

Fakultät 15: Kulturwissenschaften

Studiengang: Angewandte Sprachwissenschaften

Virtual Reality in der Forschung

Potenzial und Anwendung von Head-Mounted
Displays in der wissenschaftlichen Forschung

Bachelorarbeit im Hauptstudium

zur Erreichung des Grades Bachelor of Arts

Vorgelegt von: Tom-Louis Wurg
E-Mail: tom.wurg@tu-dortmund.de

Erstprüferin: Prof. Dr. Barbara Mertins
Zweitprüferin: Dr. Renate Delucci-Danhier

Ort: Dortmund
Abgabedatum: 22.09.2019

Gliederung

1. Einleitung.....	1
2. Virtual Reality.....	2
2.1 Historische Entwicklung der Virtual Reality.....	3
2.2 Definition und Charakterisierungen von Virtual Reality.....	5
2.2.1 Technologieorientierte Charakterisierungen der Virtual Reality.....	5
2.2.2 Virtual Reality als innovative Form der Mensch-Maschine Interaktion.....	6
2.2.3 Mentale Aspekte der Virtual Reality-Erfahrung.....	7
2.4 Wahrnehmungsaspekte von Virtual Reality.....	8
2.4.1 Menschliche Informationsverarbeitung.....	9
2.4.2 Visuelle Wahrnehmung.....	10
2.4.3 Raumwahrnehmung.....	11
2.5 Virtual Reality-Systeme.....	13
2.5.1 Eingabegeräte.....	14
2.5.1.1 Charakteristika der Eingabegeräte.....	15
2.5.1.2 Optisches Tracking.....	16
2.5.1.3 Weitere Eingabegeräte.....	17
2.5.1.4 Eye-Tracking.....	18
2.5.2 Ausgabegeräte.....	19
2.5.2.2 Head-Mounted Displays.....	21
2.5.2.3 Akustische und haptische Ausgabegeräte.....	22
2.6 Anwendungsfelder von Virtual Reality.....	23
3. Potenzial von Virtual Reality in der Psycholinguistik.....	25
3.1 Psycholinguistik.....	26
3.1.1 Methoden der Psycholinguistik.....	26
3.1.2 Erste psycholinguistische Experimente mit Virtual Reality.....	27
3.2 Chancen und Risiken bei Forschung mit Virtual Reality (SWOT-Analyse).....	29
3.2.1 Stärken.....	30
3.2.2 Schwächen.....	31

3.2.3 Chancen.....	32
3.2.4 Risiken.....	33
4. Handlungsempfehlung für VR-betriebene Forschung.....	34
4.1 Fragestellung	35
4.2. Virtuelle Welt.....	35
4.3 Versuchsaufbau und Technik	36
4.4 Probanden	37
4.5 Ablauf	38
5. Schlussbetrachtung	39
5.1 Zusammenfassung	39
5.2 Fazit und Ausblick	40
6. Literaturverzeichnis	41

1. Einleitung

Technische Trends und Entwicklungen verändern nicht nur die Wirtschaft und den Alltag der Menschen, sondern auch das Gesicht und die Methoden der Wissenschaft. Ein solcher technischer Trend, der sich im letzten Jahrzehnt enorm entwickelte, ist die sogenannte Virtual Reality (VR), die Virtuelle Realität. Meist durch ein Head-Mounted Display (HMD) realisiert, kann der Begriff „Virtual Reality“ verstanden werden, als ein Konglomerat aus verschiedenen psychologischen Konzepten und technischen Möglichkeiten, um für die unterschiedlichsten Zwecke eine virtuelle Umgebung anzuzeigen. Mittlerweile kann sich jeder Verbraucher mit dem nötigen Kleingeld ein solches HMD kaufen, um Spiele und Filme immersiv als neue, virtuelle Realitäten zu erleben. Diese Displays werden zudem stetig weiterentwickelt und bieten von Mal zu Mal mehr Auflösung, schnellere Bildraten und ein flüssigeres Erlebnis, um die Erfahrung möglichst eindringlich zu machen und dem Nutzer vorzuspielen, sich tatsächlich in einer anderen Realität zu befinden. Mittlerweile wird VR aber nicht nur von der Unterhaltungsbranche für Videospiele und Filme genutzt, sondern wird zum Beispiel auch für Marketingzwecke oder auch für die Erlebnispädagogik verwendet.

Neben all den Fortschritten, die es im Bereich der virtuellen Realitäten gegeben hat, und den Errungenschaften, welche diese Fortschritte in anderen Disziplinen erbracht haben, findet Virtual Reality auch immer mehr als Forschungsinstrument in der Wissenschaft Verwendung. Als Instrument bietet VR dabei zwar immense neue Möglichkeiten, wie zum Beispiel die Erforschung von psychologischen Vorgängen bei der Raumwahrnehmung, aber auch Risiken mit Blick auf die technischen Limitierungen und möglicherweise negativ auftretenden Auswirkungen auf den menschlichen Geist.

Die folgende Arbeit soll sich daher mit dem Potenzial und den Anwendungsgebieten von Virtual Reality in der wissenschaftlichen Forschung beschäftigen. Im Besonderen wird sich dabei auf die psycholinguistische Forschung bezogen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass diese Arbeit im Kontext eines Projektes in den psycholinguistics laboratories der Technischen Universität Dortmund zur Erforschung von sprachlich differenzierter Raumwahrnehmung mittels eines Head-Mounted Displays entsteht. Bei diesem HMD handelt es sich um ein VR-System namens „Vive“ der Marke „HTC“, welches zusätzlich, von der mittlerweile nicht mehr existenten Firma SMI, mit einem Eye-Tracker ausgestattet wurde. Der Autor dieser Arbeit wurde in den psycholinguistics laboratories angestellt, um sich dem Thema „Virtual Reality“ anzunähern, sich mit der zur Verfügung stehenden Technik und

Software auseinander zu setzen und auch mit der Erstellung von möglichen Stimuli für das VR-System zu beschäftigen. Die vorliegende Arbeit strebt also an eine Doppelfunktion zu erfüllen: Sie soll neben dem oben genannten Ziel zur Aufklärung des Potenzials von Virtual Reality für die wissenschaftliche Forschung, also auch explizit als erste Annäherung und Überblick über „Virtual Reality“ im Allgemeinen sowie als Grundlage und Handlungsempfehlung für zukünftige Anwendungsgebiete in der psycholinguistischen Forschung im Speziellen dienen.

Im Folgenden werden zunächst die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit erläutert und damit das Konzept von Virtual Reality eingehend dargelegt, bevor schließlich auf das Anwendungspotenzial von Virtual Reality in der psycholinguistischen Forschung eingegangen wird. Dieser Schritt ist notwendig, da das Potenzial von Virtual Reality in der Forschung mit der aus den Wirtschaftswissenschaften entlehnten und in diesen erprobten Methode der SWOT-Analyse erhoben werden soll. Für eine SWOT-Analyse müssen zunächst sämtliche Daten und Fakten zum erforschten Feld vorliegen, bevor diese neu geordnet, miteinander verglichen und in einen spezifischen Kontext gesetzt werden. In diesem Fall werden die Informationen des dargelegten Überblicks über Virtual Reality in den Kontext der Psycholinguistik gesetzt. Letztlich soll diese Arbeit mit einer Handlungsempfehlung für beispielhafte psycholinguistische Studien mit Virtual Reality bedacht werden, bevor die gesamte Arbeit abschließend erneut zusammengefasst und einem Fazit unterzogen wird.

Um den Lesefluss zu erleichtern wurde sich dazu entschieden, im weiteren Verlauf dieser Arbeit vorwiegend die männliche Form zu verwenden. „Nutzer“, „Forscher“ oder „Teilnehmer“ sind sowohl männlich als auch weiblich zu verstehen und sollen keine diskriminierende Haltung des Autors zum Ausdruck bringen.

2. Virtual Reality

Bevor also im Laufe dieser Arbeit auf das Anwendungspotenzial von Virtual Reality in der wissenschaftlichen und speziell der psycholinguistischen Forschung eingegangen werden kann, soll an dieser Stelle zunächst auf die historische Entwicklung und die Definition von Virtual Reality eingegangen werden. Anschließend müssen auch die Fähigkeit der menschlichen Informationsverarbeitung, sowie die verschiedenen Aspekte menschlicher Wahrnehmung bezogen auf VR dargelegt werden, bevor auf den derzeitigen Stand der Technik eingegangen und die dazugehörigen Eingabe- und Ausgabegeräte von VR erläutert werden können. Abgeschlossen wird

dieses Kapitel mit einem Überblick über die derzeitigen Anwendungsgebiete von Virtual Reality.

Um einen besseren Lesefluss zu bieten und Verwirrungen zu vermeiden, werden die in diesem Kapitel behandelten Themen vornehmlich oder sogar ausschließlich auf Virtual Reality bezogen und erst im darauffolgenden Kapitel in einen psycholinguistischen Kontext gesetzt. Somit soll garantiert werden, dass diese Arbeit sowohl einen angemessenen Überblick über das Konzept von Virtual Reality, als auch eine Untersuchung von Virtual Reality in der psycholinguistischen Forschung bietet.

2.1 Historische Entwicklung der Virtual Reality

Obwohl sich die Menschheit schon seit Jahrhunderten dem Konzept von anderen oder erweiterten Realitäten auf philosophische und künstlerische Weise annäherten, beginnt die Geschichte von „Virtual Reality“ für das Verständnis dieser Arbeit erst in der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts mit Wissenschaftlern wie Alan Turing, John von Neumann und Hein von Foerster, welche die moderne Computertechnik maßgeblich beeinflussten und somit die Voraussetzungen schafften, derer sich die VR heute bedient.

Neben verschiedenen anderen Spielereien, wie erste 3D-Filme und Geruchskarten, welche das Kinoerlebnis in den fünfziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts erweitern sollten, entwickelte der Filmemacher Morton Heilig das so genannte „Sensorama“. Dabei handelte es sich um eine einem Spielautomaten gleichende Kabine, die über ein 3D-Display und einen vibrierenden Sitz verfügte und sogar Gerüche erzeugen konnte. Er schuf damit die Grundlage für unsere heutige Vorstellung von der Technik hinter „Virtual Reality“ und ließ sich später sogar eine Version seines „Sensoramas“ patentieren, welche heute als erste die Idee von einem „Head-Mounted Display“ (HMD) gilt, also ein Display, das um den Kopf geschnallt wird und den Augen ein stereoskopisches 3D-Bild anzeigt (vgl. Dormehl 2017).

Im Jahr 1965 konzipierte der Computerwissenschaftler Ivan Sutherland am Massachusetts Institute of Technology seine Vorstellung eines „ultimativen Displays“ und verband in diesem als erster Wissenschaftler lange vor der Erfindung des Personal Computers „den Rechner mit dem Design, der Konstruktion, der Navigation und dem Erleben virtueller Welten“ (Dörner/ Jung/ Grimm/ Broll/ Göbel 2013, 19). Drei Jahre später präsentierte Sutherland sogar tatsächlich eine vorläufige Variante dieses Displays, welches er „Damoklesschwert“ nannte und welches als das erste umgesetzte HMD der Welt angesehen werden kann. Der Name dieses Gerätes rührte daher, dass dieses zwar

auf den Kopf des Probanden gesetzt wurde, es aber aufgrund seiner Schwere noch an mehreren Metallstützen an der Wand und in der Decke verankert werden musste und somit eher über dem Kopf schwebte. Dennoch konnte das Gerät schon mit Kopfbewegungen gedreht und bewegt werden, wobei die simplen virtuellen Figuren, die das Display erzeugte und welche in den Augen des Nutzers scheinbar über den echten Raum projiziert wurden, ihre ursprüngliche Position beibehielten (vgl. Dormehl 2017). Sutherlands Display kann somit auch als erster Fall von Augmented Reality, also erweiterter Realität, angesehen werden. Augmented Reality ist eine weitere Kategorie im Bereich der VR, welche für den Gegenstand dieser Arbeit jedoch nicht von Bedeutung ist und somit vernachlässigt werden kann.

Viele weitere technische Entwicklungen und Errungenschaften begünstigten den Fortschritt im Bereich der „Virtual Reality“, welche vermutlich 1982 vom Science-Fiction-Autor Damien Broderick in seinem Roman „The Judas Mandala“ erstmalig auf diese Weise benannt wurde. Wissenschaftler konzipierten und entwickelten zum Beispiel neue Arten von Flugsimulatoren, neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion wie Datenhandschuhe, aber auch neue Tracking-Methoden wie Elektromagnetismus- und später Ultraschall-basierte Tracking-Systeme (vgl. Dormehl 2017). Auch die HMDs wurden auf der Grundlage von Sutherland weiterentwickelt, wenn auch noch nicht in der Form, wie sie heute geläufig sind. Anfang der neunziger Jahre wurden schließlich richtungsweisende Schritte unternommen VR in Computersysteme zu implementieren. Man baute Räume aus Leinwänden die projektionsbasierte Darstellungen möglich machten, welche als „CAVE“ bekannt wurden und dem Betrachter reale Darstellungen in korrekter Perspektive ermöglichten. Noch heute finden diese CAVEs in der Industrie, dem Design und der Unterhaltungsindustrie Anwendung (vgl. Patz 2015, 18). Auch die Unterhaltungsindustrie wagte in den neunziger Jahren mit SEGA und Nintendo erste Schritte VR massenfähig zu gestalten, in dem sie Headsets entwickelten, die dem Betrachter ein sehr rudimentäres stereoskopisches Bild anzeigen und somit erste VR-Spiele abspielen konnten.

Obwohl sich ab Ende der neunziger Jahre viele Firmen auf der ganzen Welt mit der Weiterentwicklung von Virtual Reality und HMDs beschäftigten, bekam diese Disziplin erst 2012 wieder Aufwind, als Palmer Luckey und John Carmack die „Oculus Rift“ entwickelten. Dieses war ein Head-Mounted Display, das in seinem Grundgedanken und -eigenschaften zwar schon von vielen anderen Firmen vor ihnen konzipiert worden war, dennoch konnten die beiden Entwickler durch ihre Kickstarter-

Kampagne genug Aufmerksamkeit generieren, um ein neues Interesse der Bevölkerung zu generieren. Seitdem werden vielerorts, besonders jedoch im Segment der Unterhaltungsindustrie, neue Displays entwickelt, bis sie spätestens im Jahr 2017 im „Mainstream“ angekommen sind. Heute wird Virtual Reality nicht mehr nur als Gegenstand erforscht und für Unterhaltungszwecke genutzt, sondern auch als Forschungsinstrument selbst eingesetzt.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, will diese Arbeit das Potenzial von Virtual Reality als solches Forschungsinstrument erörtern. Inwieweit Virtual Reality und besonders Head-Mounted Displays bereits in der Forschung eingesetzt werden, soll zu einem späteren Zeitpunkt noch eingehender erläutert werden. Zunächst soll jedoch, nachdem die historische Entwicklung von Virtual Reality das uneinheitliche Bild des Konzeptes offengelegt hat, die „Virtual Reality“ als Begriff definiert und charakterisiert werden.

2.2 Definition und Charakterisierungen von Virtual Reality

Da sich Virtual Reality vor dem Hintergrund vieler verschiedener Disziplinen betrachten lässt, kann man sich der Definition derselbigen ebenso auf verschiedenster Weise annähern. So lässt sich Virtual Reality als umfassende Simulation verstehen, welche „für den Menschen nicht mehr von der echten Realität unterscheidbar ist“ (Dörner/ Jung/ Grimm/ Broll/ Göbel 2013, 12). Andererseits ist Virtual Reality auch aus praktischer Sicht ein Werkzeug für die Produktentwicklung in vielen Industriebranchen. Tatsächlich gibt es, vor allem aufgrund der noch fortschreitenden Entwicklung von Virtual Reality also keine einheitliche Definition von „Virtual Reality“ oder „Virtueller Realität“. Sie lässt sich aber dennoch aus verschiedenen Blickwinkeln charakterisieren und mit bestimmten Merkmalen versehen. In diesem Abschnitt werden drei verschiedene Betrachtungsweisen auf Virtual Reality dargelegt, die aufzeigen sollen, wie schwierig die Einordnung dieses Begriffs ist. Es soll jedoch gesagt werden, dass keine Charakterisierung die andere ausschließt, sondern dass sich erst in der Kombination dieser drei Betrachtungsweisen von Virtual Reality ein vollständiges Konzept ergibt, mit dem dann im Laufe dieser Arbeit fortgefahen werden kann.

2.2.1 Technologieorientierte Charakterisierungen der Virtual Reality

Zunächst kann man sich der Virtual Reality technologieorientiert annähern, indem man sich vor allem auf die Eingabe- und Ausgabegeräte fokussiert, sich also

effektiv mit den „am Kopf des Nutzers z.B. in Form von Helmen angebrachte Displays (engl. Head-Mounted Displays)“ (Dörner/ Jung/ Grimm/ Broll/ Göbel 2013, 12) beschäftigt. Vor diesem Hintergrund bezieht sich der Begriff „Virtual Reality“ je nach Kontext entweder eher gerätekonzentriert auf die „3D-Displays und Interaktions-Geräte, um in Echtzeit computergenerierte Umgebungen zu erkunden“ oder - breiter gefasst - auf die „immersiven, interaktiven, multisensorischen, Betrachter-zentrierten, dreidimensionalen, computergenerierten Umgebungen sowie die Kombination aus Technologien um diese Umgebungen zu bauen“ (vgl. ebd. 13). Zur technologieorientierten Betrachtungsweise von Virtual Reality gehören auch die verschiedenen Tracking-Methoden, die notwendig sind, um Virtual Reality überhaupt möglich zu machen. Auf diese, sowie auf die weiteren Eingabe- und Ausgabegeräte im Allgemeinen, soll in Abschnitt 2.5 noch genauer eingegangen werden, da diese für die spätere Analyse des Potenzials von Virtual Reality noch von Bedeutung sein werden.

2.2.2 Virtual Reality als innovative Form der Mensch-Maschine Interaktion

Eine weitere Betrachtungsweise von Virtual Reality ist der Fokus auf die Mensch-Maschine Interaktion. Dabei zeigt sich, dass Virtual Reality eine Innovation darstellt, die es dem Benutzer ermöglicht, auf völlig neue Weise mit dem Computer zu kommunizieren und ein „natürliches oder intuitives Interagieren mit der dreidimensional simulierten Umgebung“ (Dörner/ Jung/ Grimm/ Broll/ Göbel 2013, 15) ermöglicht. Virtual Reality kann somit zum Beispiel graphische Benutzungsstellen wie die Interaktion über ein Interface und ein Zeigegerät, wie eine Computermaus, überflüssig machen. Essenziell für diese Betrachtungsweise von Virtual Reality ist die Intuition des Menschen, der aus seinem Alltag bestimmtes Vorwissen mitbringt und Erwartungen an die simulierte Umgebung über die Eigenschaft und die Manipulation von Elementen stellt (vgl. ebd., 16). Dieser Intuition muss Virtual Reality gerecht werden, indem man die technischen Voraussetzungen schafft, diese Intuition umzusetzen. In einem perfekten System müsste der Mensch dazu in der Lage sein, „mit den Elementen zu interagieren, in dem er sie ansieht, sie hält, sie manipuliert, spricht, zuhört oder sie bewegt und dabei so viele seiner natürlich vorhandenen Fähigkeiten nutzt wie für die Aufgabe notwendig sind“ (ebd., 16). Obwohl diese sehr elaborierte Vorstellung eines perfekten Systems bislang noch nicht umgesetzt werden kann, ist Interaktion bei den meisten existierenden VR-Systemen schon wesentlich intuitiver und natürlicher als bei konventionellen 2D-Schnittstellen (vgl. ebd., 16). Als herausragendste Charakteristikum von Virtual Reality wird in dieser

Betrachtungsweise jedoch die Inklusion genannt. Das meint, dass der Nutzer von Virtual Reality von einer Umwelt umgeben ist und somit direkt in den Informationen platziert wird, statt nur über einen zweidimensionalen Bildschirm auf sie zuzugreifen. Dies ist es auch, was die eben schon erwähnte „Immersion“ meint: Der Nutzer hat durch die passenden Gerätschaften das Gefühl in eine andere Realität einzutauchen und von der physikalischen Realität abgeschirmt zu werden. In einer perfekten, völlig immersiven Virtual Reality würde der Nutzer durch die Inklusion die simulierte Welt von innen erleben und sie auch von innen bearbeiten und manipulieren können (vgl. ebd., 17).

2.2.3 Mentale Aspekte der Virtual Reality-Erfahrung

Eine dritte Betrachtungsweise beschreibt Virtual Reality nicht durch ihre technischen Gegebenheiten oder als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, sondern bezieht sich auf die Erfahrung, die Virtual Reality erzeugt. Demnach würde Virtual Reality die Erfahrung bieten, sich „in einer virtuellen Welt zu befinden oder zumindest an einem fremden Ort zu sein“ (Dörner/ Jung/ Grimm/ Broll/ Göbel 2013, 17). Mit den perfekten Voraussetzungen würde Virtual Reality die Sinneseindrücke, Handlungen und Effekte, die der Mensch aus seiner Welt gewohnt ist, im System erzeugen und sie als perfekte, nicht von jener realen Welt zu unterscheidende Realität wiedergeben. (vgl. ebd., 17). Da die derzeitig bestehenden Systeme jedoch noch weit von der Perfektion entfernt sind, bedeutet diese Betrachtungsweise von Virtual Reality einzunehmen, schließlich auch nach den mentalen Aspekten der Wahrnehmung zu fragen. So stellt sich die Frage, welche Auswirkungen die Erfahrung mit Virtual Reality auf die höheren Prozesse der menschlichen Wahrnehmung haben. Auch muss erforscht werden, ob der Nutzer tatsächlich das Gefühl hat an einem anderen Ort zu sein, oder ob er die einzelnen Pixel der Displays sieht, was die Immersion stören würde. Die Erforschung von Virtual Reality verwendet verschiedene, teils uneinheitlich definierte Begriffe um diese Fragen zu beantworten. Einer der zentralsten Begriffe, um die mentalen Aspekte der Virtual Reality-Erfahrung zu beschreiben, ist das Konzept der Präsenz (vgl. ebd., 18), welches das Gefühl beschreiben soll „sich innerhalb der virtuellen Umgebung zu befinden, die von einem immersiven Virtual Reality-System dargestellt wird“ (ebd., 18) und sich daher auch ebenso verhält, als wäre er in der realen Welt. Das Gefühl der Präsenz wird unterteilt in drei Teilaspekte, nämlich dem der Ortsillusion, der Plausibilitätsillusion und der Involviertheit.

Die „Ortsillusion“ ist der Teilaspekt der Präsenz, die Aufschluss darüber geben soll, inwieweit sich der Nutzer der Virtual Reality sich an einen an der dargestellten Orte versetzt fühlt. Sie ist abhängig vom Betrachter, daher muss sich das System an die Umstände und Bewegungen des Nutzers anpassen können. Wenn der Nutzer seinen Kopf dreht oder bewegt, muss sich auch die Perspektive der dargestellten Umgebung um denselben Grad ändern, andernfalls droht ein Präsenzbruch (vgl. ebd., 18). Die „Plausibilitätsillusion“ bezieht sich auf den Realismus der dargestellten Umgebung. Obwohl diese zwar zum Beispiel nicht zwingend mit den Naturgesetzen der realen Welt übereinstimmen muss, können virtuelle Personen, die den Nutzer ansprechen und immer wieder die gleichen Sätze wiederholen, die Glaubhaftigkeit der Umgebung stören (vgl. ebd., 19). Die „Involviertheit“ ist schließlich der Grad, inwieweit die Umgebung das Interesse des Nutzers generieren kann. Sie ist nicht abhängig von den Eingaben des Nutzers, sondern ausschließlich von den Inhalten der virtuellen Umgebung (vgl. ebd.).

Der Grad der Präsenz, der von einem Virtual Reality-System bei seinen Nutzern ausgelöst wird, lässt sich durch experimentelle Untersuchungen mit Testpersonen messen. Dies kann entweder durch Fragebögen, durch das Beobachten von Bewegungen und emotionalen Ausdrücken oder aber auch durch das messen von Herzfrequenz und Hautwiderstand geschehen (vgl. ebd., 19).

2.4 Wahrnehmungsaspekte von Virtual Reality

Wie aus der zuletzt genannten Charakterisierung von Virtual Reality als Erfahrung ersichtlich wurde, spielt die Wahrnehmung und die mentale Disposition des Nutzers von VR eine entscheidende Rolle bei der Rezeption der virtuellen Welten. Um diese Erfahrung und ihre mentalen Aspekte verstehend untersuchen zu können, ist es notwendig, die Wahrnehmungsaspekte von Virtual Reality zu erläutern. Dazu werden zunächst die Grundlagen der menschlichen Informationsverarbeitung dargelegt, bevor mit der visuellen Wahrnehmung und der Raumwahrnehmung in der Virtual Reality eingegangen wird. Aus Platzgründen wird auf die Darlegung der weiteren, multisensorischen Wahrnehmung weitestgehend verzichtet, da diese - bis auf die auditive Wahrnehmung und die Bewegungswahrnehmung - für den Kontext dieser Arbeit von geringer Bedeutung ist.

Im Folgenden wird zunächst von dem Normalfall der menschlichen Wahrnehmung ausgegangen, also dass der Mensch über sämtliche notwendigen Organe

und Fähigkeiten verfügt, ohne dass pathologische Defizite bestehen. Auf die Probleme und Phänomene der visuellen Wahrnehmung und der Raumwahrnehmung wird zu einem späteren Zeitpunkt eingegangen.

2.4.1 Menschliche Informationsverarbeitung

„Die Art und Weise wie Menschen Informationen wahrnehmen und verarbeiten ist essentiell für die Gestaltung von virtuellen Welten sowie die Interaktion innerhalb solcher“ (Dörner/ Steinicke 2013, 33). Da letztlich jede virtuelle Welt (oder im vorliegenden Fall jeder digital erstellte Stimuli für Forschungszwecke mit VR) vom Menschen betrachtet und verarbeitet wird, ist es sinnvoll, sich eingehender mit menschlicher Informationsverarbeitung zu beschäftigen.

Wie in der realen Welt auch, geschieht die Wahrnehmung einer simulierten Umwelt über ihre Sinneseindrücke (vgl. Dörner/ Steinicke 2013, 34). Die VR fokussiert sich dabei, wie bereits erwähnt, besonders auf den visuellen, den akustischen und den haptischen Sinn; die virtuelle Welt wird also vor allem über die Augen, die Ohren und die Haut wahrgenommen (vgl. ebd.). Obwohl sich die Wahrnehmung der VR damit im Kern der Informationsverarbeitung nicht von herkömmlichen Mensch-Maschine-Schnittstellen, wie der Desktop-Umgebung, unterscheidet, gilt die Immersion bei der VR als das Alleinstellungsmerkmal (vgl. ebd.). So werden Bewegungen und andere potenzielle Eingaben wie „Sprache, Gesten und andere menschliche Ausdrucksformen“ (Dörner/ Steinicke 2013, 34) des Nutzers im realen Raum auf die virtuelle Welt übertragen.

Mithilfe einer Metapher aus der Informatik können die Vorgänge der menschlichen Informationsverarbeitung als System mit Eingaben und Ausgaben verstanden werden. Alles Physische entspricht dabei der Hardware und alles Psychische der Software. Äußere Reize werden als Eingabe vom perzeptuellen System durch die Sinne wahrgenommen und gespeichert. Im kognitiven System, welches auf das Arbeits- und Langzeitgedächtnis zugreift, werden die Eingaben verarbeitet und interpretiert. Die Kognition plant eine Handlung, die dann im motorischen System durch die Hardware des Menschen ausgeführt wird (vgl. Dörner/ Steinecke 2013, 34).

Dieses Modell, das die natürlich wesentlich komplexeren Vorgänge nur schematisch beschreibt, soll verdeutlichen, dass bestimmte Aufgaben, deren Bewältigung mehrmaliges Durchlaufen dieses Prozesses benötigen, länger dauern als simplere Aufgaben (vgl. ebd., 35). So dauert zum Beispiel ein Vergleich von verschiedenen Bildern länger, als eine einfache Reaktion auf einen Reiz oder Stimulus,

da bei dem Vergleich der Akteur den kognitiven Prozess mehrmalig durchlaufen muss, bis das motorische System eine Ausgabemöglichkeit erhält. Diese Erkenntnis sollte beim späteren Bauen von VR-Stimuli für Forschungszwecke besonders beachtet werden.

2.4.2 Visuelle Wahrnehmung

Obwohl die menschliche Sinneswahrnehmung von multimodaler Natur ist, ist es der Sehsinn, der innerhalb der Technologiedebatte über Virtual Reality den meisten Raum einnimmt (vgl. Patz 2015, 17). Der Sehsinn funktioniert über das menschliche Auge, bei dem Licht durch eine Linse auf die innenliegende Netzhaut projiziert wird. Durch etwa 120 Millionen Sehzellen, die sich in „Stäbchen“ für die Unterscheidung von Hell und Dunkel und „Zapfen“ für die Unterscheidung von Farben unterteilen, kann das Auge nicht nur Bilder wahrnehmen, sondern diese auch analysieren und bearbeiten. Eine sehr kleine Fläche mit der größten Dichte an Sehzellen und der folglich höchsten Abbildungsschärfe wird „Fovea“ genannt. Um ein scharfes Bild zu erhalten muss das Auge die Linse durch Muskelkontraktionen, je nach Entfernung des wahrzunehmenden Objektes oder des zu fixierenden Punktes, strecken oder stauchen, was auch „Akkommodation“ genannt wird. Das Auge kann einen solchen Punkt jedoch nur für etwa 250 Millisekunden bis zu einer Sekunde fixieren. Danach tritt eine ruckartige Augenbewegung ein, die auch „Sakkade“ genannt wird und welche der peripheren Wahrnehmung dient. Wenn das durch die Augen wahrgenommene, analysierte und bearbeitete Bild über die Sehnerven an das Gehirn weitergeleitet wird, bleiben auch räumliche Lagebeziehungen durch die Lagebeziehungen der Rezeptoren, der Nervenbahnen und später der Synapsen erhalten und können im visuellen Kortex des Gehirns als neuronale Karte nachgewiesen werden (vgl. Dörner/ Steinecke 2013, 36).

Ein wichtiges Phänomen der visuellen Wahrnehmung, welches auch für die meisten VR-Systeme entscheidend ist, ist die sogenannte „Stereopsis“, also das „Stereosehen“ oder auch das „stereoskopische Sehen“. Dieser Begriff beschreibt, wie der Mensch die ihn umgebene Umwelt zwar mit zwei Augen sieht, auf die jeweils ein zweidimensionales Bild projiziert wird, letztlich jedoch nur ein einziges, dreidimensionales Bild wahrnimmt, das im Gehirn aus den minimalen Unterschieden zwischen den Netzhautreizungen der beiden Augen rekonstruiert wird (Patz 2015, 19). Beim Stereosehen fällt das Licht eines zu betrachtenden Objektes auf die jeweilige Fovea beider Augen, wodurch ein scharfes Bild entsteht. Wenn das Objekt dem Betrachter näher kommt, muss nicht nur die Linse des Auges bearbeitet werden,

sondern es müssen sich auch beide Augen der Nase zudrehen, damit der fixierte Punkt weiterhin auf die Fovea beider abgebildet werden kann. Diese Bewegung wird „Konvergenz“ genannt. Wenn der fixierte Punkt auf beiden Netzhäuten jeweils auf den gleichen Punkt projiziert wird, korrespondieren sie. Eine in der Realität bestehende Fläche, in der jeder zu fixierende Punkt auch zu korrespondierenden Punkten auf der Netzhaut führt, wird „Horopter“ genannt. Falls jedoch ein fixierter Punkt nicht zu korrespondierenden Punkten auf den Netzhäuten gelangt, entsteht eine „Disparität“. Durch die Disparität kann der Betrachter zwar Entfernungen vom Horopter einschätzen, sie kann jedoch auch dazu führen, dass er nicht mehr einen, sondern zwei Punkte sieht, wenn die Disparität zu groß, der Punkt also zu weit vom Horopter entfernt liegt (vgl. Dörner/ Steinecke 2013, 37-38).

Die meisten VR-Systeme nutzen diese Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung aus, indem sie dem Betrachter durch ein Stereodisplay zwei verschiedene Bilder gleichzeitig anzeigen, die sich minimal unterscheiden. Jedem Auge wird ein eigener Lichtreiz eingegeben. Die Augen des Nutzers versuchen dann die Punkte zu fixieren, die sie für die gleichen halten und erzeugen durch die Disparitäten einen dreidimensionalen Eindruck. Werden die Punkte, die für das jeweils linke oder rechte Auge bestimmt sind, auf dem Display vertauscht, versucht das Gehirn diese Irreführung zu umgehen, indem es die Punkte scheinbar sogar hinter dem Display verortet (vgl. ebd., 39).

2.4.3 Raumwahrnehmung

Neben den Disparitäten werden noch verschiedene andere, sogenannte „Tiefenhinweise“ vom Gehirn dazu genutzt, eine Vorstellung vom dreidimensionalen Raum zu entwickeln. Dabei kann man zwischen monokularen, binokularen, piktorialen und dynamischen Tiefenhinweisen unterscheiden (vgl. Dörner/ Steinecke 2013, 39). Die Disparität gehört zu den binokularen Tiefenhinweisen, da dazu zwei Augen notwendig sind. Ein Beispiel für einen monokularen Tiefenhinweis, also einen Tiefenhinweis, bei welchem das Gehirn die nur die Informationen eines einzelnen Auges benötigt, ist die „Verdeckung“: Verdeckt ein Objekt teilweise ein anderes, sodass aber beide für einen Betrachter noch sichtbar sind, versteht das Gehirn die räumliche Beziehung zwischen ihnen und weiß, dass dem Betrachter das verdeckende Objekt näher ist, als jenes, welches verdeckt wird. „Verdeckung“ hilft dem Gehirn jedoch nur eine relative Ortsbestimmung zwischen den beiden Objekten festzulegen. Um eine absolute

räumliche Position einzuschätzen benötigt es beispielsweise die „Konvergenz“, die im vorherigen Abschnitt bereits erläutert wurde (vgl. ebd.).

Wichtig für die „Aussagekraft und Zuverlässigkeit der verschiedenen Tiefenhinweise“ ist auch die „Entfernung des Betrachters zum jeweiligen Objekt“ (Dörner/ Steinecke 2013, 40). So liefert Verdeckung zwar für den gesamten sichtbaren Bereich Tiefenhinweise, Disparität wirkt jedoch nur auf kurzen Distanzen (vgl. Dörner/ Steinecke 2013, 40). Schon ein Abstand von zwei bis drei Metern erzeugt nur noch eine geringe Disparität, ab einem Abstand von zehn Metern ist für den Betrachter keine Disparität mehr wahrnehmbar (vgl. ebd., 41). Im Falle von VR-Systemen bedeutet dies, dass sich Stereodisplays nur dann lohnen, wenn sich die darzustellenden und wahrzunehmenden Objekte für den Betrachter in Armlänge befinden, sodass diese durch die Disparität beeinflusst und dreidimensional wahrgenommen werden. Bei größeren Distanzen innerhalb der virtuellen Welt kann die Disparität und der Einsatz von Stereodisplays überflüssig sein (vgl. ebd., 41).

Die meisten Tiefenhinweise werden durch das visuelle System wahrgenommen, manche Hinweise können jedoch auch durch andere Sinne erfahren werden, wie zum Beispiel „durch Änderung der Tonhöhe des Geräusches eines sich bewegenden Objektes“ (Dörner/ Steinecke 2013, 41). Um eine möglichst gute Immersion zu gewährleisten und eine Raumwahrnehmung wie in der realen Welt zu erhalten, ist es notwendig, so viele Tiefenhinweise wie möglich in das System zu integrieren. So zum Beispiel auch den so genannten „Image Blur“, der dafür sorgt, dass auf weiter Entfernung nur die fixierten Objekte scharf gesehen, die ihn umgebenden Objekte jedoch nur unscharf erkannt werden. Ein weiterer Tiefenhinweis ist der Texturgradient, bei dem die Textur Elemente mit größerem Abstand kleiner werden, wodurch der Betrachter eine relative Positionsbestimmung erhalten kann. Neben vielen weiteren Tiefenhinweisen, wie die Höhe im Gesichtsfeld und Schattenwürfe, sind auch die Größen von bekannten Objekten ein Hinweis auf die Tiefe des Raumes (vgl. Wanger/ Ferwerda/ Greenberg 1992, 46).

Tiefenhinweise hängen teilweise voneinander ab und wirken unterschiedlich stark. Zudem kann man davon ausgehen, dass je nach mentaler Aufgabe des Betrachters die Tiefenhinweise auch unterschiedlich stark zu gewichten sind. Versucht der Betrachter beispielsweise die räumliche Anordnung von Objekten zu erfassen, haben Tiefenhinweise wie Texturgradienten und Schattenwürfe eine höhere Priorität im mentalen System zur Erschließung der Positionsbestimmungen. Versucht der Betrachter jedoch nach bestimmten Objekten zu greifen, ist die Disparität besonders wichtig (vgl.

Wanger/ Ferwerda/ Greenberg 1992, 54). Man kann daher davon ausgehen, dass das Gehirn nicht ein einziges Modell einer dreidimensionalen Umgebung erstellt, sondern für die unterschiedlichen, an den Betrachter gestellten Aufgaben auch „aufgabenabhängige Modelle gebildet“ (Dörner/ Steinecke 2013, 44) werden.

Für die VR bedeutet dies, dass nicht nur möglichst viele Tiefenhinweise in die virtuelle Welt und in das Display verarbeitet werden sollten, sondern dass auch eine aufgabenbezogene Priorisierung jener Tiefenhinweise vorgenommen werden sollte (vgl. ebd., 45). Falls nicht alle Tiefenhinweise in die VR eingebaut werden können, muss sich der Ersteller einer virtuellen Welt (im vorliegenden Fall des Projektes für die psycholinguistics laboratories bei der Erstellung von Stimuli für Experimente in virtueller Umgebung) auf die Tiefenhinweise beschränken, die für die jeweilige Situation zielführend sind und dem Betrachter dabei helfen, die Positionsbestimmungen der Umgebung einschätzen zu können.

2.5 Virtual Reality-Systeme

Nachdem sich der VR nun sowohl von historischer und definatorischer Seite, als auch von seinen theoretischen Grundlagen aus angenähert wurde, wird sich im Folgenden nun den technischen Umsetzungen von Virtual Reality gewidmet. VR-Systeme lassen sich aus technischer Sicht unterteilen in ihre Eingabe- und Ausgabegeräte sowie die eigentliche Weltsimulation (vgl. Dörner/ Jung/ Grimm/ Broll/ Göbel 2013, 21). Die Eingabegeräte von Virtual Reality nehmen die Sensorik des Menschen als Eingabe auf und leiten sie an ein Computersystem weiter. Die Eingabegeräte können sich vielfältig gestalten und bestehen je nach Elaboriertheit des Systems aus einem oder mehreren Sensoren zur Erfassung von Beschleunigung, von Druck, zum optischen oder mechanischen Tracking sowie aus (Tiefen-)Kamera(s) und Mikrofonen. Die Eingaben werden vom Computersystem fusioniert und in die Weltsimulation eingespeist, die durch die Zuhilfenahme von Datenbanken und externen Servern eine virtuelle Welt „rendert“, die dann wiederum durch ein oder mehrere Ausgabegeräte an den Menschen zurückübertragen wird (vgl. ebd., 22). Diese Ausgabegeräte können je nach System ebenfalls vielfältig oder einseitig bleiben und sprechen die verschiedenen Sinne des Menschen an. So zum Beispiel Lautsprecher für den akustischen Sinn, Displays für das visuelle System und Force Feedback für das haptische System. Eine Welt zu Rendern, also die Welt aus den eingegebenen und vorliegenden Daten zu berechnen und darzustellen, bedeutet für das Computersystem hohe Rechenleistung und muss unter

Umständen auf mehrere Systeme verteilt werden, damit alles in Echtzeit dargestellt werden kann (vgl. ebd., 24). An dieser Stelle werden nun die verschiedenen Eingabe- und Ausgabemöglichkeiten kurz vorgestellt, die wichtigsten Faktoren erklärt und ihre Bedeutsamkeit für die vorliegende Arbeit und das dahinterliegende Projekt erläutert.

2.5.1 Eingabegeräte

Die Eingabegeräte von Virtual Reality-Systemen dienen, wie eingangs bereits erwähnt, der „sensorischen Erfassung von Nutzerinteraktionen“ (Grimm/ Herold/ Hummel/ Broll 2013, 97). Das System erkennt die Aktionen und Bewegungen des Nutzers und leitet sie an ein Computersystem weiter. Die Interaktion des Nutzers mit dem System kann dabei auf unterschiedlichste Weise erfolgen. Der Nutzer kann entweder in direktem, bewussten oder auch „natürlichen“ Kontakt mit der VR reagieren, indem er einen Knopf drückt oder mit einem Zeigegerät eine willkürliche Bewegung durchführt, oder indirekt, indem seine teils unbewussten Bewegungen getrackt werden.

Im überspannenden System der VR muss also zuvor festgelegt werden, auf welche Weise der Nutzer mit ihm interagieren kann und im nächsten Schritt auch, welche direkten und natürlichen Eingaben und Gesten überhaupt von den Eingabegeräten erkannt werden oder ob ein etwaiges Tracking fortlaufend, einmalig oder nur zu bestimmten Zeitpunkten geschieht. Der Begriff „Tracking“ meint dabei die Bestimmung der Position und Orientierung eines Objekts, in diesem Fall der verschiedenen Extremitäten des Menschen oder anderer Geräte, durch Verfolgung selbiger mittels eines Eingabegeräts (vgl. ebd., 98). Soll ein Objekt, also ein Körperteil oder ein Zeigegerät, getrackt werden, werden so genannte Freiheitsgrade verfolgt. Die Freiheitsgrade sind die Bewegungsmöglichkeiten eines Objektes in Form ihrer möglichen Verschiebung, oder „Translation“ im Raum, und der Drehung, auch „Rotation“ genannt (vgl. ebd.). Die Datenaufnahme dieser Freiheitsgrade erfolgt unterschiedlich je nach Trackingsystem. Viele VR-Systeme verwenden mehrere Eingabegeräte gleichzeitig, deren Informationen gesammelt und gegeneinander ausgewertet werden müssen, um somit zwar ein vollständigeres, aber auch rechenintensiveres Bild entstehen zu lassen. Um die unterschiedlichen Eingabegeräte zu beschreiben und zu vergleichen ist es sinnvoll, zuvor festgelegte Charakteristika aufzuzeigen, die auch die spätere Analyse des Potenzials von VR-Systemen begünstigen werden.

2.5.1.1 Charakteristika der Eingabegeräte

Bei der Wahl des Eingabegeräts müssen verschiedene Faktoren beachtet werden. So muss zum Beispiel zuvor sowohl beachtet werden, wie viele Freiheitsgrade pro verfolgtem Objekt oder Körperteil getrackt werden sollen (was sich je nach Eingabegerät unterscheidet), als auch, wie viele Körper oder Objekte überhaupt insgesamt verfolgt werden. Zudem muss über die Größe der überwachten Fläche oder des Volumens entschieden werden, die sich zwar nach dem Anwendungsfall richtet, aber durch die verschiedenen Eingabe- und Ausgabegeräte und ihre Kabel oder eine Kamerareichweite beschränkt sein kann. Ein weiterer Faktor für die Wahl der Eingabegeräte bei der Konstruktion eines VR-Systems ist die Genauigkeit der Eingabegeräte. Natürlich sollte diese so hoch wie möglich sein, um verlässliche Daten in das Computersystem einspeisen zu können. Sowohl aufgrund von Kosten- und folglich auch erheblichen Qualitätsunterschieden, als auch aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften, kann die Genauigkeit der Eingabegeräte jedoch stark schwanken. So können manche Eingabegeräte, wie beispielsweise solche mit optischem Finger-Tracking, bis zu einem Millimeter genau messen, wohingegen andere Eingabegeräte mit GPS eine Ungenauigkeit von mehreren Metern aufweisen können (vgl. Grimm/ Herold/ Hummel/ Broll 2013, 101).

Ungenauigkeiten können auch unter anderem durch Fehlerquellen, wie die „Latenz“, entstehen. Die Latenz beschreibt die Zeitspanne, welche jedes Eingabegerät zum Reagieren benötigt. Dies kann durch die Laufzeiten der Signale in den Kabeln oder auch durch die langwierige Verarbeitung von Daten durch Algorithmen entstehen und führt letztlich zu einer Verzögerung der vom Nutzer intendierten Resultate (vgl. ebd., 102). Eine solche Latenz kann zu einem erheblichen Immersionsverlust führen, wenn der Nutzer eines VR-Systems zum Beispiel die Bewegungen seiner Hände nur verzögert im Display angezeigt bekommt und somit schnell gewahr wird, dass die virtuelle Umgebung tatsächlich nur simuliert ist. Eine weitere potenzielle Ungenauigkeit und Quelle für einen Immersionsverlust ist der so genannte „Drift“, welcher sich ergibt, wenn Eingabegeräte beim Messen der Positionsänderungen Fehler begehen, die sich addieren und somit ein anwachsender Fehler in der Darstellung erfolgt (vgl. ebd.). Der Nutzer könnte somit eine fortlaufende Bewegung und Entfernung seiner Hände angezeigt bekommen, ohne dass er sie überhaupt bewegt hätte.

Um Ungenauigkeiten zu vermeiden ist es notwendig auf die äußeren Rahmenbedingungen zu achten. Eingabegeräte können je nach Art und Hersteller oder verwendeter Technologie mehr oder weniger empfindlich gegenüber solchen

Rahmenbedingungen sein. Verschiedene Kameras können so zum Beispiel empfindlich gegenüber direkter oder ungleichmäßiger Beleuchtung sein, wohingegen manche Verfahren, die auf Schall basieren, temperaturempfindlich sind. Auch unterschiedliche Luftdrücke oder elektromagnetische Felder oder sogar ein metallisches Tischgestell können bei manchen Sensoren für Fehler in der Messung sorgen (vgl. Grimm/ Herold/ Hummel/ Broll 2013, 103).

Entscheidend für ein Eingabegerät ist zuletzt auch die „Usability“ der Technik. Je nachdem, inwieweit der Nutzer durch die Eingabegeräte, wie Handschuhe, Brillen, Tretmühlen oder Schuhe, eingeschränkt ist. Dazu gehört zum Beispiel die Verkabelung und auch die Raumgröße, oder ob der Nutzer stets eine örtliche Orientierung aufweisen muss, damit ein fortlaufendes Tracking möglich ist (vgl. ebd., 104). Je nachdem, wie störend die Technik empfunden wird, kann die Qualität der VR-Erfahrung erheblich gemindert werden.

2.5.1.2 Optisches Tracking

Für besonders hohe Genauigkeit bei relativ flexiblen Einsatzmöglichkeiten eignen sich besonders optische Trackingverfahren. Diese lassen sich wiederum in verschiedene andere Verfahren unterscheiden, die sich jedoch alle dadurch auszeichnen, dass in einem Videostrom aufgenommene Objekte dazu genutzt werden, die „relative Positionierung und Orientierung der Objekte zur Kamera zu bestimmen“ (Grimm/ Herold/ Hummel/ Broll 2013, 104). Unterscheidet werden können diese Verfahren, ob das Tracking durch sogenannte „Marken“, also in einem Video durch Farbe, Form oder Reflexionseigenschaften leicht erkennbare Objekte, geschieht, oder ob dieses Markenlos funktioniert. Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit ist, ob die Kameras auf die Objekte gerichtet oder mit diesen verbunden sind und statt den Objekten die Umgebung aufnehmen (vgl. ebd.).

Dem dieser Arbeit zugrundeliegenden Projekt steht ein VR-System mit ebensolchem optischen Tracking zur Verfügung. Die HTC-Vive nutzt dabei jedoch ein recht spezielles und einzigartiges Tracking-Verfahren. Entgegen den meisten optischen Tracker-Verfahren ist die Vive nach dem Inside-Out-Prinzip aufgebaut, da das System kein Verfahren mit Markern oder Farb- oder Tiefenkameras nutzt. Stattdessen werden zwei Basisstationen eingesetzt, die den Raum mit nicht sichtbaren Laserstrahlen im Infrarot-Bereich abtasten und auf Photosensoren auf dem Headset und den Controllern treffen. Aus der zeitlichen Differenz zwischen Schuss aus den Stationen und Auftreffen auf den Sensoren berechnet das System die Position im Raum.

2.5.1.3 Weitere Eingabegeräte

Neben dem optischen Tracking kann der Nutzer von VR-Systemen noch auf verschiedene andere Weise mit der virtuellen Welt interagieren oder von dieser erkannt werden. So zum Beispiel mit einer 3D-Mouse, die eine Navigation entsprechend der Freiheitsgrade im dreidimensionalen Raum ermöglicht. Eine solche Maus ist jedoch zumeist eher für einen beschränkten und stationären Einsatz geeignet, da sie oftmals fest montiert werden und somit keine vollständige Bewegungsfreiheit ermöglichen. Andere Geräte nehmen die Bewegungen des Nutzers auf mechanische Weise wahr, indem sie ihn beispielsweise mit Seilzügen tracken. Solche Eingabegeräte weisen eine erstaunlich hohe Genauigkeit auf und bieten dem Nutzer zudem auch oftmals haptisches Feedback. Andererseits kann der Nutzer diese Mechaniken auch als störend empfinden, sie können ihn in seiner Bewegungsfreiheit stören oder er muss sie permanent in den Händen halten. Weitere Trackingmöglichkeiten bestehen unter anderem aus akustischem, elektromagnetischen und Inertial-Tracking. Letztere werden auch Trägheits- oder Beschleunigungssensoren genannt (vgl. Grimm/ Herold/ Hummel/ Broll 2013, 112). Sowohl das HMD, als auch die Controller der HTC-Vive, sind mit solchen Beschleunigungssensoren sowie mit Gyrosensoren ausgestattet. Diese ermöglichen es dem System die Bewegungen des Nutzers noch genauer zu erfassen, statt diese nur über das optische Tracking zu messen.

Die meisten Anwendungssituationen von Virtual Reality erfordern eine relativ kleine, gut zu überwachende Fläche, die jedoch verhindert, dass sich der Nutzer des Systems frei bewegen kann. Um dem Nutzer eine größere Bewegungsfläche zu ermöglichen, können Bewegungsplattformen eingesetzt werden. Diese Plattformen tracken nicht nur die Bewegungsrichtung des Nutzers, sondern halten ihn gleichzeitig auch an Ort und Stelle, sodass dieser eine größere Bewegungsfreiheit in der virtuellen Welt bei minimalem Platzanspruch in der realen Welt erhält. Für diese Form des Trackens gibt es verschiedene Varianten, die jedoch durch ihre Form dem Nutzer teilweise auch das Gehen erschweren können, wenn die Plattformen kugelförmig angeordnet sind. In solchen Fällen ist es ratsam, den Nutzer durch Halterungen zusätzlich zu fixieren (vgl. Grimm/ Herold/ Hummel/ Broll 2013, 114).

Als besonders immersive und intuitive Interaktionsmöglichkeit gilt das Fingertracking. Wenn die Bewegungen des Nutzers direkt in die virtuelle Welt übertragen werden, kann der Nutzer natürlich interagieren, ohne dass ihm zuvor neue Interaktionsarten in Form von Tastaturbelegungen oder Zeigegesten erklärt und anschließend von ihm gelernt werden müssen (vgl. ebd.). Beim Finger-Tracking werden

die Position und die Orientierung der Hand und ihrer Finger erfasst und an das Computersystem weitergeleitet. Dies kann wie bei jedem anderen Objekt auch durch die oben erwähnten Tracking-Methoden, wie optisches oder mechanisches Tracken, geschehen. Zumeist werden dabei aber verschiedene Formen von Handschuhen getragen, teils mit optischen Markern versehen, teils durch mechanische Bauweisen mit dem Computer verbunden (vgl. ebd. 116).

2.5.1.4 Eye-Tracking

Einen besonderen Stellenwert nimmt in der vorliegenden Arbeit das Eye-Tracking ein, da nicht nur die psycholinguistics laboratories, in deren Kontext diese Arbeit entsteht, über Eye-Tracker verfügt und mehrere abgeschlossene sowie laufende Studien mit Eye-Tracking vorweisen kann, sondern auch, weil das den laboratories zur Verfügung stehende Virtual Realty-System mit Eye-Tracking ausgestattet ist, um es für psycholinguistische Forschungszwecke nutzbar zu machen.

Eye-Tracking ist eine Form der Eingabe, welche die Blickrichtung des menschlichen Auges verfolgt und messbar macht. Aufgenommen werden dabei vor allem zwei Bewegungsarten des Auges, nämlich die Fixation und die Sakkaden. Die Fixationen sind die Zeitpunkte, bei denen das Auge auf einem bestimmten Punkt verharrt und Informationen sammelt. Sakkaden sind wiederum die Sprünge, die das Auge zwischen jenen Fixationen vollführt und zumeist zwischen 20ms und 40ms dauern (vgl. Grimm/ Herold/ Hummel/ Broll 2013, 117).

In Head-Mounted Displays werden vor allem nichtinvasive Eye-Tracking-Verfahren eingesetzt, was bedeutet, dass kein direkter Eingriff am Körper des Nutzers erforderlich ist, sondern ein videobasiertes Verfahren angewandt wird. Dabei wird die Kamera entweder auf das Headset montiert oder unmerklich in das HMD eingebaut. Bei Eye-Tracking mit HMDs können entweder ein einzelnes oder beide Augen getrackt werden, wobei die letztere Möglichkeit den Vorteil hat, dass durch die Messung und Kombination von zwei Blickrichtungs-Vektoren ein Blickpunkt im dreidimensionalen Raum statt auf einer zweidimensionalen Fläche bestimmt werden kann (vgl. ebd. 123). Diese vom Eye-Tracker gesammelten Blickpunkte können zum einen in Experimenten als Daten gesammelt und ausgewertet oder vom VR-System als Interaktionsmöglichkeit verwendet werden. Zum Beispiel ließe sich die virtuelle Welt so programmieren, dass durch die Blickrichtung des Nutzers einen direkten manipulativen Einfluss auf die Umgebung hat.

2.5.2 Ausgabegeräte

Die Ausgabegeräte am anderen Ende der VR-Systeme haben das erklärte Ziel, dem Nutzer des Systems die virtuelle Welt zu präsentieren und ihn in diese eintauchen zu lassen. Hauptaufgabe eines Ausgabegerätes ist es daher „eine möglichst hohe Immersion zu erreichen, sodass er sich präsent fühlt in der Virtuellen Welt“ (Grimm/ Herold/ Reiners/ Cruz-Neira 2013, 127). Jene Präsenz ist erst dann vorhanden, wenn sich der Nutzer des Systems vollständig in eine andere Welt versetzt fühlt und sich folgendermaßen verhält, als wäre er in eine realen Welt. Die wichtigsten Ausgabegeräte richten sich nach den ausschlaggebendsten Sinnen der Wahrnehmung zur Herstellung größtmöglicher Immersion, nämlich dem visuellen, dem akustischen und dem haptischen Sinn (vgl. ebd.).

Ausgabegeräte lassen sich nach unterschiedlichen Aspekten klassifizieren. Sie können entweder anwendungsbezogen nach Abdeckung des Sichtfeldes oder Größe des Aktionsradius unterschieden werden, oder auch technisch nach Kriterien wie Auflösung, Wiedergaberaten oder Stereofähigkeit (vgl. ebd. 128). Neben weiteren Charakterisierungsmöglichkeiten der Ausgabegeräte kann vor allem „zwischen persönlichen Ausgabegeräten (z.B. Kopfhörer oder HMDs) und Mehrbenutzerausgabegeräten (z.B. Lautsprecher oder Projektion) unterschieden werden“ (Grimm/ Herold/ Reiners/ Cruz-Neira 2013, 128). Preislich unterscheiden sich die Ausgabegeräte drastisch zwischen wenigen hundert und mehreren tausend Euro.

2.5.2.1 Visuelle Ausgabe

Die visuelle Ausgabe ist womöglich die direkteste und immersivste Form der Darstellung virtueller Welten. Damit diese jedoch vollständig immersiv sein kann, muss die visuelle Ausgabe es vollbringen „dem Nutzer die Virtuelle Welt so visuell darzustellen, dass er sie in der gleichen Art wahrnehmen kann wie die reale Welt“ (Grimm/ Herold/ Reiners/ Cruz-Neira 2013, 129). Dazu wird ein zuvor erstelltes Modell oder eine dreidimensionale Umgebung der Virtuellen Welt als Bild formatiert, welches dann über ein visuelles Ausgabegerät abgespielt wird. Solche visuellen Ausgabegeräte werden allgemein einfach als Displays bezeichnet, können aber sowohl als Einzeldisplays, durch Monitore oder HMDs, oder als Displaysysteme durch Projektoren mit Projektionsflächen umgesetzt werden. Das Bild wird mit einer virtuellen Kamera erzeugt, welche immer nur die Objekte anzeigt, welche im „Sichtvolumen“ der Kamera liegen (vgl. ebd., 129). Das Sichtvolumen wird beeinflusst durch zuvor festgelegte Parameter, wie Öffnungswinkel, Position und Ausrichtung der Kamera. Das Display sollte in allen Perspektiven eine hohe Auflösung und hohen

Kontrast bieten und zudem einen großen Sichtbereich abdecken. Monitore und Projektionssysteme haben dabei verschiedene Vorteile. Monitore haben jedoch nur einen geringen Sichtbereich, wohingegen Projektionssysteme oft Probleme mit Auflösung oder Kontrasten haben. Zudem eignen sich beide nur für eine stationäre Installation (vgl. ebd.).

Wie bereits in früheren Abschnitten erwähnt, funktioniert die räumliche Wahrnehmung des Menschen nicht nur, aber meist vor allem durch das Stereosehen, welches durch ein Stereodisplay unterstützt werden kann. Dabei wird jedem Auge ein separates Bild angezeigt, sodass auch die virtuelle Kamera aufgeteilt werden muss um für jedes Auge ein passendes Bild zu berechnen. Bei der Toe-In-Methode wird das Bild jedes Auges durch die virtuelle Kamera so gedreht, dass beide Augen den gleichen Punkt fixieren können (vgl. ebd., 130). Jedoch ist die Tiefenberechnung bei einem solchen Vorgehen nur auf kurze Distanz möglich, da mit zunehmender Distanz des dargestellten Objekts Fehler in der Berechnung entstehen. Dies liegt an den Projektionsebenen, die sich durch die verdrehten Kameraperspektiven nur kreuzen, aber nicht überschneiden. Damit eine vollständige Tiefenberechnung möglich ist, müssen die Projektionsebenen parallel geschaltet werden, sodass an den Rändern keine Fehler oder Doppelbilder entstehen können (vgl. ebd.).

Um die Stereobilder tatsächlich fehlerfrei anzuzeigen, verfolgen die Displays unterschiedliche Ansätze. Ein solcher Ansatz besteht beispielsweise in der Nutzung des (Farb-)Anaglyphverfahrens, bei dem jedes Auge ein Bild in unterschiedlicher Farbtönung (meist in rot und grün) angezeigt bekommt und durch eine ebenso getönte Brille ein dreidimensionales Bild wahrnimmt (vgl. ebd.). Jedes Auge nimmt durch die getönte Brille nur diejenigen Farben wahr, die durch die Brille nicht aufgehoben werden, sodass sich die leicht unterschiedlichen Bilder erst im Gehirn erneut überlagern. Nachteil dieser Methode bestehen natürlich in der relativen Farbschwäche der dargestellten Inhalte, da nur zwei Farben des Farbspektrums verwendbar sind (vgl. ebd.).

Eine weitere Methode zur Darstellung von Stereobildern ist die Nutzung von polarisiertem Licht. Durch die Nutzung von Polarisationsfiltern in Projektoren oder vor den Pixeln eines Monitors, sowie in der dazugehörigen Brille, können die Bilder für die jeweiligen Augen voneinander getrennt werden. Nachteile dieser Methode bestehen in der vorausgesetzten, geraden Kopfhaltung und in den Brillen, die bis zur Hälfte der einfallenden Lichtleistung absorbieren. Stattdessen kann jedoch auch eine sogenannte „aktive Brille“ oder „Shutterbrille“ genutzt werden, welche in hoher Wiederholungsrate

jedem Auge abwechselnd ein Bild zeigt, indem es das jeweils andere Auge für kurze Zeit mit Flüssigkeitskristallen in den Gläsern abdunkelt. (vgl. Grimm/ Herold/ Reiners/ Cruz-Neira 2013, 131).

Neben diesen auf Brillen basierenden Stereo-Systemen können auch autostereoskopische Displays genutzt werden, welche meist durch aufgeklebte Folien mit Prismen oder Linsen auf den Displays jedem Auge das jeweilige Licht des ihm zugewiesenen Bildes übermitteln, ohne dass eine Brille notwendig ist. Jedoch ist diese Methode nur dann einsetzbar, wenn sich der Nutzer in einer bestimmten Position befindet, die von den Prismen angestrahlt werden können. Mit Eye-Tracking lässt sich jedoch dieser Nachteil umgehen, indem das Bild zuvor so berechnet wird, dass die Prismen die getrennten Bilder weiterhin an die Augenposition des Nutzers geleitet werden (vgl. ebd., 132).

Auf die Darlegung von Ausgabemethoden über so genannte Tiled-Displays, also begehbare Displaysysteme aus mehreren Displays wie die CAVEs, soll an dieser Stelle verzichtet werden, da sie zwar in der Wirtschaft und in der Forschung durchaus Anwendung finden, jedoch sehr kostspielig und nur stationär einsetzbar sind. Auch aus Platzgründen und um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen, wird nun ausschließlich auf HMDs eingegangen. Ein solches HMD steht auch den psycholinguistics laboratories zur Verfügung und liegt daher im besonderen Interesse dieser Arbeit.

2.5.2.2 Head-Mounted Displays

Head-Mounted Displays (HMDs) sind Anzeigegeräte, die am Kopf des Nutzers angebracht werden. Das besondere dabei ist, dass diese mobil sind und sowohl über Visualisierungs-, als auch über Interaktionssysteme verfügen (vgl. Grimm/ Herold/ Reiners/ Cruz-Neira 2013, 142). Wie bei jedem anderen Ausgabegerät ist es die Hauptaufgabe des HMDs, den Nutzer in eine Virtuelle Realität zu versetzen. Die Präsenz, die zuvor schon erläutert wurde, ist dafür ein ausschlaggebendes Kriterium, welches seinerseits von dem sogenannten „Field of View“ (FOV) des HMDs beeinflusst wird. Das FOV ist die Fläche die sich aus den horizontalen und vertikalen Schwielen des Auges ergibt. Je höher das FOV, desto höher ist die Präsenz, da der Nutzer mehr Informationen aufnimmt (vgl. ebd., 143). Die meisten HMDs, die zur Anzeige von Virtual Reality genutzt werden, sind binokulare HMDs, welche aus zwei separaten, monokularen Optiken bestehen. Dadurch erblickt der Nutzer, ähnlich einem Fernglas, die Welt durch zwei Optiken, sodass sich auch die FOVs der beiden Augen teilweise

überlagern. Das Gehirn setzt diese dann zu einem Bild zusammen, sodass eine gesamte FOV mit zwei Randbereichen entsteht, die jeweils nur für ein Auge sichtbar sind.

Neben dem Field of View ist die Präsenz aber auch von anderen Faktoren wie der Frontleuchtdichte abhängig, die angibt, wie hell das eingeblendete Bild zu sehen ist (vgl. Grimm/ Herold/ Reiners/ Cruz-Neira, 2013, 144). Ein weiterer Faktor ist die „Homogenität“, die Aufschluss darüber gibt, ob das Bild farblich gleichmäßig angezeigt wird (vgl. ebd., 146). Ungleichmäßige Farben können die Blicke des Nutzers auf sich ziehen, da diese als fehlerhaft erkannt werden und nicht nur die Präsenz des Nutzers stören, sondern auch etwaige Messergebnisse bei Experimenten mit einem HMD verfälschen.

Die HTC Vive, das Head-Mounted Display, welches von den psycholinguistics laboratories verwendet wird, verfügt im Normalfall über ein FOV von 110° mit ungefähr 90° pro Auge. Die Auflösung des Displays beträgt 1080x1200 Pixel was eine Pixel-Dichte von 12 Pixeln pro Grad des FOV ergibt. Diese relativ niedrige Pixel-Dichte bedeutet, dass die einzelnen Pixel leicht für das Auge erkennbar sind, wenn der Nutzer sich darauf konzentriert. Obwohl diese Dichte durchaus vergleichbar ist mit anderen Anbietern, bedeutet dies, dass die Vive nur eingeschränkt für psychophysische Experimente nutzbar sein könnte (vgl. Niehorster/ Li/ Lappe 2017, 3).

2.5.2.3 Akustische und haptische Ausgabegeräte

Akustische und haptische Ausgabegeräte erweitern die Virtual-Reality-Erfahrung und sorgen ebenfalls für Immersion und Präsenz des Nutzers. Besonders die akustische Ausgabe kann entscheidend sein, wohingegen die haptischen Ausgabemöglichkeiten, wie Exoskelette, welche die Kräfte simulieren sollen, die auf den virtuellen Avatar wirken, oder Bodenplatten mit Vibrationsmotoren, um beispielsweise Erdbeben zu simulieren, oft vernachlässigt werden (vgl. Grimm/ Herold/ Reiners/ Cruz-Neira 2013, 154)

Akustische Ausgabegeräte werden zumeist durch Kopfhörer-Systeme umgesetzt, die verhindern sollen, dass weitere Geräusche der realen Umgebung die Wahrnehmung des Nutzers beeinflussen. Akustische Stereosysteme können zudem helfen, sich in der virtuellen Umgebung räumlich zu orientieren. So kann der Nutzer das akustische Feedback nutzen, um sich in eine bestimmte Richtung zu bewegen, in welcher das Geräusch lauter ist oder er kann den Kopf drehen, um zu erhören, aus welcher Richtung das Geräusch erschallt (vgl. ebd.).

2.6 Anwendungsfelder von Virtual Reality

Zum Abschluss dieses Kapitels sollen nun beispielhaft die verschiedenen Anwendungsfelder von Virtual Reality dargelegt werden. Dabei soll unter anderem auch die Anwendung in der wissenschaftlichen Forschung betrachtet werden, wobei auf die Psycholinguistik und die bisherigen psycholinguistischen Experimente mit VR erst im nächsten Kapitel eingegangen werden soll, um die Integrität dieses Kapitels als Gesamtüberblick über Virtual Reality nicht zu untergraben.

Den Möglichkeiten zur Anwendung von Virtual Reality sind prinzipiell keine Grenzen gesetzt. Die Anwendungsgebiete von VR in der Unterhaltungsindustrie wurden bereits in früheren Abschnitten dargelegt: Diese beschränken sich jedoch vor allem auf die direkte Nutzung der Virtual Reality als Darstellungssystem für Filme und Videospiele. Es gibt aber auch vermehrt Unterhaltungshybride, beispielsweise auf Jahrmärkten und in Freizeitparks, bei denen die Besucher zusätzlich zur Fahrt in einer Achterbahn auch ein HMD aufgesetzt bekommen, mit welchem sie dann eine visuell noch ansprechendere Fahrt zu sehen bekommen (vgl. VR Coaster 2019). Die reale Achterbahn fungiert dabei sozusagen als haptisches Feedback der VR-Erfahrung. Der Nutzer spürt die G-Kräfte, den Wind und die Vibrationen der echten Bahn, sodass die virtuelle Fahrt noch immersiver erscheint und der Nutzer sich in der virtuellen Umgebung tatsächlich „präsent“ fühlt. Durch Positions-Tracking erkennt das System an welcher Position sich der Fahrtinsasse befindet und wie er sich in der Achterbahn bewegt und gibt die entsprechend gerenderten Bilder an ihn zurück. Durch Synchronisierung der virtuellen Fahrtstrecke mit den Kurven und den daraus resultierenden Kräfteeinwirkungen der Achterbahn soll, zudem die Benommenheit („Motion-sickness“) vermieden werden, die manche Menschen bei der Nutzung von Virtual Reality empfinden, wenn die Bewegungen innerhalb der virtuellen Realität nicht mit dem Gleichgewichtssinn ihres Körpers übereinstimmt (vgl. VR Coaster 2019)

Die sogenannten CAVEs, die begehbaren Simulationsräume, bei denen die virtuelle Welt auf die Wände und den Boden projiziert wird. Solche CAVEs haben den Vorteil, dass sie natürliche Bewegung bis zu einem gewissen Grad erlauben, ohne dass das VR-System diese Bewegung in virtuelle Impulse umsetzen müsste. Außerdem sind die CAVEs zu mehreren Personen begehbar und bieten je nach Abbildungsqualität auch einen hohen Immersionsgrad und ebensolche Präsenz. Die CAVEs werden daher zum Beispiel auch von der Automobilindustrie zur Entwicklung neuer Modelle verwendet. Auch die Öl- und Gasindustrie hat davon inspiriert eine Anwendung für die CAVEs

gefunden, indem sie diese nutzen, um verschiedene Krisensituationen zu testen und die Kommunikation und Kooperation der Mitarbeiter sowie die Effizienz und den Ideenreichtum in solchen Fällen zu schulen (Bogen/ Rilling 2013, 301).

Auch die wissenschaftliche Forschung ist an Virtual Reality interessiert und hat längst Wege gefunden, diese als Forschungsinstrument zu implementieren. In der medizinischen Forschung werden VR-Systeme zum Beispiel verwendet, um zu erforschen, ob VR dabei helfen kann, dass sich die Prothesen von Menschen mit amputierten Gliedmaßen natürlicher anfühlen. Dazu werden HMDs genutzt, mit denen die Menschen ein virtuelles Gliedmaß sehen, sowie neuronale Stimulationen an den Stümpfen, um echte Gefühlsregungen zu provozieren. Durch die Synchronisierung von sichtbarem und gefühltem Stimulus wird das Gehirn dazu gebracht, die Prothese für das echte, amputierte Gliedmaß zu halten und hilft dabei den Probanden, mehr Gefühl für natürliche Bewegungen zu erhalten (vgl. Medical View 2018).

Die Medizin verwendet Virtual Reality jedoch nicht nur zu Forschungszwecken, sondern auch in der (chirurgischen) Ausbildung. Obwohl dies erst ein beginnender Trend ist, werden mittlerweile immer öfter bestimmte Operationen auch mithilfe von VR-Systemen gelehrt und gelernt. Das hat nicht nur ethische Hintergründe, sondern kann auch helfen, den Stress des Arztes zu mindern, da kein echtes Menschenleben auf dem Spiel steht. Bei einer simulierten Operation müssen sowohl der Mensch, die möglicherweise auftretenden Komplikationen, als auch das bei einer echten OP zur Verfügung stehende Equipment zuvor programmiert werden, damit die Vorgänge so realitätsgetreu wie möglich sind. So könnten angehende Chirurgen Vorgänge wie eine Laparoskopie in einem sicheren Umfeld lernen. Noch wird diese Form der Ausbildung jedoch nur spärlich eingesetzt, da auch die technische Umsetzung noch einige Fortschritte in Bereichen des haptischen Feedbacks und des Fotorealismus benötigt, damit die Simulationen auch tatsächlich vergleichbar sind mit Operationen am echten Menschen (vgl. Haluck/ Krummel 2000, 792).

In der Architektur wurde bislang schon öfter mit Virtual Reality als Hilfsmittel für Planung und Design experimentiert. Der naheliegende Grundgedanke dabei war, dass die entworfenen Gebäude als begehbare Simulationen umgesetzt werden können, um sich in möglichst realgetreuer Weise umzusehen und auszutesten, wie das Gebäude in einem echten Maßstab aussehen würde. So können auch die freien Räume und Platzmöglichkeiten mit und ohne Mobiliar wahrgenommen werden. Mit Virtual Reality sind detailliertere Design-Entscheidungen möglich (vgl. Wang 2013, 351). Trotzdem bringen die technischen Aspekte natürlich auch Probleme mit sich, da die Architekten

zuvor sowohl in der Hardware, als auch in der neuen Software geschult werden müssen. Zudem dauert das entwerfen für eine dreidimensionale, virtuell begehbare Umgebung wesentlich länger, als mit herkömmlichen Programmen. Durch neuere Forschung mit Virtual Reality erhielten Architekten und Forscher von der University of Washington zudem auch neue Erkenntnisse über das räumliche Klima und Verhältnisse von Licht und Schatten sowie über die Orientierung im Raum (vgl. Wang 2013, 352).

Eine ebenfalls in der Disziplin der Architektur und mit virtuellen Umgebungen durchgeführte Forschung beschäftigte sich mit der Simulation von komplexem menschlichen Verhalten in Krisensituationen, wie der Evakuierung von Gebäuden während eines Feuers. So können Fluchtwege untersucht und die Bedingungen erforscht werden, die nötig sind, damit während eines Unglücks möglichst viele Menschen überleben (vgl. Wang 2013, 350).

Ähnliche Forschung ist auch in der Psycholinguistik denkbar, die ergründen möchte, welchen Einfluss die Sprache des Menschen auf diese Raumwahrnehmung und die Orientierung im Raum innehält. So könnte zum Beispiel unterschiedliches (fachspezifisches) Vokabular von zwei Personen zu einer unterschiedlichen Wahrnehmung von bestimmten räumlichen Eigenschaften führen. Auch können Sprachen mit unterschiedlichen grammatikalischen Aspekten die Wahrnehmung des Menschen beeinflussen. Ob und inwieweit sich die psycholinguistische Forschung, wie zuvor bei der Architektur, um das Instrument der Virtual Reality erweitern lässt, soll im folgenden Kapitel untersucht werden.

3. Potenzial von Virtual Reality in der Psycholinguistik

Nachdem Virtual Reality sowohl aus psychologischer und technologischer, wie auch aus anwendungsorientierter Sicht betrachtet wurde, soll nun im Folgenden Virtual Reality vor dem Hintergrund der psycholinguistischen Forschung untersucht werden. Dazu wird zunächst kurz auf die Psycholinguistik eingegangen und erläutert, inwiefern Sprache und Denken zusammenhängen und wie dieser Zusammenhang bislang erforscht wird. Zudem soll ein erneuter Überblick über die bisherige Anwendung von VR-Systemen als psycholinguistisches Forschungsinstrument gegeben werden. Darauf folgend lässt sich erörtern, ob Virtual Reality als relativ neues Forschungsinstrument überhaupt geeignet ist, um (psycholinguistische) Forschung zu betreiben, oder ob die Limitierungen und Nachteile der Methode zu Verzerrungen der Forschungsergebnisse führen würden. Dazu wird eine SWOT-Analyse durchgeführt, die Aufschluss über die

Stärken und Schwächen von Virtual Reality sowie über ihre Chancen und Risiken bei psycholinguistischer Forschung liefern soll.

3.1 Psycholinguistik

Schon seit langer Zeit wird diskutiert, wie und in welchem Ausmaß Sprache und Denken zusammenhängen (vgl. Mertins 2018, 3). Die Psycholinguistik als Teilgebiet der Sprachwissenschaft - und in fächerübergreifend engem Zusammenhang mit der Psychologie - versucht genau diesen Zusammenhang von Sprache und Kognition zu ergründen. Dabei gibt es verschiedene Forschungspositionen, die entweder davon ausgehen, dass Sprache ein autonomes kognitives System bildet, oder, dass es Interaktionen zwischen den linguistischen Beschreibungsebenen und kognitiven Systemen, wie der menschlichen Wahrnehmung oder dem Gedächtnis, gibt (vgl. Höhle 2014, 12). Letztere Position wird oft auch als „linguistischer Relativismus“ bezeichnet. Die Theorie der linguistischen Relativität besagt, dass die Grammatik und der Wortschatz einer Sprache auch die Weltsicht der jeweiligen Sprechergruppe beeinflusst. Diese Theorie wird auch oft mit der bekannten Sapir-Whorf-Hypothese gleichgesetzt, die davon ausgeht, dass Sprache das Denken formt und mir ihr unter anderem auch die Wahrnehmung (vgl. Mertins 2018, 10). Die Psycholinguistik untersucht zudem eine ganze Bandbreite an Phänomenen der Sprachproduktion und Sprachperzeption, deren Ausführung an dieser Stelle jedoch zu weit führen würde, da sich diese Arbeit vor allem mit den technischen Aspekten des Potenzials von VR beschäftigt.

3.1.1 Methoden der Psycholinguistik

Die Psycholinguistik versteht sich auch als empirische Wissenschaft und verfügt als solche über ein breites Repertoire an Methoden und Instrumenten, um die zuvor aufgestellten Hypothesen zu überprüfen und messbar zu belegen oder zu widerlegen. Dabei unterscheidet man zwischen behavioralen und neurowissenschaftlichen Methoden (Stadie/ Drenhaus/ Höhle/ Spalek/ Wartenburger 2014, 24). Behaviorale Methoden sind solche, bei denen das Verhalten des Teilnehmers untersucht wird. Dazu zählen zum Beispiel Aufgaben der lexikalischen Entscheidungen, der Bildbenennung, des Primings, also der Voraktivierung eines Teilnehmers vor einer lexikalischen Aufgabe sowie auch das Messen der Blickbewegungen durch Eye-Tracking. (vgl. ebd.,25 f.).

Eye-Tracking wird schließlich auch angewandt, um die Raumwahrnehmung und ihr Verhältnis zur Sprache zu untersuchen. So könnte man einerseits zwar argumentieren, dass Raumwahrnehmung universell sowie kulturell- und sprachenunabhängig ist, jedoch liefern bisherige psycholinguistische Studien Hinweise darauf, dass Raumwahrnehmung nicht eben universell, sondern von verschiedenen Faktoren beeinflusst sein kann (vgl. Mertins, H./ Mertins, B./ Delucchi Danhier/ Schulz, A./ Schulz, B. 2017, 80). So zeigt zum Beispiel eine Eye-Tracking Studie von Mertins et al., dass sich die Raumwahrnehmungen von Architekten, durch ihre sogenannte und angelebte „Grammatik des Raumes“, von Laien unterscheidet, was sich auch in den Aufmerksamkeiten und Blickrichtungen der Architekten widerspiegelt (vgl. ebd., 81). Ob VR ebenfalls das Potenzial hat, als psycholinguistisches Instrument und gegebenenfalls zur Erforschung von Raumwahrnehmung eingesetzt zu werden, soll im Folgenden ergründet werden.

3.1.2 Erste psycholinguistische Experimente mit Virtual Reality

Tatsächlich wurden bereits erste, wenn auch wenige, psycholinguistische Experimente mit Virtual Reality durchgeführt. Im Folgenden soll eine beispielhafte psycholinguistische Studie dargelegt werden. So untersuchten Gijssels, Staum Cassanto, Jasmin, Hagoort und Cassanto (2016) die „psychological mechanisms underlying linguistic accommodation“ (Cassanto/ Jasmin 2017, 182), also die Tendenz von Sprechern ihre Sprachproduktion an die ihrer Gesprächspartner anzupassen. Nach einer psycholinguistischen Theorie von Pickering und Garrod (2004) ist diese sprachliche Tendenz das Ergebnis eines automatischen Priming-Mechanismus. Demnach würde eine bestimmte Äußerung zu vernehmen, beim Hörer eine Aktivierung bestimmter „linguistic representations“ zur Folge haben. Wenn der Zuhörer dann selbst spricht, gäbe es eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass diese Formen ebenfalls gebraucht werden. Diese Theorie nennt sich „Interactive Alignment Model (IAM)“ (vgl. Cassanto/ Jasmin 2017, 182).

Es wird weiterhin behauptet, dass Priming zwei Besonderheiten aufweisen sollte, damit die Theorie zutrifft, nämlich „dose dependence“ und „persistence“ (vgl. ebd.). Das bedeutet einerseits, dass sich der Zuhörer immer weiter an den Gesprächspartner anpassen sollte, je mehr und öfter er dem Priming ausgesetzt ist, und andererseits, dass die Auswirkungen auch eine gewisse Zeit über das Gespräch hinaus bestehen bleiben sollten. Zudem würde sich das Priming auf alle linguistischen Eigenschaften auswirken, inklusive Sprechrate und Tonhöhe (vgl. ebd.). Gijssels und

Kollegen vertraten jedoch die Hypothese, dass Priming nicht der zugrundeliegende Anpassungsmechanismus für kontinuierliche Dimensionen linguistischer Sprachproduktion wie Tonhöhe sein kann, weswegen diese auch keine Dosisabhängigkeit oder Dauerhaftigkeit aufweisen sollten (vgl. ebd.).

Diese Hypothese wurde im Virtual Reality-Labor am Max Planck Institute for Psycholinguistics in Nijmegen getestet, indem die Tonhöhe von Versuchsteilnehmern vor, während und nach einem Gespräch mit einem virtuellen Gesprächspartner in einer immersiven virtuellen Realität gemessen wurde. Die virtuelle Umgebung wurde einem Supermarkt nachempfunden. Der Gesprächspartner hatte jeweils das gleiche Geschlecht wie die Teilnehmer. Gesprächsinhalt waren die verschiedenen Produkte, die im Supermarkt angeboten werden. In der virtuellen Umgebung wurden die Teilnehmer, die in dem realen Labor auf Stühlen platziert wurden, in einem Golf-Kart durch die Gänge gefahren, während der Gesprächspartner hinter dem Steuer saß. Mit vibrierenden Bodenplatten wurde dem Teilnehmer zudem das haptische Feedback des fahrenden Wagens simuliert, um eine möglichst hohe Immersion zu gewährleisten (vgl. ebd., 183).

Der Agens, also der virtuelle Gesprächspartner, fragte während des Experiments eine Reihe von Fragen, die der Versuchsteilnehmer beantworten sollte. Der Agens hatte dabei bei jedem neuen Teilnehmer zufällig ausgewählt, entweder eine fünfprozentig höhere oder niedrigere Tonhöhe als das Original, wobei sich zudem die männliche und die weibliche Variante des Agens in ihrem jeweiligen Original von Anfang an unterschieden (vgl. ebd.).

Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Teilnehmer in ihren Tonhöhen denen ihrer Gesprächspartner mit den zufällig zugewiesenen, verstellten Tonhöhen anpassten. Diejenigen, die mit einem Agens sprachen, der signifikant höher als gewöhnlich sprach, sprachen ebenfalls höher, als diejenigen, die sich mit einem Agens unterhielten, der tiefer sprach. Dennoch erhöhte sich diese Form der Anpassung nicht, je länger die Teilnehmer dem Gesprächspartner ausgesetzt waren. Auch konnte bei der Messung nach dem Gespräch in der VR keine veränderte Tonhöhe mehr gemessen werden, was bedeutet, dass es keine dauerhafte Auswirkung gegeben hatte (vgl. Cassanto/ Jasmin 2017, 184). Gijssels et al. schlussfolgerten daraus, dass Priming nicht der einzige Anpassungsmechanismus sein kann und, dass weitere Mechanismen postuliert werden müssen, die verschiedenen Arten der Anpassung zugrunde liegen (vgl. ebd.).

Eine solche Studie mit Virtual Reality zu untersuchen hat mehrere Vorteile. Zum einen haben die Forscher komplette Kontrolle über den Versuchsaufbau und können einen Agens schaffen, der sich immer gleich verhält und gleichzeitig seine Tonhöhe

exakt genau zu variieren. Zudem kann es wichtig sein, das Gespräch in seinem natürlichen Umfeld (in diesem Fall in einem Supermarkt) zu untersuchen, da die dort verfügbaren Informationen einen wichtigen Teil von sprachlichem Verhalten darstellen (vgl. ebd.).

Bei solchen Experimenten mit VR bleibt jedoch die Frage offen, ob sich die Ergebnisse einer solchen Studie mit virtuellen Agens auch auf die sprachliche Interaktion zwischen zwei echten Menschen übertragen lassen (vgl. ebd.). In einem weiteren Experiment von Heyselaar, Hagoort und Segaert (2015) sollte daher getestet werden, ob sich die Versuchsteilnehmer echten Menschen, virtuellen, aber menschenähnlichen Gesprächspartnern und virtuellen, computerähnlichen Gesprächspartnern gegenüber gleichermaßen sprachlich syntaktisch anpassen. Die Ergebnisse zeigten, dass in der syntaktischen Anpassung zwischen dem menschenähnlichen VR-Agens und dem echten Menschen tatsächlich keinerlei Unterschiede festzustellen waren, dafür jedoch weniger Anpassung der Syntax beim Gespräch mit dem computerähnlichen Agens stattfand (vgl. Cassanto/ Jasmin 2017, 185).

3.2 Chancen und Risiken bei Forschung mit Virtual Reality (SWOT-Analyse)

Um das Potenzial von Virtual Reality als Forschungsinstrument für die nun dargelegte Disziplin der Psycholinguistik zu ergründen, kann die so genannte SWOT-Analyse als Hilfsmittel herangezogen werden. „Die SWOT-Analyse ist ein Instrument des strategischen Managements zur strategischen Unternehmens- und Umweltanalyse“ (Bormann 2015, 21). „SWOT“ ist dabei ein Akronym aus den englischen Begriffen strengths, weaknesses, opportunities und threats. Die Analyse dient also der Beurteilung der Stärken, der Schwächen, der Chancen und der Risiken eines Unternehmens und soll einen schematischen Überblick über die Unternehmenssituation innerhalb und außerhalb des Unternehmens gewähren. Der Grundgedanke ist, dass sobald die verschiedenen Faktoren übersichtlich eingeordnet werden, strategische Entscheidungen möglich gemacht werden können. So sollen zum Beispiel die erkannten Stärken genutzt werden um die herausgearbeiteten Risiken zu vermeiden, die Schwächen eliminiert oder mögliche Szenarien entwickelt werden, sodass die Schwächen nicht den Risiken zum Opfer fallen (vgl. ebd., 22).

Die SWOT-Analyse ist vielseitig einsetzbar und kann daher auch über die Wirtschaftswissenschaften hinaus für den vorliegenden Fall die Erschließung des

Potenzials von Virtual Reality in der psycholinguistischen Forschung ermöglichen. Die Aspekte und Faktoren der VR, die im vorherigen Kapitel schon ausführlich erläutert wurden, bilden dabei die interne Analyse mit der Ausarbeitung von Stärken und Schwächen derselbigen. Hingegen soll die psycholinguistische Forschung als externe Umwelt betrachtet werden. Somit werden auch die Chancen und Risiken von VR für die psycholinguistische Forschung analysiert.

3.2.1 Stärken

Die Stärken der Virtual Reality liegen in ihren technischen Möglichkeiten und dem breiten Feld ihrer Anwendung. Die größte Stärke liegt jedoch in der hohen Immersion von Virtual Reality und des daraus resultierenden Gefühls der Präsenz des Nutzers. Es lässt sich zwar argumentieren, dass auch beim sehen von Filmen oder spielen von Videospiele eine Immersion einstellt, weswegen gerade auch einfache Computersimulationen oder Videospiele in geisteswissenschaftlicher Forschung eingesetzt werden können, jedoch ist die Immersion dieser Methoden nicht zu vergleichen mit der präsenzauslösenden Immersion von VR. Die Immersion von VR macht es möglich, dass sich der Nutzer vollständig in eine andere Welt versetzt fühlt, was eine ganze Bandbreite an Möglichkeiten in der Anwendung eröffnet, sowohl für Unterhaltungs-, als auch für Forschungs- und Bildungszwecke.

Durch die vielen verschiedenen Eingabegeräte von VR-Systemen ist es zudem möglich, den Nutzer vollständig zu erfassen und seine Bewegungen in die virtuelle Welt zu übertragen. Durch Gyrosensoren, Bewegungssensoren und optischem Tracking ist es möglich, die genaue Position des Nutzers im Raum zu erfassen, was, bis zu einem gewissen Grad, eine natürliche Bewegung ermöglicht. Die Ausgabegeräte können dem Nutzer zudem die verschiedenen Aspekte der virtuellen Welt eindringlich wahrnehmbar machen. Durch Stereodisplays kann die virtuelle Umgebung dreidimensional angezeigt werden, durch Stereokopfhörer wird diese Umgebung um eine weitere immersive Dimension der Akustik erweitert. Haptisches Feedback kann die Immersion komplettieren. Olfaktorisches Feedback ist möglich, aber sehr optional.

Ein großer Vorteil von Virtual Reality ist auch die Interaktion mit der virtuellen Umgebung. Entitäten im Interessenbereich des Nutzers können nicht nur anvisiert und beobachtet werden, sondern mit den passenden Programmierungen auch zu Interaktion verwendet werden. Es können sowohl mit Gegenständen hantiert werden, als auch mit virtuellen Menschen, mit denen komplette Gespräche programmiert werden können.

3.2.2 Schwächen

Wie die technischen Möglichkeiten die herausragendste Stärke der Virtual Reality sind, so sind die technischen Limitierungen der Virtual Reality ihre größte Schwäche. Noch ist die Technik der VR-Systeme und vor allem der Ausgabegeräte nicht auf dem Stand, dass sie mit den menschlichen Augen mithalten können. So ist das Field of View (FOV) der meisten Head-Mounted Displays und besonders des HMDs der psycholinguistics laboratories kleiner als das FOV der meisten Menschen. Zudem ist die Pixeldichte zu niedrig, sodass mit der HTC Vive und den meisten anderen kommerziellen HMDs keine vollständig immersive Umgebung möglich ist. Einzel sichtbare Pixel werden stets das Potenzial haben den Nutzer daran zu erinnern, sich in einer virtuellen Umgebung zu befinden, was bedeutet, dass er kein vollständiges Gefühl der Präsenz erhalten kann. Besonders aufwändige Tracking-Methoden können zudem das Phänomen der Latenz und Echtzeitprobleme in der Darstellung hervorrufen. Beides, sowie Behinderung des Nutzers von VR durch die Hardware selbst, wie zum Beispiel durch Kabel, können die Immersion ebenfalls stören und das Gefühl der Präsenz verhindern.

Weiteren Schwächen der VR-Systeme liegen vor allem in der visuellen Ausgabe und den Diskrepanzen in Raum- und Bewegungswahrnehmung. Nicht jeder Mensch ist dazu fähig Stereobilder wahrzunehmen. Zudem können, wenn der Pupillenabstand des Nutzers vom eingestellten Abstand der virtuellen Kameras abweicht, Doppelbilder entstehen, da der Nutzer nicht mehr dazu in der Lage ist, die beiden Bilder, welche vom VR-System ausgegeben werden, zu fusionieren (vgl. Dörner/ Steinecke 2013, 49). Zudem scheinen viele Nutzer Probleme zu haben, Distanzen in der virtuellen Welt einzuschätzen. Tatsächlich tendieren Nutzer dazu die, Größe einer virtuellen Welt um bis zu 50% zu unterschätzen (vgl. ebd., 53). Dies kann unter anderem an einem zu geringen Präsenzgefühl liegen und entweder durch erweiterte Tiefenhinweise ausgeglichen werden, oder indem man einen real bekannten Raum exakt nachbaut, was nicht nur das Präsenzgefühl steigert, sondern auch die Einschätzungsfähigkeit erhöht (vgl. ebd., 55). Eine ähnliche Unterschätzung findet sich im Bereich der Bewegungswahrnehmung. Oft merkt der Nutzer eines Systems nämlich gar nicht, wenn der Avatar sich bewegt, selbst wenn er diese Bewegung initiiert hat. Dies liegt an den Diskrepanzen zwischen visueller Anzeige und fehlendem haptischen Feedback (vgl. ebd.).

3.2.3 Chancen

Die größte Chance bei psycholinguistischer Forschung mit Virtual Reality liegt in der beinahe vollkommenen Kontrolle über den Ablauf der Studien und Experimente. Der Forscher kann nicht nur eigene Stimuli entwerfen, sondern auch eigene Umgebungen und sogar Kontaktpersonen für den Studienteilnehmer. Viele Variablen von psycholinguistischer Forschung können somit standardisiert werden. In der vorliegenden Beispielstudie mit VR wäre es einem menschlichen Agens beispielsweise nie möglich gewesen bei jedem Teilnehmer aufs neue eine exakt fünfprozentig höhere oder niedrigere Tonhöhe zu erreichen (vgl. Cassanto/ Jasmin 2017, 185). Durch Forschung mit Virtual Reality lassen sich solche Faktoren jedoch vereinheitlichen, was auch die Reproduzierbarkeit einer solchen Studie erhöht.

Reproduzierbarkeit ist ein Stützpfiler wissenschaftlicher Forschung. Erst wenn ein Experiment unter gleichen Versuchsbedingungen wiederholt werden kann und dabei (unter Einkalkulation von Messfehlern) gleiche Ergebnisse erzielt werden, kann ein Experiment als glaubwürdig und seriös angesehen werden. Wie bereits erwähnt, können Einflüsse wie Hintergrundgeräusche, Wetter- und Lichtverhältnisse sowie das Verhalten oder die Kleidung eines Forschers den Studienteilnehmer nachhaltig beeinflussen. Durch die hohe Standardisierbarkeit von Forschung mit Virtual Reality, insbesondere von Forschung mit Head-Mounted Displays, kann jedoch eine hohe Reproduzierbarkeit erreicht werden, da nicht nur die Stimuli, sondern die komplette Umgebung und Umwelteinflüsse der Testperson manipuliert und festgelegt werden können.

Dadurch, dass der Teilnehmer einer Studie in eine andere Realität versetzt werden kann, ist es noch nicht einmal zwingend notwendig, dass das Experiment oder die Studie in einem sterilen Labor durchgeführt wird. Das HMD verhindert im Allgemeinen, dass Umwelteinflüsse an den Teilnehmer gelangen. So kann ein psycholinguistisches Experiment prinzipiell sogar an jedem Ort und von jedem Forscher durchgeführt werden, solange die gleiche Hard- und Software verwendet wird. Das bedeutet auch, dass eine wesentlich höhere Zahl an Studienteilnehmern erreicht werden kann, da die Studie nicht davon abhängig ist, ob die Teilnehmer ins Labor oder in die vorbereitete Umgebung kommen. Stattdessen kann die Versuchsumgebung quasi zu den Versuchsteilnehmern gebracht werden, solange keine stationären VR-Systeme verwendet werden. HMDs eignen sich jedoch hervorragend zur Transportation. Auf diese Weise können Menschen mit verschiedenen sprachlichen, kulturellen oder einfach geographischen Hintergründen in die Studie aufgenommen werden. Auch kann (unter der Voraussetzung, dass keine allzu komplizierte Technik verwendet wird) die VR in

Krankenhäusern und Pflegeheimen eingesetzt werden, sodass beispielsweise die Sprachprozesse von Menschen mit Alzheimer-Demenz, oder von Menschen mit psychischen Störungen, untersucht werden können (vgl. Cassanto/ Jasmin 2017, 185).

Eine weitere Chance der Forschung mit Virtual Reality liegt in den endlosen Möglichkeiten der virtuellen Umgebungen. So lassen sich zum Beispiel auch komplexe Umgebungen minutiös nachstellen. Diese Umgebungen ließen sich dann auch gut nutzen, um die Abhängigkeit von Raumwahrnehmung zur Sprache zu untersuchen. Denkbar sind zum Beispiel Studien, in denen Teilnehmer mit unterschiedlichen Muttersprachen oder Teilnehmer mit unterschiedlichem Wortschatz in eine komplexe, undurchsichtige Umgebung, wie eine Großstadt, versetzt werden, mit der Aufgabe, sich in der virtuellen Welt zu orientieren. Durch zusätzliches Eye-Tracking ist es nicht nur möglich die Bewegungsrichtung zu erfassen, sondern es kann auch gesondert messen, wie der Mensch den Raum wahrnimmt. Durch groß angelegte Studien ließe sich somit erforschen, ob sich die Orientierung im Raum oder das finden von bestimmten Wegen durch die Zuhilfenahme von lexikalischen Ortsbestimmungen und Ortsbezeichnungen innerhalb verschiedener Sprechergruppen unterscheidet.

Zuletzt ist es mit immersiven, dreidimensionalen Stimuli auch möglich, echte emotionale Reaktionen in den Teilnehmern hervorzurufen. Die virtuellen Umgebungen sind für die Teilnehmer wesentlich lebensechter als es herkömmliche Wort-, Bild-, oder Video-Stimuli jemals sein könnten, daher sind die ausgelösten Reaktionen auch messbar echter.

3.2.4 Risiken

Das größte Risiko bei der Forschung mit Virtual Reality liegt vermutlich in ihrer Verträglichkeit. Simulierte Höhen oder Bewegungen können so stark sein, dass sie bei einem kleinen Teil der Teilnehmer Übelkeit oder Unwohlsein auslöst (vgl. Cassanto/ Jasmin 2017, 185). Dies kann verschiedene Ursachen haben, wie zum Beispiel, wenn der Nutzer des VR-Systems selbst nicht über Stereosicht verfügt, seine binokulare Sicht also gestört ist. Meist tritt dieses Unwohlsein jedoch bei Bewegungen in der Virtuellen Welt auf und wird daher auch „Motion-Sickness“ („Bewegungskrankheit“ oder manchmal auch „Cybersickness“) genannt (vgl. Dörner/ Steinecke 2013, 56). Dieser Effekt tritt ein, wenn die dem visuellen System vorgespielten Bewegungen nicht mit den Informationen des Gleichgewichtssinns übereinstimmen. Folgen können Benommenheit, Schwindelgefühl oder sogar Erbrechen sein (vgl. ebd.). Dieser Effekt kann ebenfalls eintreten, wenn die Latenz zwischen Eingabe und Ausgabe des VR-

Systems zu hoch ist oder die Auflösung des Displays zu niedrig und das Bild somit unscharf ist. Gerade bei Teilnehmern, die ohnehin schon mentale Schwierigkeiten haben, beispielsweise bei sprachpathologischen Studien oder Studien mit demenzerkrankten Teilnehmern, ist dieser Effekt nicht zu unterschätzen und kann nicht nur ein ernsthaftes Risiko für die Daten der Studie darstellen, sondern vor allem auch den Teilnehmern schaden, was niemals im Interesse einer ethisch vertretbaren Studie sein kann. Dennoch gibt es Möglichkeiten, diesen Effekt zu minimieren oder zu vermeiden. Auf diese soll in Kapitel 4 eingegangen werden.

Ein weiteres Risiko von Virtual Reality oder von jeder Art der Forschung mit Computersimulationen, ist das sogenannte „uncanny valley“, das sich auf die virtuellen Menschen bezieht, im vorliegenden Fall der Forschung den virtuellen Agens. Das „uncanny valley“ beschreibt den Zustand von Simulationen, die nicht länger menschenunähnlich sind, also erkennbar menschlich sein *sollen*, aber nicht menschlich genug *wirken*. Tatsächlich scheinen Teilnehmer eher bereit mit einem Roboter zu interagieren, der vollkommen menschenunähnlich ist, als mit einem Agens, der nicht menschlich *genug* aussieht und folglich als gruselig und unangenehm empfunden wird.

Zuletzt ist Forschung mit Virtual Reality sehr zeit- und kostenintensiv. Die passende Ausrüstung für eine wirklich perfekte, immersive Virtual Reality ist teuer und anspruchsvoll in der Handhabung. Einige der Eingabe- und Ausgabegeräte, besonders im Bereich des haptischen Feedbacks, sind sperrig und ermöglichen nur eine stationäre Benutzung. Sie können also, entgegen der eigentlichen Chance von Virtual Reality und insbesondere von HMDs als transportables Forschungsinstrument, nicht transportiert werden. Zudem müssen Forscher bei Studien mit VR nicht nur inhaltlich, sondern auch technisch geschult werden. Für die Gestaltung von VR-Stimuli benötigt es eine gewaltige Vorlaufzeit, da viel Design- und Programmierarbeit notwendig ist, um eine immersive Umgebung zu kreieren. Je nach Ausgangspunkt und Ziel der Studie ist es unter Umständen notwendig, so realitätsgetreu wie möglich zu sein, um alle Faktoren der Sprache miteinbeziehen zu können.

4. Handlungsempfehlung für VR-betriebene Forschung

Mit den nun zusammengefassten Chancen und Risiken der Virtual-Reality-betriebenen Forschung, bezogen auf die psycholinguistische Disziplin und die Erforschung von Raumwahrnehmung, lässt sich nun eine Handlungsempfehlung für künftige Forschung, Experimente und Forschungsdesigns geben. Dabei wird sich vor

allem auf die Methodik konzentriert, indem Empfehlungen für das Erstellen einer virtuellen Welt, dem Versuchsaufbau und der Technik sowie zu den Probanden und dem Ablauf eines Experiments mit VR gegeben werden.

4.1 Fragestellung

Wichtig für jede potentielle psycholinguistische Studie ist natürlich die Wahl der Forschungsmethoden. Um geeignete Forschung mit Virtual Reality zu betreiben, sollte sich der Forscher jedoch gut überlegen, ob die Methode auch wirklich zu der zuvor festgelegten Fragestellung passt. Die Fragestellung sollte am Anfang jeder Studie stehen. Im vorliegenden Fall der psycholinguistics laboratories wird das VR-System vermutlich vor allem zur Erforschung von sprachlich differenzierter Raumwahrnehmung genutzt werden. Dazu wird zunächst ein Themengebiet, möglicherweise ein grammatischer Aspekt, der sich in zwei oder mehr Sprachen unterscheidet, ausgewählt und eine Hypothese zur daraus resultierenden Raumwahrnehmung aufgestellt, die es dann mit der VR zu überprüfen gilt. Auch eine Untersuchung von Geschlechterunterschieden bezüglich Orientierung im Raum oder der Berufsabhängigen und Fachsprachlich differenzierten Wahrnehmung im dreidimensionalen Raum ist möglich - angelehnt an frühere Studien in den psycholinguistics laboratories (vgl. z.B. Mertins et al. 2017, 80 f. und Mertins et al. 2018).

4.2. Virtuelle Welt

Die virtuelle Welt des VR-Systems (oder zumindest Teilaspekte der virtuellen Welt) stellt den Stimulus der Studie oder der Forschung dar. Daher muss zunächst die virtuelle Welt designed und programmiert werden. Hierzu stehen eine ganze Reihe von möglichen Programmen zur Auswahl. Die psycholinguistics laboratories arbeiten derzeit an der Verwendung von „Sketch-Up“ zur Erstellung der 3D-Objekte und Gaming-Engines, wie „Unity“ und „Unreal“, zum Erstellen der virtuellen Umgebung. Die Welt sollte in Zusammenarbeit von Psycholinguisten und Architekten oder Designern erstellt werden, um sicher zu stellen, dass die Welt sowohl visuell ansprechend, strukturell sinnvoll und für die Studie zielführend ist.

Das Design, also die Gestaltung und der Umfang der Welt sowie der Grad der programmierten Interaktion, unterstehen dabei natürlich immer der Fragestellung der Studie. Das bedeutet, dass eine geeignete Umgebung gefunden werden muss, in welcher

die Fragestellung am geeignetsten untersucht und beantwortet werden kann. Handelt es sich bei der Fragestellung um eine Studie zur Erforschung von sprachlich differenzierter Raumwahrnehmung, eignet sich womöglich ein Gebäudekomplex, mit welchem man erforschen kann, wie sich die Orientierung in einem Gebäude zwischen verschiedenen Sprechergruppen unterscheidet.

Wichtig beim Erstellen einer virtuellen Welt ist darauf zu achten, möglichst viele Tiefenhinweise in die Umgebung einzubauen. Besonders von Bedeutung sind dabei die Beleuchtung und Schattenwürfe sowie verschiedene Texturen unterschiedlichster Größenverhältnisse. Auch einfache Tiefenhinweise, wie die gegenseitige Verdeckung von Objekten, können helfen, die Raumwahrnehmung der virtuellen Welt zu unterstützen. Schließlich sollten auch Objekte mit bekannter Größe eingebaut werden, um dem Teilnehmer einen Referenzrahmen zu geben. Dies kann einem Teilnehmer helfen, die virtuelle Welt besser einzuschätzen und räumlich wahrzunehmen. Der Referenzrahmen kann durch einzelne Objekte oder ganze bekannte Zimmer oder Räume umgesetzt werden. Es ist sogar denkbar, einen bekannten Raum zur Kalibrierung der Wahrnehmung zu nutzen und den Teilnehmer von dort in den eigentlichen Stimuli zu teleportieren. Ziel ist es stets, eine hohe Immersion zu gewährleisten, die es auch braucht, um emotionale Reaktionen im Teilnehmer hervorzurufen und realiable Ergebnisse zu erhalten.

Schließlich ist es auch wichtig, dass die virtuelle Welt und die simulierten Menschen, die als mögliche Interaktionspartner oder Gesprächspartner für die Studie dienen können, von den Teilnehmer nicht als unangenehm oder gruselig empfunden werden. Um sicher zu stellen, dass ein virtueller Agens nicht in das uncanny valley fällt, können die Gesichter der Agens zuvor von einer Testgruppe evaluiert werden, die bewerten, ob der Agens entweder als menschlich oder gruselig empfunden wird.

4.3 Versuchsaufbau und Technik

Das Experiment kann prinzipiell überall dort durchgeführt werden, wo Stromanbindung besteht. Jedoch können vor allem optische Tracking-Verfahren sensibel auf Licht oder verschiedene Luftdrücke reagieren. Deswegen ist eine Anwendung im Freien nicht zu empfehlen. Auch sollte bei Experimenten, die an mehreren Orten durchgeführt werden, zumindest auf ähnliche Lichtverhältnisse geachtet werden, um sicherzustellen, dass die Tracker jeweils unter ähnlichen Voraussetzungen funktionieren und gegebenenfalls ähnlich reagieren. Dies ist vor allem auch für die Einberechnung

eines Messfehlers von Bedeutung. Dieser kann sich nach mehreren Durchläufen des Experiments unterscheiden, wenn verschiedene Umwelteinflüsse die Eingabe- und Ausgabegeräte beeinflusst haben.

Es ist zu empfehlen möglichst mehrere, aber nicht zu viele und zu aufwendige Tracking-Verfahren einzusetzen. Die psycholinguistics laboratories verfügen derzeit über ein HMD, welches optisches Tracking, Bewegungs- und Beschleunigungssensoren verwendet und zusätzlich mit einem eingebauten Eye-Tracker ausgestattet ist. Der Eye-Tracker kann sowohl zur Datenaufnahme der Blickrichtungen für die wissenschaftliche Studien selbst genutzt werden, als auch für die Interaktion des Teilnehmers mit der virtuellen Welt. Zu viele Eingabegeräte können Probleme in der Datenverarbeitung und -geschwindigkeit verursachen, was mit Latenz und Immersionsverlust einhergeht.

Um Motion-Sickness zu vermeiden und eine höhere Immersion zu erzielen, ist es zu empfehlen, weitere Eingabe- und Ausgabegeräte zu nutzen, die dem Teilnehmer zugleich auch haptisches Feedback ermöglichen. Denkbar wären dabei sowohl Laufbänder, die eine höhere Bewegungsfreiheit ermöglichen, als auch Vibrationsplatten, für ein Studiendesign in einem virtuellen Auto, ähnlich dem Beispiel aus Kapitel 3.1.3. Für ältere Menschen oder Menschen mit geistigen Beeinträchtigungen kann die Handhabung von Zeigegeräten wie den Handles der HTC Vive, zudem verwirrend sein. Für eine natürlichere Interaktion können zum Beispiel Handschuhe, sogenannte „data gloves“, als Eingabegerät eingesetzt werden.

Sämtliche Eingabe- und Ausgabegeräte sollten vor jedem Gebrauch mit jedem Teilnehmer neu kalibriert werden, um nicht nur Messfehler zu vermeiden, sondern auch um die Technik für jeden Nutzer individuell einzustellen und die VR-Erfahrung so angenehm wie möglich umzusetzen.

4.4 Probanden

Die Probanden stellen das vermutlich schwierigste Kriterium bei Forschung mit Virtual Reality dar. Prinzipiell ist es zwar durch den Grad der Kontrolle über die Forschungssituation innerhalb der virtuellen Welt möglich beinahe jederzeit und überall das Experiment durchzuführen und möglichst viele Probanden aufzunehmen und somit ein reliables Ergebnis zu erzielen, jedoch ist nicht jeder Mensch geeignet, Virtual Reality zu verwenden. Die Teilnehmer sollten vor Beginn des Experiments jedoch noch auf ihre Stereofähigkeiten überprüft werden, um sicher zustellen, dass sie von dem

Stereodisplay eines HMDs nicht überfordert werden. Andernfalls kann es passieren, dass die Nutzung von VR zu Doppelbildern und zu Cybersickness führt.

Ob man jedoch orientierungslosen Patienten oder Menschen mit Demenz zumuten sollte, durch ein HMD in eine andere Realität versetzt zu werden, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Nach dem bisherigem Kenntnisstand und ausgehend von den herausgearbeiteten Chancen und Risiken ist jedoch vermutlich davon abzuraten, Teilnehmer mit psychischen Problemen oder mentalen Krankheiten in die Studie aufzunehmen oder diese zu dem integralen Forschungsschwerpunkt zu erklären. Die Nebenwirkungen bei der Verwendung von VR sind bei dem derzeitigen Stand der Technik zu hoch, als dass sie für (sprach-)pathologische Studien verwendet werden könnten. Stattdessen sollten vor allem Teilnehmer aus Gruppen mit unterschiedlichen sprachlichen Hintergründen gesucht werden.

4.5 Ablauf

Der Ablauf des Experiments oder der Studie im Allgemeinen richtet sich ebenfalls nach der Fragestellung und der Hypothese. Wird beispielsweise die Raumwahrnehmung der Studienteilnehmer untersucht, so könnte es ausreichen, die Probanden zuvor bezüglich ihrer Aufgaben zu instruieren und sich ansonsten auf die Beobachtung und der Aufnahme von Daten zu beschränken. Es kann auch mit dem Teilnehmer kommuniziert werden oder dieser zuvor gebeten werden, seine Vorgehensweise bei der Orientierung zu kommentieren. Dies hat zwar den Vorteil, dass der Forscher auch linguistische Daten erhält, jedoch benötigt das Kommentieren mehr Zeit in der mentalen Informationsverarbeitung des Teilnehmers, sodass die Vorgänge weniger automatisch verlaufen und der Proband gezwungen ist, sich seines Handelns gewahr zu werden. So würde der Proband zum Beispiel unbewusst vergleichen, wieso er die eine, statt der anderen Richtung eingeschlagen hat. Zudem führt das Aussprechen und Ansprechen bestimmter Entitäten in der VR dazu, dass der Nutzer gewahr wird, sich nur in einer virtuellen Umgebung zu befinden. Um linguistische Daten mit der VR zu erhalten, empfiehlt es sich daher, ähnlich der Beispielstudie, virtuelle Agens zu verwenden, die mit den Probanden in Kontakt treten, sodass der Nutzer weiterhin nur mit der virtuellen Umgebung interagiert und die Immersion erhalten bleibt. Der Agens kann vom Versuchsleiter gesteuert werden, indem meist aus einer vorprogrammierten und zuvor aufgenommenen Reihe von Antwortmöglichkeiten ausgewählt wird, um optimal auf den Teilnehmer reagieren zu können.

5. Schlussbetrachtung

Zum Abschluss dieser Arbeit soll das Thema Virtual Reality erneut zusammengefasst werden. Anschließend wird die gesamte Arbeit einem Fazit unterzogen und ein Ausblick auf die Zukunft von Forschung mit VR gegeben.

5.1 Zusammenfassung

Virtual Reality hat sich im Laufe der letzten Jahrzehnte sehr gewandelt, auch wenn der Grundgedanke, durch Technologie in eine andere, immersive und vollständig manipulierbare Realität zu wechseln sogar schon vor der Erfindung des PCs Bestand hatte. Auch wenn die Definition von Virtual Reality nicht eindeutig ist oder einheitlich gebraucht wird, so meint Virtual Reality meist entweder die virtuelle Welt selbst oder die technischen Voraussetzungen um die Welt anzuzeigen. Die Technik von VR bedient sich der Wahrnehmung des Menschen und nutzt verschiedenste Effekte der menschlichen Sinne aus, um die Illusion einer dreidimensionalen, interaktiven Realität zu erschaffen. VR-Systeme lassen sich aufteilen in die virtuelle Welt selbst, die durch Computer generiert und gerendert wird, sowie in Eingabe- und Ausgabegeräte. Eingabegeräte sind vor allem die vielen Tracking-Verfahren, die den Nutzer des Systems im Raum erfassen und seine Bewegungen als Daten an den Computer leiten. Der Computer nutzt die Daten für die virtuelle Welt, welche von den Ausgabegeräten an den Nutzer zurückgeleitet wird. Das verbreitetste Ausgabegerät ist ein sogenanntes Head-Mounted Display, welches aus einem Stereodisplay und verschiedenen Sensoren besteht.

Virtual Reality lässt sich vielfältig anwenden und hat längst Einzug in die Unterhaltungsindustrie, die Autoindustrie aber auch in die Medizin gefunden. VR wird seit wenigen Jahren zudem auch für erste psycholinguistische Studien verwendet. Bei Forschung mit VR gibt es verschiedene Vor- und Nachteile. Der größte potentielle Vorteil und Stärke der VR ist die Immersion und die daraus folgende Präsenz in der virtuellen Welt. Sie macht die erhobenen Daten reliabel, weil die Probanden sich weniger in einer Laborsituation, sondern in einer vermeintlich echten, wenn auch vollständig geplanten und kontrollierten Situation befinden. Jedoch sind die Ausgabegeräte nach derzeitigem Stand der Technik noch nicht soweit, dass sie eine vollständige Immersion erlauben. Nachteile von VR finden sich vor allem in den Diskrepanzen der Raum- und Bewegungswahrnehmung und der bei machen Nutzern auftretenden „Motion-Sickness“ oder „Cybersickness“, also Übelkeit und Unwohlsein

durch die Verwendung von VR. Eine Studie mit VR muss daher gut überlegt sein, da Forschung mit VR nicht für jede Fragestellung und jede Sprechergruppe sinnvoll ist.

5.2 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit hatte sich zum Ziel gesetzt, sowohl einen Überblick über Virtual Reality zu bieten, als auch das Potenzial und Anwendungsfelder von VR für die psycholinguistische Forschung darzulegen. Die Arbeit hat gezeigt, dass VR durchaus Potenzial für die Psycholinguistik mit sich bringt. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig. Dabei eignet sich VR natürlich besonders für die Erforschung von Raumwahrnehmung, jedoch sind auch andere psycholinguistische Experimente und Studien mit VR denkbar, denn der Forscher hat bei VR-Experimenten völlige Kontrolle über den Versuchsaufbau sowie sämtliche Einflüsse, die den Probanden betreffen. Die Immersion der Stimuli liefert zudem einen wichtigen Beitrag für die Ergebnisse.

Inwieweit sich VR als Forschungsinstrument der Psycholinguistik durchsetzen wird ist jedoch derzeit noch unklar, besonders da der momentane Aufwand noch sehr hoch ist. Um reliable Ergebnisse zu erhalten müssen viele Faktoren beachtet werden. Es muss kostenintensives Equipment angeschafft werden, aufwändige virtuelle Welten müssen designed und programmiert sowie Versuchsleiter im Umgang mit der Technik geschult werden. Jedoch steht auch die Forschung an Virtual Reality selbst nicht still und so entwickelt sich die Technik ständig weiter. In Kürze werden beispielsweise HMDs massentauglich, deren Auflösung und Pixeldichte sehr wohl mit dem menschlichen Auge mithalten kann, was eine große Schwäche von derzeitigen VR-Systemen beseitigen würde. Auch der Aufwand vom Erstellen virtuellen Welten lässt sich in Zukunft möglicherweise durch geteilte Asset-Pools verringern. Dabei werden bestimmte Bausteine der Stimuli mit anderen Forschern geteilt, um so die Zeit zu verkürzen, die sonst mit modellieren und programmieren verbracht worden wäre.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass mit dem Voranschreiten der Technik auch immer mehr Forschung mit Virtual Reality möglich sein wird. Die vorliegende Arbeit kann daher nur partiell für einen sehr kurzen Augenblick innerhalb eines sich fortwährend weiterentwickelnden Themas gewertet werden, wobei die hier dargelegten und behandelten Faktoren der Virtual Reality auch in Zukunft weiterhin Bestand haben werden. So kann diese Arbeit hoffentlich auch für spätere Studien mit verbesserter VR-Technik noch als einführende Grundlage und Handlungsempfehlung herangezogen werden.

6. Literaturverzeichnis

- Bogen, Manfred/ Rilling, Stefan/ Fraunhofer Institut für intelligente Analyse und Informationssysteme (2013): *Virtuelle Realität in der Öl- und Gasindustrie*. In: Dörner, Ralf/ Broll, Wolfgang/ Grimm, Paul/ Jung, Bernahrd (Hrsg.): *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Heidelberg: Springer Vieweg, S. 300-303
- Bormann, Kai C. (2015): *Strategisches Human Ressource Management*. In: Rowold, Jens (Hrsg.): *Human Ressource Management. Lehrbuch für Bachelor und Master*. Heidelberg: Springer Gabler, S. 20-23
- Cassanto, Daniel/ Jasmin, Kyle M. (2017): *Virtual Reality*. In: de Groot, Annette M.B./ Hagoort, Peter (Hrsg.): *Research Methods in Psycholinguistics and the Neurobiology of Language*. Oxford: John Wiley & Sons, S. 174-189
- Dörner, Ralf/ Jung, Bernhard/ Grimm, Paul/ Broll, Wolfgang/ Göbel, Martin (2013): *Einleitung*. In: Dörner, Ralf/ Broll, Wolfgang/ Grimm, Paul/ Jung, Bernahrd (Hrsg.): *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Heidelberg: Springer Vieweg, S. 1-32
- Dörner, Ralf/ Steinicke, Frank (2013): *Wahrnehmungsaspekte von VR*. In: Dörner, Ralf/ Broll, Wolfgang/ Grimm, Paul/ Jung, Bernahrd (Hrsg.): *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Heidelberg: Springer Vieweg, S. 33-64
- Grimm, Paul/ Herold, Rigo/ Hummel, Johannes/ Broll, Wolfgang (2013): *VR-Eingabegeräte*. In: Dörner, Ralf/ Broll, Wolfgang/ Grimm, Paul/ Jung, Bernahrd (Hrsg.): *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Heidelberg: Springer Vieweg, S. 97-126
- Grimm, Paul/ Herold, Rigo/ Reiners, Dirk/ Cruz-Neira, Carolina (2013): *VR-Ausgabegeräte*. In: Dörner, Ralf/ Broll, Wolfgang/ Grimm, Paul/ Jung, Bernahrd (Hrsg.): *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Heidelberg: Springer Vieweg, S. 127-156
- Haluck, Randy S., MD/ Krummel, Thomas M., MD (2000): *Computers and Virtual Reality for Surgical Education in the 21st Century*. In: *Arch Surg*. 2000; 135 (7): 786-792
- Höhle, Barbara 2014: *Psycholinguistik: Ein Überblick*. In: Höhle, Barbara (Hrsg.): *Psycholinguistik*. Berlin. Akademie Verlag GmbH, S. 9-22
- Mertins, Barbara (2018): *Sprache und Kognition. Ereigniskonzeptualisierung im Deutschen und Tschechischen*. Berlin/Boston. Walter de Gruyter GmbH, S. 3-14

- Mertins, Holger/ Mertins, Barbara/ Delucci Danhier, Renate/ Schulz, Ansgar/ Schulz, Benedikt (2017): *Architekten haben eine andere Raumwahrnehmung*. In: Detail research. Building the Future, S. 80-81
- Niehorster, Diederick C./ Li Li/ Lappe, Markus (2017): *The Accuracy and Precision of Position and Orientation Tracking in the HTC Vive Virtual Reality System for Scientific Research*. In: i-Perception. May-June 2017. S. 1-23
- Patz, Robert (2015): *Virtual Reality-Aided Architectural Design (VRRAD). Eine Annäherung an kultur- und naturwissenschaftliche Parameter*. Berlin: Universität der Künste Berlin, S. 17-19
- Stadie, Nicole/ Drenhaus, Heiner/ Höhle, Barbara/ Spalek, Katharina/ Wartenburger, Isabell (2014): *Forschungsmethoden der Psycholinguistik*. In: Höhle, Barbara (Hrsg.): Psycholinguistik. Berlin. Akademie Verlag GmbH, S. 24-38
- Wang, David (2013): *Simulation Research*. In: Groat, Linda/ Wang, David (Hrsg.): Architectural Research Methods. Second Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, S. 349-353
- Wanger, Leonard R./ Ferweda, James A./ Greenberg, Donald P. (1992): *Percieving Spatial Relationships in Computer-Generated Images*. In: IEEE Computer Graphics and Applications, Volume 12, Issue 3: 44-58

Internetquellen:

- Dormehl, Luke (2017), *8 virtual reality milestones that took it from sci-fi to your living room* <<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-virtual-reality/>> [Zugriff: 31.08.2019]
- Medical View (2018), *Virtual Reality helps amputees embody prosthetic limb* <<https://medicalview.org/virtual-reality-helps-amputees-embody-prosthetic-limb/>> [Zugriff: 10.09.2019]
- Mertins, Barbara/ Delucci Danhier, Renate/ Wulf, Judith/ Mertins, Holger (2018) *Gendertypische Raumwahrnehmung* <<https://www.detail.de/artikel/gendertypische-raumwahrnehmung-33186/>> [Zugriff: 19.09.2019]
- VR Coaster 2019, *Upgrade your Coaster!* <<http://www.vr-coaster.com/technology.php>> [Zugriff: 10.09.2019]