfiel als in vergleichbaren Tests. Dennoch stellten sie fest, dass Distanzen in der virtuellen Welt leicht unterschätzt werden. So legten die Probanden in der virtuellen Umgebung eine geringfügig kürzere Strecke als in der Realität zurück, nahmen diese aber als gleich weit wahr.

Obwohl dieses Experiment ein artverwandtes Konzept zu dem in dieser Arbeit vorgestellten Verfahren darstellt, sind keine vergleichbaren Experimente bekannt, die Wahrnehmungseffekte ähnlich des Roelofs Effekt in der virtuellen Realität untersucht haben.

## 3.2 Eigener Ansatz

Da bei den vorherigen Ansätzen durch Dassonville, Bala und Bridgeman die Umgebung während der Testabläufe nicht vollständig ausgeblendet werden konnte, besteht der Ansatz dieser Arbeit nun darin, ein Experiment zu gestalten, welches frei von äußerlichen Einflüssen durchführbar ist und den Fokus der Versuchspersonen ausschließlich auf die Versuchsobjekte lenkt.

### 3.2.1 Erste Ideen

Erste Überlegungen beziehen sich daher insbesondere auf die Auswahl eines geeigneten Mediums für die Experimentdurchführung. Für eine vollständige Immersion der Probanden bietet sich daher ein Experiment in der virtuellen Realität an. So ist die Versuchsperson von jeglichen anderen visuellen Reizen befreit. Um die späteren Ergebnisse aus dem Experi-

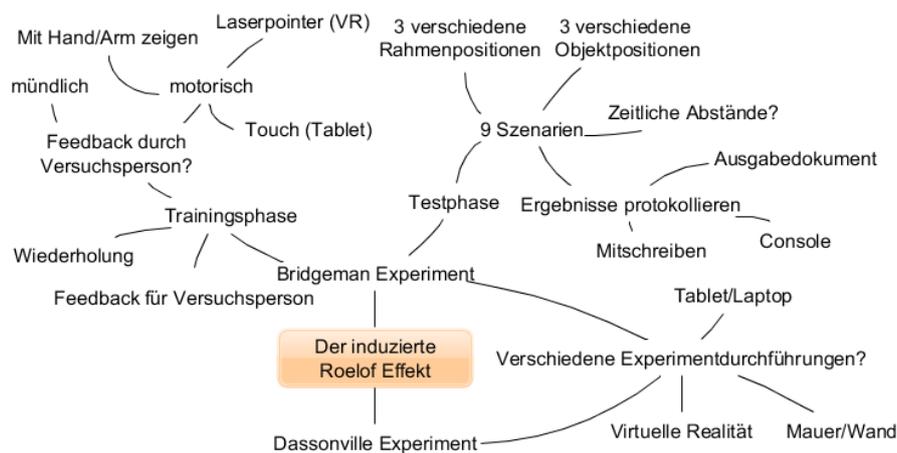


Abbildung 15: Erste Überlegungen bezüglich des induzierten Roelofs Effekts.

ment der virtuellen Realität vergleichen zu können, ist eine Entwicklung eines Computerprogramms oder einer Applikation für ein Tablet denkbar. Auch eine Projektion an einer Häuserwand wäre möglich. Des weiteren existieren, wie in Kapitel 2.2 deutlich wurde, diverse Testansätze bezüglich des induzierten Roelofs Effekts. Die Auswahl für einen Testablauf ist demnach ein weiterer wichtiger Punkt. Abbildung 15 zeigt erste Überlegungen in einer Mindmap. Hier sind weitere Gedankengänge bezüglich des Bridgeman-Experiments, welches aus zwei Phasen besteht, aufgeführt. Hauptmerkmale beider Phasen zeigen sich hierbei in der Wiederholung und den zeitlichen Abläufen. Wie lange soll ein Objekt oder Szenario ein-geblendet bleiben und wie oft soll die Trainingsphase wiederholt werden?

Weitere Fragen beziehen sich auf die Gestaltung der Rückmeldung durch die Versuchspersonen. Es muss folglich festgelegt werden, wie eine Versuchsperson die Objektposition beschreibt und ebenso, wie sie diese zeigt. Für die Evaluation der Ergebnisse ist es besonders wichtig, den genauen Punkt des Zeigevorgangs zu erfassen. Denkbar wäre eine Lösung per Touch an einem Tablet oder ein programmierter Laserpointer in der virtuellen Realität, die eine genaue Ermittlung der Koordinaten ermöglichen. Bei einer Projektion mittels Beamer an einer Wand könnte die Versuchsperson ebenfalls einen Laserpointer zur Verfügung gestellt bekommen. An dieser Stelle ergeben sich jedoch Probleme im Bezug auf die Erfassung der genauen Zeigeposition.

### 3.2.2 Konzept

Nach Betrachtung der ersten Ideen entstand das letztendliche Konzept, um den induzierten Roelofs Effekt zu untersuchen. Es sollen zwei Vergleichsexperimente erstellt und durchgeführt werden. Eine Versuchsgruppe soll das Experiment in der virtuellen Realität absolvieren, während die andere Gruppe an einem Computerbildschirm oder einem Tablet getestet wird. So ist die Möglichkeit gegeben, auch die motorische Wahrnehmung präzise durch Ermittlung der genauen Zeigekoordinaten zu betrachten. Während bei einem Computerbildschirm die Hinzunahme einer Computermaus als Hilfsmittel dient, kann die erforderliche Rückmeldung in der virtuellen Realität mittels Controller sowie integriertem Laserpointer erfolgen. Bei Verwendung eines Tablets würde die Touch-Funktion dieser Aufgabe dienen.

### 3.2.3 Anforderungsliste

Um die Anforderungen an das geplante Experiment zu veranschaulichen, wurde im Folgenden eine Anforderungsliste konzipiert. Diese soll zudem einen konkreten Überblick über die benötigten Funktionen der geplanten Software geben.

#### 1. Funktionale Anforderungen

- (a) Das Experiment *muss* aus einer Trainingsphase und einer Testphase bestehen.
- (b) Der Versuchsleiter *muss* das Experiment starten können.
- (c) Versuchspersonen *können* zwischengeschaltete Menüs selbst bedienen.
- (d) Der Versuchsleiter *muss* die Menüs bedienen können.
- (e) Der Versuchsleiter *muss* über Tastendruck die Trainingsphase starten und wiederholen können.

- (f) Der Versuchsleiter *muss* über einen Tastendruck ein neues Szenario der Testphase einblenden können.
- (g) Nach einer festgelegten Zeit *sollen* die Objekte in beiden Phasen ausgeblendet werden.
- (h) Der Übergang von der Trainingsphase zu dem nächsten Menü *kann* automatisch erfolgen.
- (i) Der Übergang von einer Testphase in das nächste Menü *soll* automatisch erfolgen.
- (j) Versuchspersonen *können* den Laserpointer an und ausschalten.
- (k) Die Versuchspersonen *müssen* einen Punkt, auf den sie mittels Laserpointer zeigen, zusätzlich bestätigen.
- (l) In der Trainingsphase *sollen* mittels Laserpointer bestätigte Objekte ausgeblendet werden.
- (m) Eine Bestätigung des Laserpointers *kann* der Versuchsperson als andersfarbiger Laserstrahl angezeigt werden.
- (n) In der Testphase *muss* es neun Szenarien geben.
- (o) Ein Szenario *soll* zufällig durch einen Algorithmus bestimmt werden.
- (p) Es darf kein Szenario wiederholt angezeigt werden. *muss*
- (q) Die Testphase *muss* zweimal durchlaufen werden.
- (r) Die Punkte, die durch den Laserpointer bestätigt werden und die Punkte, die per Maus oder Touch ausgewählt werden, *müssen* in ein Textdokument geschrieben werden.
- (s) Die Punkte, die durch den Laserpointer bestätigt werden und die Punkte, die per Maus oder Touch ausgewählt werden, *können* zusätzlich in der Console von Unity angezeigt werden.
- (t) Das Experiment *muss* durch den Versuchsleiter beendet werden.

## 2. Nicht funktionale Anforderungen

- (a) Der Versuch in der virtuellen Realität *soll* mit der HTC Vive ausgeführt werden.
- (b) Die Applikation des Vergleichsexperiments an einem Computer *soll* auf Windowssystemen laufen.
- (c) Die Applikation des Vergleichsexperiments an einem Tablet *soll* auf Android laufen.
- (d) Der Versuch in der virtuellen Realität und der Versuch an einem Computerbildschirm oder Tablet *sollen* in Unity realisiert werden.

- (e) Eine Versuchsdurchführung *soll* nicht länger als fünfzehn Minuten dauern.
- (f) Der Versuch *soll* auf deutsch durchgeführt werden.
- (g) Der Versuchsleiter *muss* den Probanden durch das Experiment leiten.
- (h) Die Applikation sowie die Anwendung in der virtuellen Realität *muss* fehlertolerant sein.
- (i) Die entwickelten Unity-Anwendungen *sollen* eine Ausgabedatei mit den Benutzereingaben erzeugen.

### 3.2.4 Versuchsablauf

Da das Experiment aus zwei Phasen besteht, wurde zunächst eine grobe Skizze bezüglich des Ablaufs konzipiert, die der weiterführenden Programmierung dienen soll. Tabelle 1 zeigt die einzelnen Schritte des Experiments, dessen geplante Realisierung und Überlegungen im Hinblick auf die Trainingsphase.

Versuchsablauf	Geplante Realisierung	Überlegungen
Objektpositionen lernen	Timer	Ein Objekt verschieben oder fünf Objekte ein-/ausblenden?
Wiederholung	Tastendruck	Häufigkeit festlegen
Testperson zählt Position mit	Testperson zählt hörbar mit	Versuchsleiter initiiert den Mitzählvorgang
Objekte werden an jeder Position angezeigt	Automatisch nach festgelegter Wiederholung	Kurze Erklärung durch Versuchsleiter
Testperson zeigt auf Objekt	Laserpointer, Touch, Maus	Was passiert mit Objekt? Bedienung Laserpointer/Maus
Übergang nächste Phase	Tastendruck	Was wird als nächstes angezeigt?

**Tabelle 1:** Abläufe, geplante Realisierungen und Überlegungen hinsichtlich der Trainingsphase.

Um die Objektpositionen zu trainieren, soll ein Objekt nacheinander an fünf festgelegten Positionen erscheinen. Mögliche Ansätze sind hier die Erstellung fünf gleicher Objekte, die mithilfe eines Timers ein und ausgeblendet werden. Eine weitere Möglichkeit wäre die Generierung eines einzelnen Objekts, welches nach Ausblendung verschoben und somit an einer

anderen Stelle eingeblendet werden kann. Die Testperson muss währenddessen die Positionen mitzählen. Anschließend soll diese Prozedur wiederholt werden. Denkbar wäre eine Lösung mithilfe einer Tastenbelegung. Die Häufigkeit der Wiederholung und somit der Übergang zur nächsten Trainingsaufgabe muss fest deklariert sein, da jeder Proband die gleiche Trainingsphase absolvieren soll. Die abschließende Aufgabe dieser Phase besteht aus einem motorischen Training. Zu diesem Zweck wird an jeder der Positionen ein Objekt eingeblendet. Die Aufgabe der Testperson besteht nun darin, auf die Objekte zu zeigen. In der virtuellen Realität könnte dies durch einen programmierten Laserpointer gelöst werden. Wird das Vergleichsexperiment an einem Tablet durchgeführt, steht eine Eingabe per Touch zur Verfügung. An einem Computer dagegen könnte die Maus als Hilfsmittel dienen. Des Weiteren muss festgelegt werden, wie das Programm auf den Zeigevorgang hinsichtlich des Objekts reagiert. Ist es ausreichend auf dieses zu zeigen oder soll eine zusätzliche optische Rückmeldung realisiert werden? Es wäre denkbar, den Probanden die Objekte in festgelegter Reihenfolge abschießen zu lassen. Der Übergang zur nächsten Phase des Experiments könnte aufgrund dessen automatisch nach Treffen des letzten Objekts erfolgen.

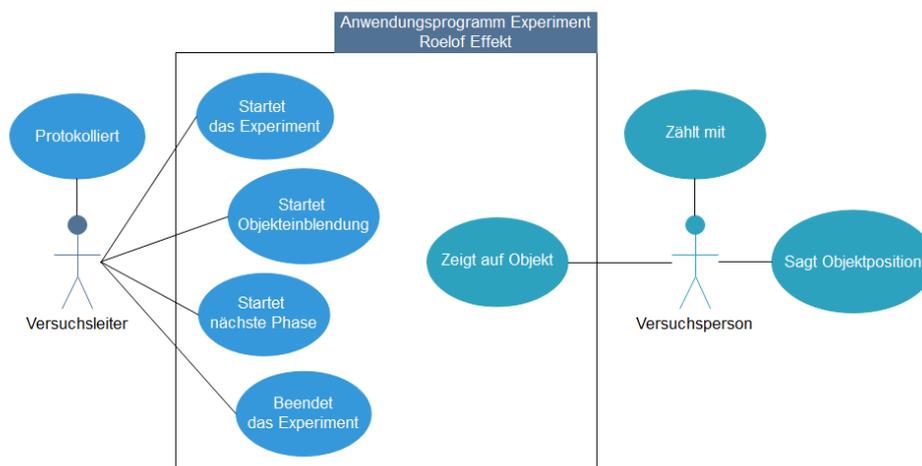
Die Abläufe, Realisierungsideen und Überlegungen hinsichtlich der anschließenden Testphase wurden in Tabelle 2 dargestellt.

Versuchsablauf	Geplante Realisierung	Überlegungen
Einblendung Szenario	Tastendruck	Dauer der Einblendung?
Testperson teilt Objektposition mit	Manuell protokollieren	Liste mit Szenarien?
Wiederholung von Szenarien	Tastendruck	Anzahl Wiederholungen? Übergang?
Einblendung Szenario	Tastendruck	Dauer der Einblendung?
Testperson zeigt Position	Laserpointer	Speicherung des Punktes? Bedienung Laserpointer?
Wiederholung von Szenarien	Tastendruck	Anzahl Wiederholungen? Übergang?

**Tabelle 2:** Abläufe, geplante Realisierungen und Überlegungen hinsichtlich der Testphase.

Zu Beginn soll ein Szenario mit einem Rahmen und einem Objekt an

einer der zuvor gelernten Positionen erscheinen. Dieses soll durch den Versuchsleiter mittels einer festgelegten Taste der Tastatur eingeblendet und nur für eine festgelegte Dauer angezeigt werden. Anschließend soll die Versuchsperson die Objektposition benennen, die durch den Versuchsleiter in einer erstellten Liste festgehalten wird. Nach einer Anzahl von Szenarien könnte automatisch oder mithilfe einer weiteren Tastenbelegung der zweite Teil der Testphase eingeleitet werden. In diesem sollen nun, wie auch im ersten Teil, verschiedene Kombinationen aus Rahmen- und Objektposition angezeigt werden. Nach jedem Szenario muss der Proband mit der gegebenen Eingabehilfe auf die Position des zuvor eingeblendeten Objekts zeigen. Überlegungen und Probleme liegen an dieser Stelle besonders in der Speicherung des gezeigten Punktes, sowie auch in der Bedienung. Zu welchem Zeitpunkt soll die Speicherung des gezeigten Punktes erfolgen? Auch eine Ausblendung des Laserpointerstrahls oder des Mauszeigers muss in Betracht gezogen werden, um einem vorschnellen Positionieren derer vorzubeugen. Abschließend wiederholt sich die Prozedur weitere neunmal bevor das Experiment zum Ende übergeht.



**Abbildung 16:** Use-Case-Diagramm der Anwendung.

Das in Abbildung 16 dargestellte Use-Case-Diagramm verdeutlicht zusätzlich die Anwendungsoptionen des Versuchsablaufs. Zum einen zeigt es die Anforderungen an das Anwendungsprogramm, zum anderen, welche Aktionen der Versuchsleiter und die Versuchsperson ausführen können sollen. Die Abbildung zeigt auf der einen Seite den Versuchsleiter, welcher während der Versuchsdurchführung die von der Versuchsperson mitgeteilten Positionen protokolliert. Mittig befindet sich das Anwendungsprogramm. Die geplante Anwendungssoftware soll dem Versuchsleiter die Möglichkeit bieten, das Experiment zu starten, es zu beenden, von einer

in die nächste Phase zu steuern und in den Phasen Objekte einblenden zu können. Die Versuchsperson auf der anderen Seite soll dagegen nur auf die Objektpositionen zeigen können. So liegt die Kontrolle über den Versuchsablauf weitestgehend bei dem Versuchsleiter.

### **3.2.5 Zielgruppe**

Die Zielgruppe für das Experiment unterliegt keinen größeren Einschränkungen. Dennoch sollten die Versuchspersonen ein allgemeines Zahlenverständnis besitzen, da dieses bei der Trainingsphase benötigt wird, um die Objektpositionen mitzuzählen. Zudem sollen Versuchspersonen ausgewählt werden, die keine motorischen Einschränkungen haben um mithilfe des Controllers, mittels Finger auf dem Tablet oder mit einer Computermaus die Position des Objekts bestimmen können. Geläufige Sehschwächen der Probanden stellen keine Beeinträchtigung während des Experiments dar, da auch bei Nutzung einer VR Brille, die eigene Sehhilfe getragen werden kann.

## 4 Realisierung

Dieses Kapitel soll einen Einblick in die Realisierung der nötigen Software geben. Besonders im Fokus steht daher Ablauf und Aufbau der in Unity realisierten Anwendungsprogramme. Die resultierenden Anwendungen dienen in der nachfolgenden Versuchsdurchführung als Hilfsmittel, um Ergebnisse bezüglich des Roelofs Effekts zu gewinnen.

### 4.1 Anwendungsablauf

Zunächst soll ein Einblick über den allgemeinen Programmablauf gegeben werden, der in Abbildung 17 dargestellt wird. Das Programm startet mit der sogenannten *StartScene*, welche ein Navigationsmenü bereitstellt um zur darauffolgenden Szene zu gelangen. Zudem werden Informationen über die nächste Phase im Experiment angezeigt. Anschließend gelangt der Benutzer zur *TrainingScene*, die das Training der Objektpositionen beinhaltet. Daraufhin folgt eine weitere Zwischenszene, die zur nachfolgenden *TestScene* überleitet. An dieser Stelle erfolgt der Hauptteil des Experiments. Im Anschluss erreicht der Benutzer, je nach Programmstatus, die letzte Menüszene im Programm oder ein weiteres Mal die *TestScene* für den zweiten Teil dieser Testphase.

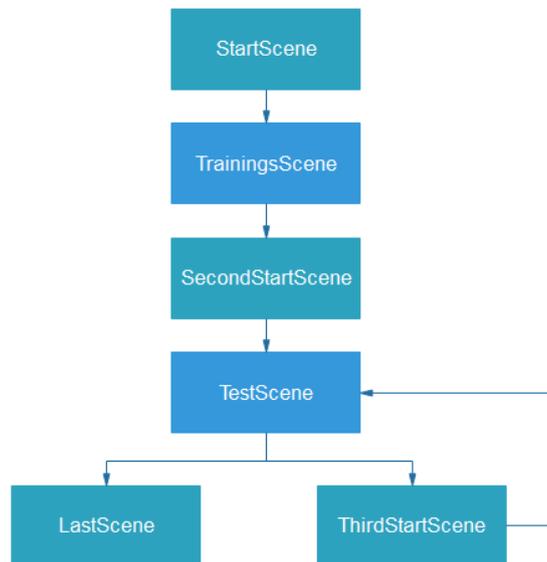


Abbildung 17: Darstellung der Anwendungsprogramme in einem Ablaufdiagramm.

## 4.2 Die Trainingsphase

Da in der Trainingsphase die Objektpositionen gelernt werden sollen, wurden, wie in dem Originalexperiment von Bridgeman, drei Wiederholungen realisiert. Jede dieser Wiederholungen kann mithilfe der Taste „S“ vom Versuchsleiter initiiert werden. Das Programm startet daraufhin eine Co-Routine, welche das Objekt an jeder festgelegten Position nacheinander für eine Sekunde einblendet. Wurde das Objekt an Position fünf ein- und entsprechend wieder ausgeblendet kann der Versuchsleiter den nächsten Durchlauf starten. Nach drei Wiederholungen geht das Programm automatisch zum zweiten Teil der Trainingsphase über. Hier werden Objekte an jeder der vorher gezeigten Positionen eingeblendet. Um die Positionen auch motorisch zu erlernen, sollen die Objekte abgeschossen werden. In der virtuellen Realität wurde zu diesem Zweck ein Laserpointer entwickelt. Dieser lässt sich durch einen Trigger an- und ausschalten. Dadurch hat der Proband die Möglichkeit, erst ein Objekt anzuvisieren und anschließend durch Betätigung einer weiteren Taste dieses abzuschießen. In dem Vergleichsex-

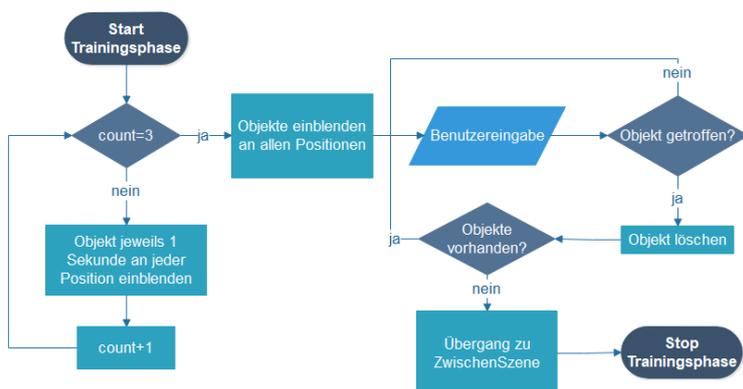


Abbildung 18: Darstellung der Trainingsphase in einem Ablaufdiagramm.

periment an einem Computerbildschirm soll die Versuchsperson mithilfe der Maus die Objekte anvisieren und durch einen Linksklick auswählen. Wurde ein Objekt getroffen, wird es gelöscht. Nach jedem Löschvorgang überprüft die Software, ob sich noch Objekte in der Szene befinden. Ist dies nicht der Fall, wird eine Zwischenszene eingeblendet und die Trainingsphase somit abgeschlossen. Abbildung 18 zeigt ein Ablaufdiagramm der Trainingsphase, welches die oben erläuterten Schritte noch einmal zusammenhängend verdeutlicht. Abbildung 19 zeigt dagegen den bildlichen Ablauf der Trainingsphase, wie ihn die Probanden in der Evaluation angezeigt bekommen. Zu sehen sind die einzelnen Objektpositionen, welche sequenziell erscheinen. Die rechte Seite hingegen zeigt die Ansicht des zweiten Teils der Phase.

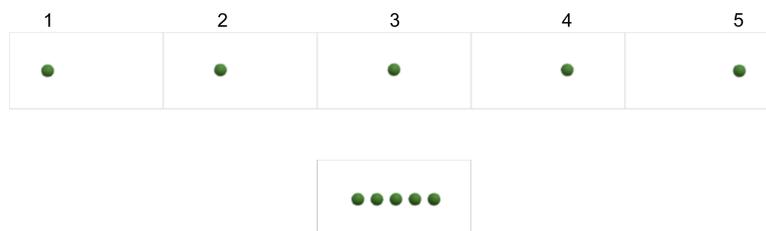


Abbildung 19: Objektpositionen in der Trainingsphase.

### 4.3 Die Testphase

Um die anschließende Testphase zu realisieren, müssen zunächst die zuvor genannten Szenarien festgelegt werden. Ein Szenario besteht aus einer Rahmenposition (Links, Mitte, Rechts) sowie einer Objektposition (Zwei, Drei, Vier). Objekte an Position Eins und Fünf wurden nicht in die Szenarien aufgenommen, da diese keinen Erwartungswert für den Effekt liefern. Würde das Objekt an Position Eins bei einer Rahmenposition Rechts erscheinen, müsste der Proband laut Roelofs Effekt das Objekt an Position Null wahrnehmen, die jedoch nicht existiert. Ebenso bei einer Objektposition Fünf, die einen Erwartungswert von Sechs besitzt, wenn sich der Rahmen rechts befindet.

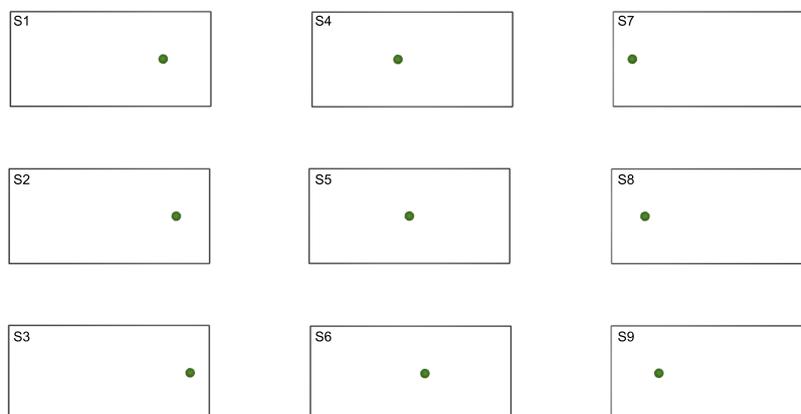
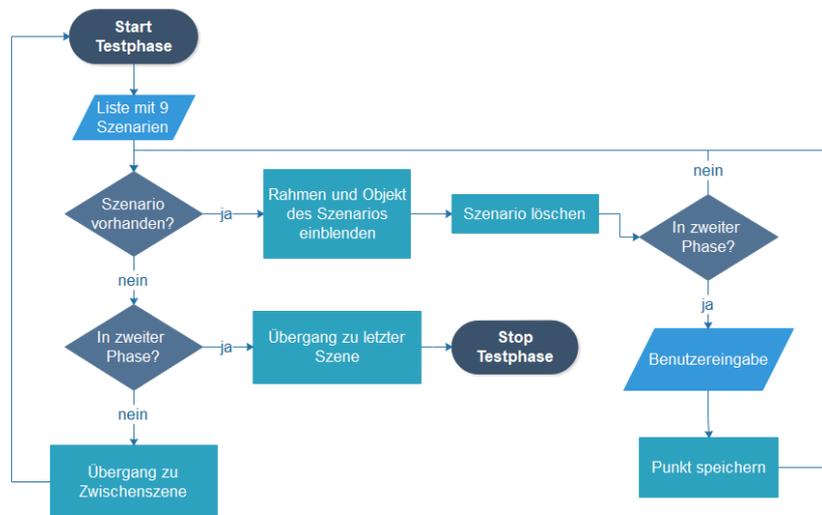


Abbildung 20: Alle möglichen Szenarien im Überblick.

Abbildung 20 zeigt die neun möglichen Szenarien wie sie in der Anwendung erscheinen. Die linke Spalte repräsentiert die Rahmenverschiebung nach links, die mittlere Spalte die Rahmen an Position Mitte und die rechte Spalte Rahmenposition Rechts. Zudem wurden die Szenarien durchnummeriert, um in der späteren Evaluation eine bessere Zuordnung zu er-

reichen.

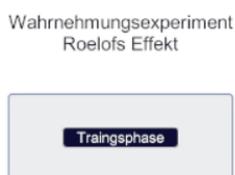
Zu Beginn der programmierten Klasse, die für die Testphase relevant ist, wird eine Datenstruktur erzeugt, die für jede Rahmenposition alle möglichen Objektpositionen speichert. Da die Anzeigereihenfolge zufällig erfolgen soll, wurden zunächst Zufallszahlen für Rahmen und Objekt generiert. Anschließend wird überprüft, ob das Szenario, welches der Zufallszahl entspricht in der Datenstruktur vorhanden ist. Ist dies der Fall, werden die wichtigsten Informationen in eine Textdatei geschrieben. Anschließend wird das Szenario angezeigt und letztlich aus der Datenstruktur entfernt. Diese Methode wiederholt sich solange bis kein Szenario mehr vorhanden ist und automatisch zu einer Zwischenszene übergeleitet wird. Diese führt über einen Button erneut zur Testphase. Da diese wie auch die Trainingsphase aus zwei Teilen besteht, muss das Programm überprüfen, in welchem Abschnitt es sich befindet. Dies wurde anhand der Ausgabe-datei realisiert. Ist diese leer, befindet sich die Anwendung im ersten Teil des Tests. Ist dies nicht der Fall, wurden schon Daten des ersten Durch-laufs gespeichert und es geht in den zweiten Teil über. Dieser zeigt, wie auch im ersten Durchlauf, alle neun Szenarien in zufälliger Reihenfolge an. Jedes Szenario wird in der erstellten Textdatei dokumentiert. Ausführlich bedeutet dies die Speicherung der Rahmen- sowie Objektposition für den ersten Durchlauf. Zudem werden die Koordinaten der Stelle, die der Pro-band ausgewählt hat, gespeichert. Anschließend erfolgt die Weiterleitung zur letzten Szene. Abbildung 21 fasst die erläuterten Schritte in einem Ab-laufdiagramm zusammen.



**Abbildung 21:** Darstellung der Testphase in einem Ablaufdiagramm.

## 4.4 Design

Das Design wurde bei beiden Anwendungen bewusst schlicht gehalten, da das Experiment nur auf simplen Objekte und einem Rahmen basiert. Der Proband soll im späteren Versuchsablauf nicht durch weitere Objekte oder Farben abgelenkt werden. Die Objekte wurden in Form von Kreisen beziehungsweise Kugeln dargestellt. Da über deren farbliche Aspekte in dem Originalexperiment 2.2 keine Angaben gemacht wurden, erfolgte die Farbauswahl der Objekte hier mit dem Ziel ihrer bestmöglichen Sichtbarkeit während der Testdurchführung. Der Hintergrund beider Anwendungen wurde in einem einfachen schwarz gehalten. Ein Horizont oder strukturierter Hintergrund hingegen hätte Anhaltspunkte zur Orientierung geben können. Ein weißer Bildschirm war ebenso ungeeignet, da dieser bei einem Vorabtest zu extremen Nachbildern der Objekte geführt hat. Alle Abbildungen des Anwendungsprogramms wurden aus Darstellungsgründen mit einem weißen Hintergrund eingefügt. Zwischen allen Phasen wurden Zwischenszenen eingefügt, die dem Probanden anzeigen, an welcher Stelle des Experiments er sich befindet. Zudem dienen diese einfachen Szenen als Pause für weitere Erklärungen während der Versuchsdurchführung. Abbildung 22 zeigt als Beispiel die Startszene des Programms. Für den Laser-



**Abbildung 22:** Beispiel einer Zwischenszene der Anwendung.

pointerstrahl wurde ein typisches Rot gewählt. Wenn die Versuchsperson einen Punkt bestätigt, ändert der Strahl kurzfristig seine Farbe zu Grün. Dies dient zum einen als Rückmeldung für den Probanden und zum anderen als Kontrolle für den Versuchsleiter. Die Breite des Rahmens beträgt in Unity 21 Szeneinheiten die Höhe 10. Die Objekte hingegen sind eins breit, hoch sowie tief und verteilen sich mit 0,5 Abständen links und rechts des Nullpunktes. Die Szene wird mit einem Kameraabstand von  $-35$  betrachtet.

## 5 Evaluation

In der Evaluation soll ermittelt werden, inwieweit der Rahmen eines Anzeigeräts die Wahrnehmung des Menschen im Bezug auf den Roelofs Effekt beeinflusst. Zu diesem Zweck muss festgestellt werden, ob und in welchem Maße der Wahrnehmungseffekt in der virtuellen Realität und an einem Anzeigerät auftritt.

Der folgende Abschnitt ist in drei Bereiche aufgeteilt. Zum einen wurden zu Beginn Hypothesen aufgestellt, die im Verlauf der Experimente bestätigt oder widerlegt werden sollen. Daraufhin wird das Experiment in der virtuellen Realität und anschließend an einem Computerbildschirm betrachtet.

### 5.1 Hypothese

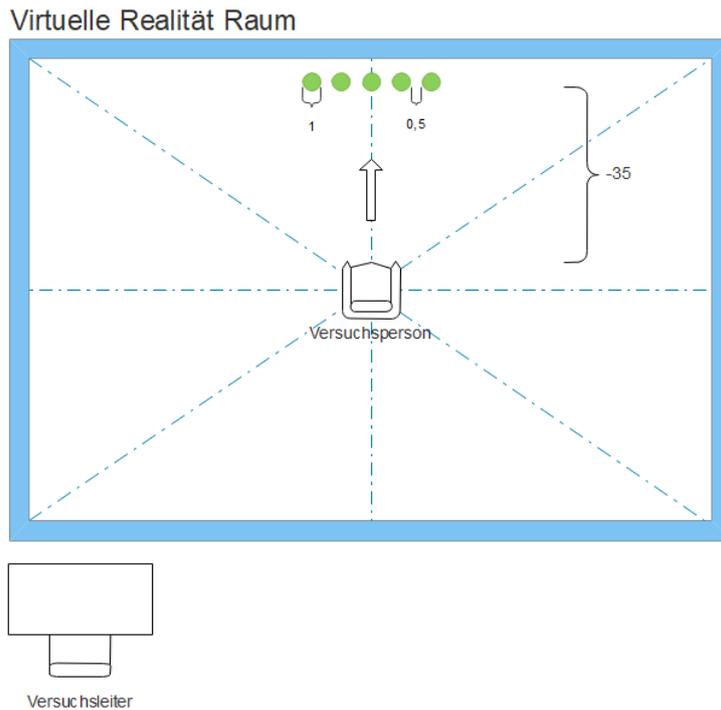
Folgende Hypothesen wurden vor der Testphase aufgestellt:

- H1 Der Rahmen eines Anzeigerätes beeinflusst den induzierten Roelofs Effekt.
  - H1.1 In der virtuellen Realität tritt der induzierte Roelofs Effekt im Bezug auf die visuelle Wahrnehmung in höherem Maße auf.
  - H1.2 Die motorische Wahrnehmung wird weder in der virtuellen Realität, noch an einem Computerbildschirm beeinflusst.
- H2 Die virtuelle Realität bietet bessere Rahmenbedingungen für Experimente in der Wahrnehmungspsychologie.

### 5.2 Versuchsaufbau

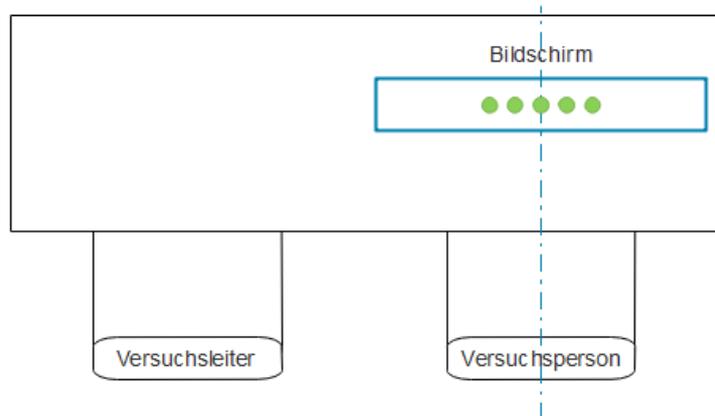
Der Versuch wurde in einem Labor der Computergrafik an der Universität Koblenz-Landau am Campus Koblenz durchgeführt. Die Abbildungen 23 und 24 zeigen den skizzierten Versuchsaufbau. Die Versuchspersonen wurden zu Beginn mittig ausgerichtet. In der virtuellen Realität diente das Raster, welches anfangs automatisch erscheint als Orientierungshilfe, sodass sich die Person mittig im aufgespannten Raum platzieren konnte. Somit wurde die Position der Kamera eingenommen, die sich an  $(0, 0, -35)$  in der Szene befindet. Zudem wurde durch das Raster die Blickrichtung der Probanden vorgegeben. Da keine Bewegung seitens dieser gewünscht war, wurde ein Stuhl bereitgestellt, auf dem sie Platz nehmen konnten. Der Versuchsleiter befand sich außerhalb der virtuellen Umgebung an einem Computer, der zur Ausführung des Programms diente. Durch diesen konnte das Experiment gesteuert sowie beobachtet werden. Bei dem Vergleichsexperiment an einem Computerbildschirm befanden sich die Versuchspersonen ebenfalls in sitzender Haltung. Zudem wurden sie angewiesen, eine

zentrierte Sitzposition einzunehmen. Der Bildschirmrahmen wurde präpariert, um keine zusätzlichen externen Orientierungshilfen zu schaffen und ein gleichmäßig schwarzen Rahmen zu erhalten. In dieser Variante befand sich der Versuchsleiter neben der Versuchsperson, um das Experiment zu steuern und zu beobachten. Der Versuchsablauf gestaltet sich



**Abbildung 23:** Versuchsaufbau in der Virtuellen Realität

wie folgt: Zunächst bekommt die Versuchsperson die Möglichkeit in der Trainingsphase die Objektpositionen zu lernen. Dazu werden die Objekte nacheinander an allen fünf Positionen für jeweils eine Sekunde eingeblendet. Hier soll der Proband die angezeigten Positionen laut mitzählen. Nach dreimaliger Wiederholung dieses Vorgangs erscheint an jeder der Positionen ein Objekt. Um auch die motorische Wahrnehmung zu konditionieren, sollen diese Objekte nun abgeschossen oder angeklickt werden. Dazu wird den Versuchspersonen die Abschussreihenfolge vorgegeben. Nach erfolgreichem Abschluss der Trainingsphase kommt der Proband in die eigentliche Testphase des Experiments. Hier werden ihm alle neun Szenarien in zufälliger Reihenfolge vorgelegt. Nach jedem Szenario muss er dem Versuchsleiter die Objektposition laut mitteilen. Nachdem alle Kombinationen aus Rahmen- und Objektpositionen gezeigt wurden, beginnt die Testphase erneut. Hierbei soll der Proband nun auf die Objektposition zeigen.



**Abbildung 24:** Versuchsaufbau des Vergleichsexperiments

### 5.3 Versuchsdurchführung

Zu Beginn des jeweiligen Experiments wurden zunächst personenbezogene Daten erhoben, der Aufschlüsse über das Alter, Geschlecht, Beschäftigungsfeld und Körperbefinden geben sollte. Für den Versuch in der virtuellen Realität wurde der Versuchsperson das HMD der HTC Vive aufgesetzt. Zudem bekam der Proband einen Controller in die Hand, welcher kurz für den späteren Gebrauch im Experiment erklärt wurde. Anschließend durfte sich die Versuchsperson umschaun und sich so positionieren, wie im Versuchsaufbau beschrieben wurde. Der Versuchsleiter versicherte sich abschließend ob die Versuchsperson alles klar sehen konnte und startete daraufhin das Experiment. Vor Beginn der Trainingsphase, bekam der Proband eine kurze Einführung über den weiteren Ablauf. Ihm wurde erklärt, dass er zwei Phasen durchlaufen müsse und er zunächst in der Trainingsphase Objektpositionen lernen wird. Nach der Trainingsphase wurde durch den Versuchsleiter erklärt, dass in der anschließenden Testphase mehrere Bilder nacheinander erscheinen werden und in jedem dieser Bilder das Objekt an einer der zuvor gelernten Positionen erscheinen wird. Zusätzlich bekam der Proband die Information über einen Rahmen, der jedoch unabhängig von den Objektpositionen erscheint. Nach jedem Bild gab die Versuchsperson laut die wahrgenommene Objektposition an, welche der Versuchsleiter protokollierte. Nach allen neun Szenarien konnte die zweite Testphase begonnen werden. Der Proband sollte nun, unmittelbar nach dem Ausblenden eines Bildes, den Laserpointer aktivieren, die Stelle an der das Objekt wahrgenommen wurde anvisieren, diesen Punkt bestätigen und den Laserpointer wieder deaktivieren. Dazu wurde er angewiesen den Laserpointer erst nach Ausblendung des Bildes zu aktivieren. Der Versuchsleiter beobachtete die Aktionen des Probanden über den angeschlos-

senen Computerbildschirm. Nach diesem Teil des Experiments wurde ein Dankesbildschirm eingeblendet und die Versuchsdurchführung beendet. Das Vergleichsexperiment gleicht der zuvor beschriebenen Durchführung. Hier wurde der Proband bei der zweiten Testphase jedoch darauf hingewiesen, den Mauszeiger nach jedem Klick außerhalb des Bildschirms zu positionieren. Zudem sollte er die Maus loslassen, da sichergestellt werden musste, dass keine Versuchsperson den Cursor aus Reflex zu früh auf die Objektposition setzt.

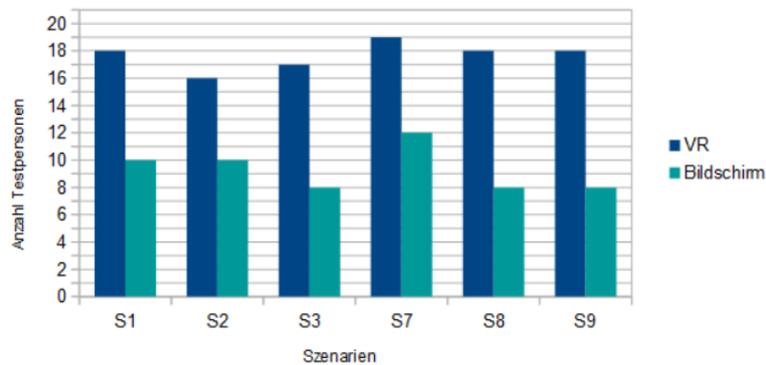
#### 5.4 Versuchspersonen

Es wurden insgesamt 42 Personen getestet. Jeweils 21 Personen in der Virtuellen Realität und dem Vergleichsexperiment an einem Laptop. Die Altersspanne der Testpersonen liegt bei 12 bis 65 Jahren. Darunter befinden sich 28 Frauen und 14 Männer unterschiedlichster Personengruppen.

#### 5.5 Ergebnis

Um die Ergebnisse besser auswerten zu können, wurden Bezeichnungen für die Kombinationen von Rahmen und Objektpositionen gewählt, die im Anhang anhand Tabelle 33 ausführlich dargestellt werden.

Zunächst soll Aufschluss über das Auftreten des Roelofs Effekts in der visuellen Wahrnehmung gegeben werden. Hier unterlagen insgesamt 84, 13% der Probanden dem Effekt in der virtuellen Umgebung, während an einem Bildschirm lediglich 44, 44% getäuscht wurden. Abbildung 25 zeigt die genaue Anzahl der Versuchspersonen pro Szenario, bei denen der Effekt auftrat. **S1**, **S2** und **S3** stehen für die Szenarien mit einer linken Rahmenverschiebung. **S7**, **S8** und **S9** zeigen die Ergebnisse bei einer Verschiebung des Rahmens nach rechts an. Die Szenarien mit einer mittleren Rahmenposition wurden an dieser Stelle nicht genauer betrachtet, da hier keine Täuschung erwartet wird. Es wird deutlich, dass der Effekt in der virtuellen Realität annähernd doppelt so hoch auftritt wie an einem Computerbildschirm. Um die visuelle Wahrnehmung bezüglich des Roelofs Effekts noch genauer zu untersuchen, werden im Folgenden die Ergebnisse für jede Rahmenposition im direkten Vergleich der Medien dargestellt. Die tatsächlichen Positionen des Objekts 2, 3 und 4 werden in allen Diagrammen grün dargestellt. Die erwarteten Positionsangaben bei einer Rahmenverschiebung nach links, liegen entsprechend einer entgegengesetzten Verschiebung bei 3, 4 sowie 5 und werden in allen folgenden Diagrammen gelb dargestellt. Dieser Erwartungswert stellt eine Anlehnung an Bridgemans Ergebnisse dar, in denen das Objekt um eine Stelle verschoben wahrgenommen wurde. Der Mittelwert der wahrgenommenen Positionen, seitens der Probanden, wird in rot abgebildet.



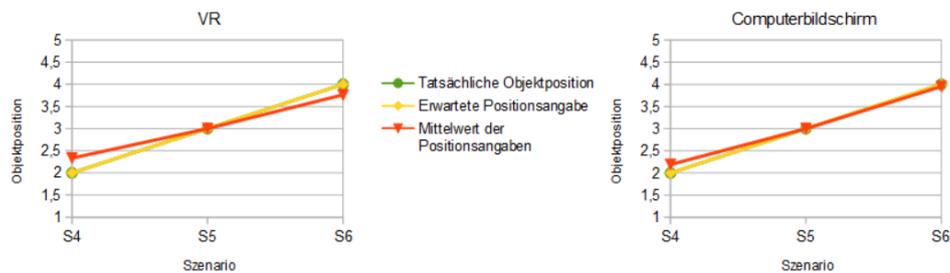
**Abbildung 25:** Anzahl der Probanden bei denen der Roelofs Effekt aufgetreten ist.

Abbildung 26 zeigt zunächst die verschiedenen Angaben der Objektposition bei einer Rahmenverschiebung nach links. In der virtuellen Realität gaben die Versuchspersonen bei einer tatsächlichen Objektposition von 2 im Mittel eine Objektposition von 3,95 ( $\sigma = 1,28$ ) an, was die Positionsverschiebung von einer Stelle deutlich übersteigt. Auch bei einer Objektposition von 3 wurde diese als weiter rechts angenommen. Hier liegt der Mittelwert der Positionseinschätzung bei 4,38 ( $\sigma = 1,07$ ). Die dritte existierende Position 4 nahmen die Probanden ebenfalls verschoben wahr ( $\mu = 4,71, \sigma = 0,41$ ). Dieser Wert deckt sich annähernd mit der erwarteten Angabe von Positionswert 5. Es wird vermutet, dass aufgrund der existierenden Objektpositionen die Täuschung an dieser Stelle geringer ausfällt, da der Roelofs Effekt sich in diesem Szenario durch einer Positionsangabe größer 4 äußern müsste und dementsprechend nur Objektposition 5 bleibt. Eine Person gab in diesem Szenario eine Objektposition von 7 an, die jedoch nicht in den zuvor gelernten Positionen existierte. Demnach lässt sich schlussfolgern dass das Ergebnis durch die begrenzte Anzahl der Positionen geringer ausfällt und dementsprechend nicht die Täuschung mildert. Im Vergleich zu den Ergebnissen in der virtuellen Realität nehmen



**Abbildung 26:** Visuelle Wahrnehmung bei einer Rahmenverschiebung nach links im Vergleich.

die Positionsangaben, resultierend aus dem Bildschirmexperiment, ähnliche Werte wie bei Bridgeman an.  $S1$  deckt sich mit einem Mittelwert von 2,95 ( $\sigma = 1,40$ ) nahezu mit der erwarteten Positionsangabe. Die Ergebnisse aus  $S2$  ( $\mu = 3,81, \sigma = 1,25$ ) sowie  $S3$  ( $\mu = 4,19, \sigma = 0,81$ ) liegen darüber hinaus näher an der tatsächlichen Position des Objekts als erwartet wurde. Vergleicht man die Abweichungen der Positionsangaben mit der tatsächlichen Objektposition wird deutlich, dass der Roelofs Effekt in dem Vergleichsexperiment bei einer Rahmenverschiebung nach links in geringerem Ausmaß auftritt. So lassen sich in der virtuellen Realität Abweichungen von 1,95 ( $S1$ ), 1,38 ( $S2$ ) und 0,71 ( $S3$ ) beobachten, während der Unterschied in dem Experiment an einem Bildschirm nur 0,95 ( $S1$ ), 0,81 ( $S2$ ) sowie 0,19 ( $S3$ ) beträgt.



**Abbildung 27:** Visuelle Wahrnehmung bei einer mittigen Rahmenausrichtung im Vergleich.

Zu den Rahmenverschiebungen wurde zusätzlich die mittige Rahmenposition untersucht. Diese Szenarien dienen der Kontrolle, da hier keine Verschiebung der Objektposition vorkommen dürfte. Abbildung 27 stellt die Szenarien  $S4$ ,  $S5$  sowie  $S6$  mit mittiger Rahmenposition dar. Hier überschneiden sich die erwarteten Positionsangaben mit den tatsächlichen Objektpositionen. Die Versuchsdurchführungen in der virtuellen Realität sowie an einem Bildschirm ergaben nahezu korrekte Positionsangaben. Dennoch lassen sich in der virtuellen Welt ohne Orientierungshilfen kleinere Abweichungen erkennen.

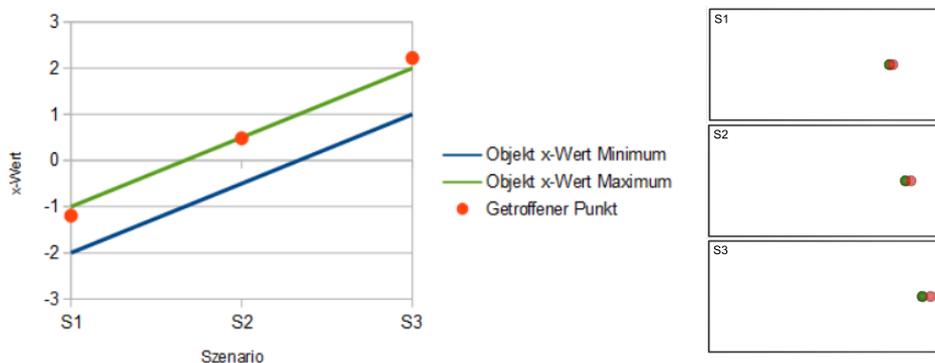
Abbildung 28 dagegen zeigt die Ergebnisse einer Verschiebung des Rahmens nach rechts. Würde man die Werte der virtuellen Realität spiegeln, könnte man eine Ausprägung ähnlich der Ergebnisse bei einer Rahmenverschiebung nach links beobachten. Bei den zu betrachtenden Szenarien wird eine Positionsangabe kleiner der tatsächlichen Position erwartet. Hinsichtlich der Objektposition an Stelle 2 decken sich die erwartete Position sowie die Positionsangabe der Probanden. Hier gaben die Versuchspersonen im Mittel eine Position von 1,10 ( $\sigma = 0,09$ ) an. Die Szenarien  $S8$  sowie  $S9$  weisen wiederum eine Positionsangabe auf, die den Erwartungswert übersteigt. In diesen Szenarien wurde das Objekt an Position 3 bei

1,71 ( $\sigma = 0,71$ ) und an Position 4 bei 2,48 ( $\sigma = 0,56$ ) wahrgenommen. Im Vergleichsexperiment an einem Bildschirm wird der Wahrnehmungs-



**Abbildung 28:** Visuelle Wahrnehmung bei einer Rahmenverschiebung nach rechts im Vergleich.

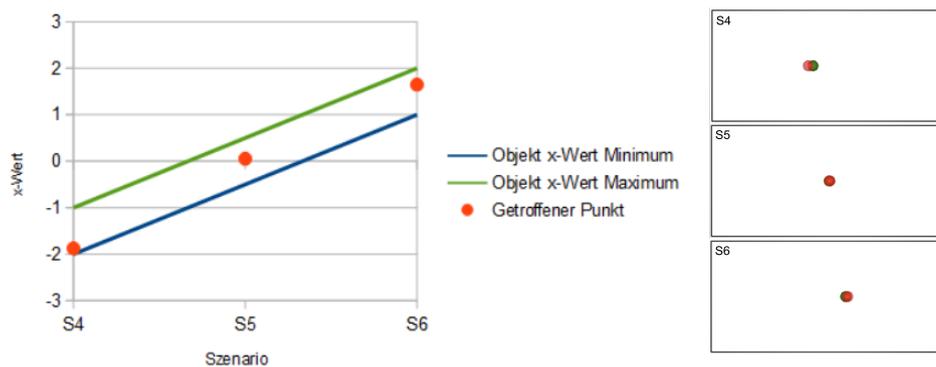
unterschied deutlich. Bei einer Betrachtung der roten Gerade in Abbildung 28 lässt sich eine Verschiebung in Richtung tatsächlicher Objektposition erkennen. Die Differenz von wahrgenommener und tatsächlicher Position, in Anbetracht von  $S7$ , liegt in diesem Experiment bei 0,33.  $S8$  weist eine Abweichung von 0,38 auf und  $S9$  zeigt einen Unterschied von 0,57. In der virtuellen Realität hingegen liegen die Differenzen von  $S7$ ,  $S8$  und  $S9$  bei 0,90, 1,29 und 1,52. Tabelle 34 im Anhang bietet einen Überblick über alle Ergebnisse der visuellen Wahrnehmung.



**Abbildung 29:** Motorische Wahrnehmung in der virtuellen Realität bei einer Rahmenverschiebung nach links und deren Überblendung im Anwendungsprogramm

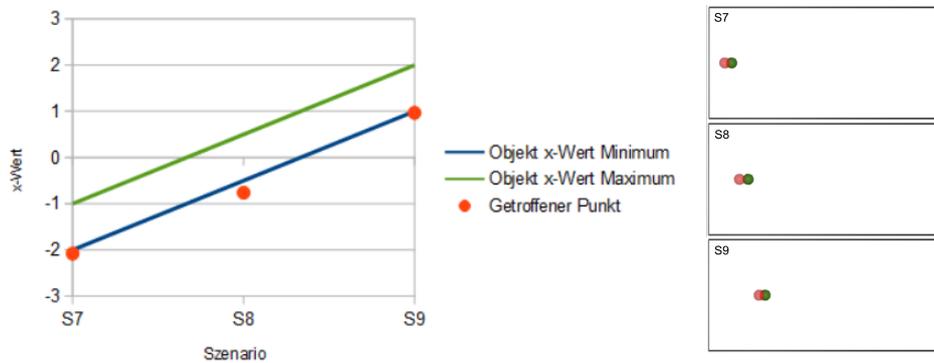
Des weiteren werden die Ergebnisse der motorischen Wahrnehmung in der virtuellen Umgebung erläutert. Diesbezüglich werden die gewonnenen Resultate in Diagrammen, als auch mittels Objektüberblendung dargestellt. In den Diagrammen symbolisieren zwei Geraden den Objektbereich auf der  $x$ -Achse. Die gezeigte Position durch den Probanden wird mit Hil-

fe von Punkten dargestellt. In den Objektüberblendungen stellt der grüne Punkt das tatsächliche Objekt dar, während ein roter Punkt an der gemittelten Zeigeposition angezeigt wird. Abbildung 29 präsentiert die Ergebnisse einer Rahmenverschiebung nach links. Die Probanden zeigten in *S1* sowie in *S2* leicht verschoben auf das Objekt, während sie in *S3* mit einer gemittelten Zeigeposition von 2,22 ( $\sigma = 1,22$ ) das Objekt leicht um 0,22 verfehlten. Die Standardabweichung deutet an dieser Stelle jedoch daraufhin, dass es sich um weit streuende Ergebnisse handelt. Eine Betrachtung der Trefferquote zeigt auf, dass 66,67% der Probanden die Objektposition korrekt anzeigen konnten. Bei den übrigen Szenarien lässt sich eine ähnliche Trefferquote von 71,43% (*S1*) und 66,67% (*S2*) beobachten. Folglich lässt sich vermuten, dass die motorische Wahrnehmung kaum beeinflusst wird, da eine große Zahl der Versuchspersonen das Objekt in allen drei Szenarien trafen. Dennoch lässt sich eine minimale Verschiebung des Objektmittelpunkts entgegengesetzt des Rahmens erkennen.



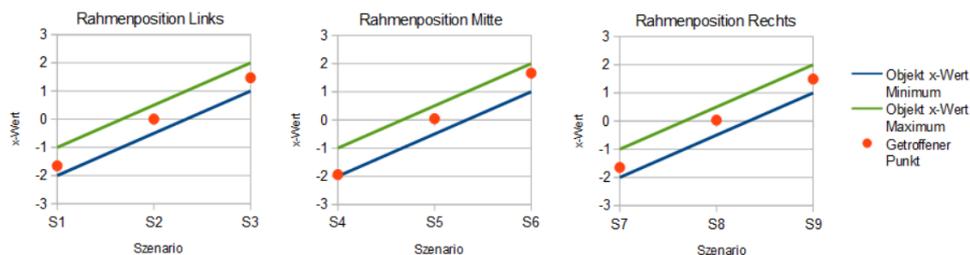
**Abbildung 30:** Motorische Wahrnehmung in der virtuellen Realität bei einer mittleren Rahmenausrichtung und deren Überblendung im Anwendungsprogramm

Die Untersuchung bezüglich des Kontrollrahmens zeigt dagegen erwartete Ergebnisse auf. Es wurde angenommen, dass die Objektpositionen bei mittlerer Rahmenposition gut getroffen werden. Wie anhand Abbildung 30 zu erkennen ist, weisen *S5* sowie *S6* eine präzise Zeigeposition, die nahe dem Objektmittelpunkt liegt, auf. Die zusätzliche Objektüberblendung verdeutlicht die annähernde Übereinstimmung der Zeigeposition mit der tatsächlichen Objektposition. Zudem lassen sich an dieser Stelle bessere Trefferquoten von 76,19% (*S1*), 76,19% (*S2*) und 85,71% (*S3*) erkennen. Die Betrachtung der motorischen Wahrnehmung anhand einer Rahmenverschiebung nach rechts kennzeichnet sich durch ähnliche Resultate wie in *S1*, *S2* und *S3*. Abbildung 31 zeigt, dass die gemittelte Zeigeposition der drei Szenarien knapp auf dem Objekt beziehungsweise minimal da-



**Abbildung 31:** Motorische Wahrnehmung in der virtuellen Realität bei einer Rahmenverschiebung nach rechts und deren Überblendung im Anwendungsprogramm

neben liegt. Diese beträgt bei einem Objektbereich von  $-2$  bis  $-1$  auf der  $x$ -Achse  $-2,08$  ( $\sigma = 0,78$ ).  $S2$  weist eine Verfehlung des Objekts auf. Hier wurde das Objekt um  $0,26$  entgegen der Rahmenposition verfehlt. Mit den Grenzen von  $1$  und  $2$  liegt die gezeigte Position in  $S3$  wiederum auf dem Objekt, jedoch nahe an der Objektgrenze. Demnach lässt sich eine minimale Verschiebung entgegen der verschobenen Rahmenposition beobachten. Ein Blick auf die Trefferquote zeigt jedoch erneut, dass die Anzahl der Probanden, die das Objekt trafen höher ausfällt als die Menge an Personen, deren Zeigeposition neben dem Objekt lag. Demnach trafen  $67,14\%$  ( $S1$ ),  $76,19\%$  ( $S2$ ) und  $76,19\%$  ( $S3$ ) der Versuchspersonen das Objekt.



**Abbildung 32:** Motorische Wahrnehmung in einem Experiment an einem Computerbildschirm.

Im Anschluss an die motorischen Wahrnehmungsergebnisse in der virtuellen Realität soll eine kurze Betrachtung der Resultate an einem Bildschirm erfolgen. Abbildung 32 zeigt daher die gewonnenen Vergleichsergebnisse. In allen Szenarien wurde das Objekt durch die Probanden getroffen. Zudem liegen nahezu alle Zeigepositionen annähernd in der Mitte des Objekts. Im Vergleich zu den Ergebnissen in der virtuellen Realität

(72,49%) liegt die Trefferquote der Szenarien bei 82,01%. Auf eine genaue Angabe der einzelnen Ergebnisse wird an dieser Stelle verzichtet, da diese in Tabelle 35 im Anhang aufgeführt sind.

## 6 Fazit

Zusammenfassend lässt sich die in Kapitel 5.1 aufgestellte Hypothese  $H1$  bestätigen. Die Ergebnisse in der virtuellen Realität weisen eindeutig eine höhere Beeinflussung der Probanden durch den Roelofs Effekt auf. Während die Rahmenbedingungen in dem Vergleichsexperiment durch den Bildschirm zu einer geringeren Täuschung der visuellen Wahrnehmung führten, unterlagen die Versuchspersonen in der virtuellen Umgebung einem nahezu doppelten Ausmaß des Effekts. Hier wurde das Objekt teilweise um zwei Stellen entgegengesetzt der Rahmenverschiebung verschoben wahrgenommen. Dies bestätigt die Hypothese  $H1.1$ , mit der eine größere Beeinflussung der visuellen Wahrnehmung in der virtuellen Realität angenommen wurde. Des weiteren erfolgte eine Untersuchung der motorischen Wahrnehmung. Diese unterliegt im Vergleichsexperiment keiner Täuschung. In der virtuellen Realität dagegen, zeigten eine geringe Anzahl der Probanden eine entgegen der Richtung der Rahmenverschiebung verschobene Position an. Infolgedessen zeigte sich im Mittel eine leicht abweichende Positionsangabe. Demnach wurden einige Probanden während dieser Aufgabe im Experiment getäuscht. Dennoch kann keine allgemeingültige Aussage bezüglich der Beeinflussung in der virtuellen Realität getroffen werden. Die Annahme, dass die motorische Wahrnehmung weder in der virtuellen Umgebung noch an einem Computerbildschirm beeinflusst wird, ist daher nicht völlig bestätigt worden. Abschließend zeigen die Experimentdurchführungen sowie deren Ergebnisse, dass die virtuelle Welt ein geeignetes Medium zur Untersuchung von Wahrnehmungseffekten darstellt. Zudem demonstrieren die Untersuchungen dieser Arbeit, anhand der größeren Täuschung der Probanden durch den Roelofs Effekt, dass sich Wahrnehmungsexperimente präziser untersuchen lassen, als in der Realität. Somit wurde die zuvor aufgestellte Hypothese  $H2$  ebenfalls hinsichtlich des vorliegenden Wahrnehmungseffekts bestätigt.

### 6.1 Verbesserungen

Um weitere und auch genauere Schlussfolgerungen über die Wahrnehmung in den verschiedenen Medien zu erhalten, wären Veränderungen der verschiedenen Komponenten im vorliegenden Experimentaufbau denkbar. Da die Objektgröße in der Realisierung der Anwendungen sehr klein gehalten wurde, wäre es beispielsweise interessant zu sehen, welche Auswirkung eine Größenänderung dieser auf den Roelofs Effekt hat. Ändert sich mit der Anpassung der Objektgröße das Ausmaß der Täuschung? Zudem ist eine genaue Nachbildung des Bildschirmexperiments in der virtuellen Realität denkbar. Damit könnten ebenfalls präzisere Vergleiche der gewonnenen Ergebnisse erfolgen. Was würde passieren, wenn man den Rahmen des Computerbildschirms in der virtuellen Umgebung simuliert und so-

wohl das hier beschriebene erste Experiment als auch den Vergleichstest in der virtuellen Realität durchführt? Um die Rahmenbedingungen der Experimente anzugleichen, müsste die Zeigeaufgabe innerhalb beider Versuche mittels gleichem Zeigegerät stattfinden. Hier wäre die Durchführung mithilfe eines Laserpointers in der Realität an einer großen Wand oder Bildschirm denkbar, ähnlich der Bridgeman Experimente.

Ein weiterer Punkt der in Erwägung gezogen werden kann, gestaltet sich in einer Versuchsdurchführung mit gleichen Probanden. So könnte man die Ergebnisse einer Person in der virtuellen Welt in einen direkten Vergleich mit ihren Ergebnissen aus der Realität setzen, um bessere Rückschlüsse im Bezug auf den Wahrnehmungseffekt zu erlangen. An dieser Stelle könnte es jedoch zu Problemen bezüglich eines Trainingseffekts kommen.

Das Wahrnehmungsexperiment dieser Arbeit wurde mit 21 Versuchspersonen durchgeführt. Eine breitere Masse sowie größere Anzahl an Versuchspersonen wäre ebenso wünschenswert, um die Tendenz der Ergebnisse zu beobachten und weiter zu bestärken.

Kapitel 3.1 demonstriert zudem, dass die Abschätzung von Entfernungen in einer virtuellen Welt beeinflusst wird. Eine fehlende Selbstwahrnehmung könnte hier der Grund sein. Eine Person, die virtuelle Realität vollkommen immersiv erlebt, nimmt sich selbst visuell nicht wahr, da sie mit einem HMD nur die Möglichkeit hat, das zu sehen, was die Simulation bereithält. Das fehlende Sehen des eigenen Körpers könnte demnach Grund dafür sein, warum beispielsweise Entfernungen von Objekten zu der Person selbst fehl wahrgenommen werden. Weitere Experimente bezüglich dieser Annahme wären daher ebenfalls interessant.

## **6.2 Vision**

Es wurde gezeigt, dass sich virtuelle Welten gut dazu eignen künstliche Umgebungen ohne Störfaktoren für psychologische Experimente zu erschaffen. Nicht nur Wahrnehmungseffekte lassen sich in diesen Zusammenhang eingehend untersuchen, auch im Hinblick auf Therapieansätze in der Psychologie bringt die Technologie vielerlei Vorteile mit sich. So ist es durchaus denkbar, dass sie in naher Zukunft einer noch größeren Masse zur Verfügung stehen könnte. Die Hardware entwickelt sich kontinuierlich weiter, wodurch auch kostengünstigere Systeme auf den Markt kommen. Zudem gestaltet sich die Auflösung der Inhalte immer besser, wodurch sich lebensnahe Simulationen entwerfen lassen, in denen Patienten beispielsweise mit ihren Ängsten konfrontiert werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass virtuelle Realität große Fortschritte in der Verhaltens- sowie Wahrnehmungsforschung bringen kann, die in dieser Arbeit anhand der Untersuchung des Roelofs Effekt gezeigt wurde.

## 7 Literaturverzeichnis

### Literatur

- [1] Bitkom Research. Virtual Reality wird immer bekannter, 2016.
- [2] Wolfgang Schweiger and Andreas Fahr. *Medienwirkungsforschung, Handbuch*. Springer Verlag, 2013.
- [3] Jochen Müsseler and Martina Rieger. *Allgemeine Psychologie*. Springer Verlag, 2017.
- [4] Stuart K. Card, Thomas P Moran, and Allen Newell. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. 1983.
- [5] Michael W. Eysenck and Mark T. Keane. *Cognitive Psychology - A Student's Handbook*. Psychology Press, 6 edition, 2015.
- [6] Dirk Wentura and Christian Frings. *Kognitive Psychologie*, volume 2. Springer Verlag, 2013.
- [7] Leslie G Ungerleider and Mortimer Mishkin. Two cortical visual systems, 1982.
- [8] A.D Milner and M.A Goodale. *The Visual Brain in Action*. Oxford University Press, 2 edition, 2006.
- [9] M. A. Goodale. How (and why) the visual control of action differs from visual perception. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2014.
- [10] Bernhard Hommel and Dieter Nattkemper. *Handlungspsychologie*. Springer Verlag, 2011.
- [11] E. Bruce Goldstein. *Sensation and Perception*. 2009.
- [12] Nicola Bruno and Volker H. Franz. When is grasping affected by the Müller-Lyer illusion?: A quantitative review. *Neuropsychologia*, 47, 2009.
- [13] Melvyn A Goodale and G Keith Humphrey. The objects of action and perception. *Cognition*, 67(1-2):181–207, 1998.
- [14] Paul Dassonville and Jagdeep Kaur Bala. Are the original Roelofs effect and the induced Roelofs effect confounded by the same expansion of remembered space ? *Vision Research*, 44:1025–1029, 2004.

- [15] Denise D J De Grave, Eli Brenner, and Jeroen B J Smeets. Are the original Roelofs effect and the induced Roelofs effect caused by the same shift in straight ahead ? 42:2279–2285, 2002.
- [16] Daniel J Felleman and David C Van Essen. Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, 1(1):1–47, 1991.
- [17] Bruce Bridgeman. Complementary Cognitive and Motor Image Processing. In *Perspectives in Vision Research*, pages 189–198. 1991.
- [18] Bruce Bridgeman and Shelley Peery. Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space. 59(3):456–469, 1997.
- [19] Paul Dassonville and Jagdeep Kaur Bala. Perception , Action , and Roelofs Effect : A Mere Illusion of Dissociation. 2(11), 2004.
- [20] Paul Dassonville, Bruce Bridgeman, Jagdeep Kaur Bala, Paul Thiem, and Anthony Sampanes. The induced Roelofs effect: Two visual systems or the shift of a single reference frame? *Vision Research*, 44(6):603–611, 2004.
- [21] Ralf Dörner, Wolfgang Broll, Paul Grimm, and Bernhard Jung. *Virtual und Augmented Reality (VR / AR)*. Number 1. Springer Vieweg, 1 edition, 2013.
- [22] Art Das Kunstmagazin. Meister der Täuschungen.
- [23] Yannic Hertel. Die Geschichte der virtuellen Realität, 2017.
- [24] William R Sherman and Alan B. Craig. *Understanding Virtual Reality*, volume 59. 2003.
- [25] Sebastian Buss and Sebastian Bohnhoff. Virtual Reality: Mehr als nur Gaming? pages 1–17, 2016.
- [26] Markus Schmidgall, Marvin Hedoch, Julian Schiele, Achmad Jaber, Betreut Von, and Carsten Lecon. Seminararbeit Virtuelle Realität. 2016.
- [27] G Bente, NC Krämer, and A Petersen. *Virtuelle Realitäten*. 2002.
- [28] Albert S. Carlin, Hunter G. Hoffman, and Suzanne Weghorst. Virtual reality and tactile augmentation in the treatment of spider phobia: A case report. *Behaviour Research and Therapy*, 35(2):153–158, 1997.
- [29] Ulrich Kraft. Virtual Reality in der Psychologie und Neurologie - Virtuelle Therapie , reale Wirkung, 2017.

- [30] Hendrik a H C Van Veen, Hartwig K Distler, Stephan J Braun, and Heinrich H Biilthoff. Navigating through a virtual city: Using virtual reality technology to study human action and perception \*. *FGCS ELSEVIER Future Generation Computer Systems*, 14(98):231–242, 1998.
- [31] Victoria Interrante, Brian Ries, and Lee Anderson. Distance Perception in Immersive Virtual Environments, Revisited. *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, pages 3–10, 2006.

## A Anhang

Bezeichnung	Rahmenposition	Objektposition
S1	Links	2
S2	Links	3
S3	Links	4
S4	Mitte	2
S5	Mitte	3
S6	Mitte	4
S7	Rechts	2
S8	Rechts	3
S9	Rechts	4

Abbildung 33: Alle Kombinationsmöglichkeiten von Rahmen und Objektposition mit entsprechender Bezeichnung.

	Objektposition	Erwartete Positionsangabe	Positionsangabe				Abweichung von Objektposition	
			VR		BE		VR	BE
			$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$		
S1	2	3	3,95	1,28	2,95	1,40	1,95	0,95
S2	3	4	4,38	1,07	3,81	1,25	1,38	0,81
S3	4	5	4,71	0,64	4,19	0,81	0,71	0,19
S4	2	2	2,33	0,66	2,19	0,60	0,33	0,19
S5	3	3	3,00	0,55	3,00	0,32	0,00	0,00
S6	4	4	3,76	0,44	3,95	0,38	0,24	0,05
S7	2	1	1,10	0,30	1,67	0,91	0,90	0,33
S8	3	2	1,71	0,85	2,62	1,07	1,29	0,38
S9	4	3	2,48	0,75	3,43	1,12	1,52	0,57

Abbildung 34: Übersichtstabelle der Ergebnisse bezüglich der visuellen Wahrnehmung.

	Objektposition	Objektbereich x-Wert		Positionsangabe				Trefferquote	
				VR		BE		VR	BE
		min	max	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$		
S1	2	-2	-1	-1,20	0,78	-1,65	0,66	66,67%	66,67%
S2	3	-0,5	0,5	0,48	0,98	0,00	0,45	71,43%	85,71%
S3	4	1	2	2,22	1,22	1,47	0,41	66,67%	85,71%
S4	2	-2	-1	-1,88	0,43	-1,94	0,51	76,19%	66,67%
S5	3	-0,5	0,5	0,05	0,43	0,04	0,27	76,19%	95,24%
S6	4	1	2	1,65	0,34	1,66	0,62	85,71%	76,19%
S7	2	-2	-1	-2,08	0,78	-1,65	0,52	57,14%	90,48%
S8	3	-0,5	0,5	-0,76	1,15	0,03	0,41	76,19%	90,48%
S9	4	1	2	0,97	1,08	1,49	0,41	76,19%	80,95%
Insgesamt								72,49%	82,01%

Abbildung 35: Übersichtstabelle der Ergebnisse bezüglich der motorischen Wahrnehmung.

# Personenbezogener Fragebogen

TP

## 1. Geschlecht

Markieren Sie nur ein Oval.

- männlich  
 weiblich

## 2. Alter

\_\_\_\_\_

## 3. Als was sind Sie tätig?

Markieren Sie nur ein Oval.

- Schüler  
 Student  
 Sonstiges: \_\_\_\_\_

## 4. Ich habe schon Erfahrungen mit VR gesammelt.

Markieren Sie nur ein Oval.

- Ja  
 Nein

## 5. Ich fühle mich müde

Markieren Sie nur ein Oval.

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

## 6. Ich fühle mich angestrengt

Markieren Sie nur ein Oval.

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

## 7. Ich fühle mich gestresst

Markieren Sie nur ein Oval.

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