

# **Einsatz immersiver virtueller Realitäten präsentiert über ein Head-mounted Display in der neurologischen Rehabilitation**

**Use of immersive virtual realities**

**presented via a head-mounted display**

**in neurological rehabilitation**

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie

der Fakultät HW

Bereich Empirische Humanwissenschaften

der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Michael Knodt

aus Neustadt an der Waldnaab

Saarbrücken, 2022

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jörn Sparfeldt

Erstberichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Georg Kerkhoff

Zweitberichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Thomas Schenk

Tag der Disputation: 14.01.2022

## Danksagung

*„Auf einmal merkt man,  
daß man Schritt für Schritt  
die ganze Straße gemacht hat.“*

Michael Ende: Momo (1973, S. 37)

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. Georg Kerkhoff für seine Betreuung und seine ständige Bereitschaft, Fragen zu diskutieren und Hilfestellungen zu geben. Ich werde die Betreuung stets in guter Erinnerung behalten.

Ein tiefer Dank gilt auch Dr. phil. Günter Neumann, der mein Interesse an der Neuropsychologie und der Forschung geweckt hat und mir stets ein guter Freund und Mentor war.

Große Dankbarkeit gilt meinen Eltern, die mich zu jeder Zeit unterstützt und mir Mut zugesprochen haben, meinen eigenen Weg zu gehen.

Tiefe Dankbarkeit gilt auch meiner Frau und meinen beiden Töchtern, die mich in der zurückliegenden Zeit häufig entbehren mussten, mich aber immer wieder an die wesentlichen Dinge des Lebens erinnerten.

Kipfenberg, den 21.07.2021

Michael Knodt

## Zusammenfassung

Der Einsatz von virtueller Realität (VR) in der psychologischen Forschung, der Psychotherapie und in der Neuropsychologie ist nichts Neues. Allerdings hat sich in den letzten Jahren durch die Entwicklung und stetige Verbesserung von Head-mounted Displays (HMD) eine völlig neue Darbietungsweise von virtuellen Inhalten aufgetan. Durch die hohe Immersion wurde eine bis dato nicht für möglich gehaltene Erlebnisqualität von virtueller Realität ermöglicht. Im Gegensatz zu anderen psychologischen Disziplinen fand der Einsatz von Head-mounted-Displays in der Neuropsychologie bisher noch wenig Beachtung.

Anders als wenn virtuelle Realität auf einem PC-Bildschirm oder Fernseher dargestellt wird, versetzt ein Head-mounted Display den Benutzer viel direkter und unabdingbarer in die künstlich geschaffene Umwelt. Der englische Dichter und Philosoph Samuel Taylor Coleridge bezeichnete 1817 die Fähigkeit und Bereitschaft des sich Einlassens auf ein fiktives (literarisches) Werk als „willentliche Aussetzung der Ungläubigkeit“ (Coleridge, 2009). Auch bei Filmen oder Computerspielen willigt der Zuschauer oder Spieler ein, sich auf die Illusion einzulassen. Die Schwelle zur „willentlichen Aussetzung der Ungläubigkeit“ wird durch den hohen Grad an Immersion und Präsenz, der durch HMDs erzeugt wird, sowie die völlige Ausblendung der realen Umwelt noch einmal deutlich reduziert. Neuropsychologische Störungsbilder können Denkvermögen, Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Sprachvermögen, Motorik, Persönlichkeit, Verhalten und visuelle Wahrnehmung beeinträchtigen. Vor diesem Hintergrund ist es entsprechend von hoher Bedeutung, zunächst die Technik der VR und HMDs genau zu beleuchten, um den Patienten durch deren Anwendung keinen Schaden zuzufügen, und gleichzeitig das enorme therapeutische Potenzial dieser Geräte darzustellen.

Die vorliegende Arbeit schafft zunächst einen Überblick über das breitgefächerte Gebiet der VR und die Technik der HMDs sowie deren Einsatz. Die technischen Aspekte der Darstellung von virtuellen Inhalten werden aufgezeigt und bio-psychologischen Gesichtspunkten gegenübergestellt. Als Ausgangsebene der Recherche wird speziell die therapeutische Nutzung von HMDs bei Menschen mit neuropsychologischen Störungsbildern herangezogen und mögliche Fallstricke und Nebenwirkungen eruiert. Ebenso wird anhand aktueller Beispiele das Spektrum des Einsatzgebietes von virtueller Realität präsentiert auf HMDs aufgezeigt. Die zwei anschließenden Studien untersuchen den Einsatz von HMDs an neurologischen Patienten.

In der ersten Studie wurden grundlegende Erkenntnisse über die Wirksamkeit und Verträglichkeit von VR präsentiert über ein HMD bei neurologischen Patienten gewonnen. Bei 20 Patienten zwischen 30 und 85 Jahren mit den Krankheitsbildern Hirninfarkt, Hirnblutung, Critical-Illness-Polyneuropathie und Schädel-Hirn-Trauma wurden die physiologischen Parameter Hautleitwert und Pulsfrequenz erhoben

sowie das emotionale und das körperliche Wohlbefinden und die Akzeptanz des Verfahrens abgefragt. Es wurde eine virtuelle Entspannungstherapie mit einer akustische Phantasiereise und der Kontrollbedingung „Mandala ausmalen“ verglichen. Eine maßgebliche Erkenntnis war, dass durch die Umsetzung der vorangegangenen theoretischen Überlegungen dieser Arbeit (vgl. Kap. 2) keinerlei Nebenwirkungen bei den Patienten zu beobachten waren, welche durch die HMDs ausgelöst wurden. Ebenso zeigte sich eine hohe Akzeptanz der Virtual-Reality-Verfahrens durch die teilnehmenden Patienten. Bei den objektiven Parametern konnte kein signifikanter Effekt nachgewiesen werden. Es zeigte sich dagegen ein positiv empfundenen Arousal, welches die Patienten subjektiv als angenehm und entspannend interpretierten.

Die zweite Studie untersuchte, ob die Anwendung von VR präsentiert über ein HMD bei 28 Patienten mit linksseitigem visuellem Neglect als Add-on einer konventionellen Neglect-Therapie überlegen ist. Die eingesetzte Technologie löste bei den Neglect-Patienten keine Nebenwirkungen aus. Therapeutisch zeigte sich ein unmittelbarer Effekt nach der ersten VR-Anwendung bei einer Linienhalbierungsaufgabe und einem Zahlendurchstreichtest. Dieser Effekt verschwand jedoch zwei bis drei Tage nach der ersten Anwendung wieder vollständig. Die Hälfte der Patienten nahm dreimal innerhalb einer Woche an der VR-Therapie teil. Bei ihnen konnte ein signifikanter Effekt auch zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Anwendung nachgewiesen werden. Die Patienten verbesserten sich signifikant in der Linienhalbierungsaufgabe, im Zahlendurchstreichtest und in den Saarbrücker Lesetexten.

Die gefundenen Ergebnisse beider Studien ermutigen zu weiterer Forschung über den Einsatz von virtueller Realität präsentiert über Head-mounted Displays zur Unterstützung und Erweiterung der Therapie bei neuropsychologischen Störungsbildern.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	III
Zusammenfassung .....	IV
Inhaltsverzeichnis .....	VI
Abbildungsverzeichnis .....	IX
Tabellenverzeichnis .....	XII
Abkürzungsverzeichnis .....	XV
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2. VR-Technik, theoretischer Hintergrund und aktueller Forschungsstand.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Virtuelle Realität – Eine Definition.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Nicht-immersive VR.....	5
2.1.2 Immersive VR .....	5
2.1.3 Virtual Reality – Augmented Reality – Mixed Reality .....	7
<b>2.2 Technische Aspekte der VR.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Ausgabegeräte für virtuelle Inhalte zur Erzeugung von Präsenz und Immersion .....	9
2.2.2 Head-mounted Displays .....	11
2.2.3 Field of view: Das Sichtfeld in die virtuelle Realität .....	14
2.2.4 Erfassen des Verhaltens des Anwenders.....	16
2.2.5 Die Erstellung von Inhalten und Anwendung für HMDs.....	17
<b>2.3 Biopsychologische Gesichtspunkte und <i>human factors</i> beim Einsatz von HMDs an neurologischen Patienten .....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Usability von HMDs im stationären und ambulanten Setting der neurologischen Rehabilitation .....	21
2.3.2 Simulator sickness und Motion sickness .....	24
2.3.3 Willing suspension of disbelief – Die „willentliche Aussetzung der Ungläubigkeit“.....	29
2.3.4 Immersion und Präsenz.....	31
2.3.5 Potenzial und mögliche Vorteile von HMDs gegenüber klassischer Bildschirmdarstellung und Face-to-face-Therapie .....	32
<b>2.4 Aktuelle Studien und Anwendungsbeispiele aus der psychologischen Forschung.....</b>	<b>35</b>
<b>Studie 1 .....</b>	<b>40</b>
<b>3. Untersuchung eines Virtual-Reality-basierten Entspannungsverfahrens bei Patienten mit (zentral)neurologischem Krankheitsbild.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Zusammenfassung.....</b>	<b>41</b>

<b>3.2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>42</b>
<b>3.4</b>	<b>Theoretische Grundlagen und empirische Befunde</b> .....	<b>43</b>
3.4.1	Ausgewählte (zentral)neurologische Krankheitsbilder .....	43
3.4.2	Vorüberlegungen über den Einsatz von virtuellen Entspannungsverfahren in der neurologischen Rehabilitation .....	45
3.4.3	Entspannungsverfahren in der neurologischen Rehabilitation – Stand der empirischen Forschung .....	46
3.4.4	Imaginative Entspannungsverfahren und mögliche Anwendungsprobleme bei (zentral)neurologischen Patienten .....	47
<b>3.5</b>	<b>Fragestellungen und Variablenwahl</b> .....	<b>49</b>
3.5.1	Fragestellungen und Forschungshypothesen .....	49
3.5.2	Vorstellung der Variablenwahl .....	50
<b>3.6</b>	<b>Material und Methode</b> .....	<b>51</b>
3.6.1	Probanden .....	51
3.6.2	Mess- und Untersuchungsinstrumente .....	53
3.6.3	Untersuchungsdesign .....	57
3.6.4	Testablauf .....	59
3.6.5	Statistische Analysen .....	61
<b>3.7</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>62</b>
3.7.1	Deskriptive Befunde .....	62
3.7.2	Hypothesenprüfende Auswertung .....	67
<b>3.8</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>82</b>
3.8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	82
3.8.2	Diskussion der Ergebnisse .....	83
3.8.3	Implikationen für klinische Praxis, Forschung und nachfolgende Studien .....	88
<b>Studie 2</b> .....	<b>89</b>	
<b>4.</b>	<b>Die Effektivität einer virtuellen Therapie unter Anwendung eines Head-mounted Displays bei Patienten mit Neglect</b> .....	<b>89</b>
<b>4.1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>90</b>
<b>4.2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>91</b>
<b>4.3</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>93</b>
<b>4.4</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>93</b>
4.4.1	Das Störungsbild Neglect .....	93
4.4.2	Ätiologie und Epidemiologie .....	94
4.4.3	Formen des Neglects .....	95

4.4.4 Erklärungsmodelle für Neglect .....	98
4.4.5 Therapieansätze .....	100
<b>4.5 Fragestellung und Variablenwahl .....</b>	<b>105</b>
4.5.1 Fragestellungen und Forschungshypothesen.....	105
4.5.2 Vorstellung der Variablenwahl.....	107
<b>4.6 Material und Methode.....</b>	<b>108</b>
4.6.1 Probanden und Aufnahmevoraussetzungen.....	108
4.6.2 Mess- und Untersuchungsinstrumente.....	109
4.6.3 Beschreibung der Versuchsmaterialien.....	113
4.6.4 Untersuchungsdesign .....	116
4.6.5 Testablauf .....	118
4.6.6 Statistische Analyse .....	118
<b>4.7 Ergebnisse .....</b>	<b>119</b>
4.7.1 Deskriptive Befunde .....	119
4.7.2 Hypothesenprüfende Auswertung .....	119
4.7.3 Post-hoc-Untersuchungen.....	131
<b>4.8 Diskussion .....</b>	<b>142</b>
4.8.1 Zusammenfassung der Untersuchungen.....	142
4.8.2 Interpretation und Evaluation der Ergebnisse der Untersuchung .....	144
4.8.3 Evaluation der Methodik.....	148
4.8.4 Implikationen für die zukünftige Forschung und Praxis.....	152
<b>5. Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>154</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>158</b>



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die für diese Arbeit durchgeführten Studien und deren Schwerpunkte ..	4
Abbildung 2: Mixed-reality-Kontinuum.....	7
Abbildung 3: Unterschiede VR, MxR und AR.....	8
Abbildung 4: Beispiel eines CAVE-Systems mit zwei aktiven Seiten .....	10
Abbildung 5: Explosionsdarstellung eines HMDs angelehnt an die VR-Brille Oculus Go.....	12
Abbildung 6: Menschliches Gesichtsfeld horizontal .....	15
Abbildung 7: Menschliches Gesichtsfeld vertikal.....	15
Abbildung 8: Inside-out-tracking vs. Outside-in-tracking.....	17
Abbildung 9: Panono 360-Grad-Kamera. ....	18
Abbildung 10: Prototyp Kamera-Rig für GoPros.....	18
Abbildung 11: Patientin mit HMD im Krankbett .....	20
Abbildung 12: Publikationen zu den Themen „VR“ und „VR“ AND „Cognitive“ seit 1995.....	38
Abbildung 13: Das CAREN-System.....	47
Abbildung 14: Verteilung der Diagnosen der Patienten in Studie 1 .....	52
Abbildung 15: Fünfstufige Smiley-Skala zur Beantwortung der Fragebogenitems.....	54
Abbildung 16: Anlegen der Sensoren an die Hand.....	55
Abbildung 17: Screenshot des 360-Grad-Videos der Entspannung im Wald.....	56
Abbildung 18: Patient in Skizze führt die 360-Grad-VR-Entspannung durch .....	57
Abbildung 19: Aufnahmeablaufschemata nach CONSERT-Kriterien.....	58
Abbildung 20: Proband vor der Durchführung des VR-basierten Entspannungsverfahrens, HMD und Einwegkopfhörer wurden aufgesetzt.....	60
Abbildung 21: Gründe für die Nichtteilnahme an Studie 1 oder Abbruch.....	62
Abbildung 22: Mittelwerte des Hautleitwerts in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung.....	63
Abbildung 23: Mittelwerte der Pulsfrequenz in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung .....	64
Abbildung 24: Mittelwerte des Entspannungsgrads in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung .....	65
Abbildung 25: Mittelwerte des Körperlichen Wohlbefindens in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung.....	65
Abbildung 26: Mittelwerte des Emotionalen Wohlbefindens in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung.....	66
Abbildung 27: Angabe von Nebenwirkungen.....	66
Abbildung 28: Interaktion der Faktoren Entspannungsverfahren und Zeit für den Hautleitwert.....	68

Abbildung 29: Interaktion der Faktoren Entspannungsverfahren und Zeit für die Pulsfrequenz.....	70
Abbildung 30: Interaktion der Faktoren Entspannungsverfahren und Zeit für den Entspannungsgrad .....	71
Abbildung 31: Veränderung des emotionalen Wohlbefindens über die Zeit innerhalb der drei Untersuchungsbedingungen .....	75
Abbildung 32: Veränderung des körperlichen Wohlbefindens über die Zeit innerhalb der drei Untersuchungsbedingungen .....	77
Abbildung 33: Aufnahmeablaufschemata der Patientenrekrutierung nach CONSERT-Kriterien.....	109
Abbildung 34: Erfassung des visuellen Explorationsbereiches nach links und rechts mithilfe der Messung der Kopfrotation .....	113
Abbildung 35: Standbild des 360-Grad-Videos im Rechteckformat mit den eingeblendeten roten und grünen Ankern.....	114
Abbildung 36: Giroptic 360.....	115
Abbildung 37: Skizzierter Aufbau der Therapiesituation .....	115
Abbildung 38: Untersuchungsdesign Studie 2 .....	117
Abbildung 39: Mittelwerte vor der VR-Therapieintervention (Prä-VR) unmittelbar danach (Post-VR1) und zwei bis drei Tage danach (Follow-Up-VR1).....	124
Abbildung 40: Mittelwerte der Differenzwerte zwischen, vor und nach einer Woche konventioneller Therapie und Mittelwerte der Differenzwerte zwischen, vor und nach einer Woche mit drei VR- Therapieeinheiten als Add-on .....	126
Abbildung 41: Mittelwerte der eingesetzten Diagnoseinstrumente vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie .....	128
Abbildung 42: Mittelwerte der eingesetzten Diagnoseinstrumente vor der ersten VR-Therapie (Prä- VR1) und zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapie (Post-VR3) .....	130
Abbildung 43: Mittelwerte der drei Linien vor und nach der ersten VR-Therapieintervention .....	133
Abbildung 44: Mittelwerte der drei Linien vor und ein bis zwei Tage nach der ersten VR- Therapieintervention.....	133
Abbildung 45: Mittelwerte der Differenzwerte, zwischen vor und nach dreimaliger VR- Therapieintervention und vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie in der Linienhalbierungsaufgabe .....	135
Abbildung 46: Mittelwerte der Zahlendurchstreichaufgabe vor und nach der ersten Therapieintervention.....	138
Abbildung 47: Mittelwerte der Zahlendurchstreichaufgabe vor der ersten VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapieintervention .....	138

Abbildung 48: Mittelwerte der Differenzwerte im Zahlendurchstreichtest zwischen vor und nach dreimaliger VR-Therapieintervention und vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie.....	138
Abbildung 49: Kopfdrehbewegungen während der ersten VR-Therapieeinheit mit Durchschnittslinie .....	139
Abbildung 50: Kopfdrehbewegungen während der dritten VR-Therapieeinheit mit Durchschnittslinie .....	140
Abbildung 51: Vergleich der durchschnittlichen Kopfdrehbewegung zwischen der ersten und der dritten VR-Therapieeinheit mit den Hochpunkten der jeweiligen angenäherten quadratischen Funktionen.....	141

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich unterschiedlicher VR-Systeme mit Direktsicht-HMD (Daten von den Hersteller-Homepages übernommen, Zugriff: 21.01.2021).....	13
Tabelle 2: Virtual Reality Clinical Outcomes Research Experts Model (nach Bickhead et al., 2019) ....	39
Tabelle 3: Übersicht über Ein- und Ausschlusskriterien für Probanden zur Studienteilnahme.....	53
Tabelle 4: Mauchly-Test auf Sphärizität der abhängigen Variable Hautleitwert .....	67
Tabelle 5: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung des Hautleitwerts.....	67
Tabelle 6: Testergebnisse des Wilcoxon-Tests zur Überprüfung des Zeiteffekts auf den Hautleitwert	68
Tabelle 7: Mauchly-Test auf Sphärizität der abhängigen Variable Pulsfrequenz.....	69
Tabelle 8: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung der Pulsfrequenz.....	69
Tabelle 9: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung des Entspannungsgrads .....	71
Tabelle 10: Testergebnisse des Wilcoxon-Tests zur Überprüfung des Zeiteffekts auf den Entspannungsgrad .....	72
Tabelle 11: Testergebnisse des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen zur Prämessung.....	72
Tabelle 12: Mittlere Ränge der Untersuchungsbedingungen des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen zur Prämessung.....	72
Tabelle 13: Testergebnisse des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen zur Postmessung.....	73
Tabelle 14: Mittlere Ränge der Untersuchungsbedingungen des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen zur Postmessung .....	73
Tabelle 15: Testergebnisse des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds der Veränderungswerte des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen von Prä- zu Postmessung .....	73
Tabelle 16: Mittlere Ränge der Untersuchungsbedingungen des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds der Veränderungswerte des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen von Prä- zu Postmessung.....	73
Tabelle 17: Dunn-Bonferroni-Tests zum Einzelvergleich der Veränderungswerte des Entspannungsgrads der drei Bedingungen von Prä- zu Postmessung .....	74
Tabelle 18: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung des emotionalen Wohlbefindens .....	75

Tabelle 19: Testergebnisse des Wilcoxon-Tests zur Überprüfung des Zeiteffekts auf das emotionale Wohlbefinden.....	76
Tabelle 20: Mauchly-Test auf Sphärizität der abhängigen Variable Körperliches Wohlbefinden .....	76
Tabelle 21: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung des körperlichen Wohlbefindens.....	77
Tabelle 22: Deskriptive Analyse der Zusatzitems zum VR-bezogenen körperlichen Wohlbefinden in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire (Item 12, 13, 14).....	78
Tabelle 23: Testergebnisse des Chi-Quadrat-Anpassungstests zur Prüfung der Zufallsverteilung der Zusatzitems zum VR-bezogenen körperlichen Wohlbefinden in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire.....	78
Tabelle 24: Berechnungen zu beobachteter und erwarteter Anzahl der Kategorienangabe des Chi-Quadrat-Anpassungstests zur Prüfung der Zufallsverteilung der Zusatzitems zum VR-bezogenen körperlichen Wohlbefinden in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire .....	78
Tabelle 25: Testergebnisse des Chi-Quadrat-Anpassungstests zur Prüfung der Zufallsverteilung des Items zur Akzeptanz des Verfahrens in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire (Items 15) .....	79
Tabelle 26: Berechnungen zu beobachteter und erwarteter Anzahl der Kategorienangabe des Chi-Quadrat-Anpassungstests zur Prüfung der Zufallsverteilung des Items zur Akzeptanz des Verfahrens in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire (Item 15).....	79
Tabelle 27: Überblick der bestätigten und nicht bestätigten Hypothesen .....	81
Tabelle 28: Übersicht über Ein- und Ausschlusskriterien für Probanden zur Studienteilnahme in Studie 2.....	108
Tabelle 29: Punktekriterien des Clock-Drawing-Tests (nach Bailey et al., 2000) .....	111
Tabelle 30: Freie Äußerungen der Patienten nach der ersten VR-Einheit (N=28) .....	119
Tabelle 31: Freie Äußerungen der Patienten nach der dritten VR-Einheit (n=14).....	120
Tabelle 32: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor der VR-Therapieintervention und unmittelbar danach .....	121
Tabelle 33: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor der VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage danach .....	122
Tabelle 34: Vergleiche der Differenzwerte zwischen, vor und nach einer Woche konventioneller Therapie und der Differenzwerte zwischen, vor und nach einer Woche mit drei VR-Therapieeinheiten als Add-on.....	125
Tabelle 35: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie .....	127
Tabelle 36: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor der ersten VR-Therapieintervention und nach der dritten VR-Therapieintervention .....	129

Tabelle 37: Vergleich der drei Linien vor und nach der ersten VR-Therapieintervention .....	132
Tabelle 38: Vergleich der drei Linien vor der ersten VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage danach .....	132
Tabelle 39: Vergleich der Differenzwerte zwischen, vor und nach dreimaliger VR- Therapieintervention und vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie in der Linienhalbierungsaufgabe .....	134
Tabelle 40: Vergleich der Zahlendurchstreichaufgabe vor und nach der ersten Therapieintervention .....	136
Tabelle 41: Vergleich der Zahlendurchstreichaufgabe vor der ersten VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage danach .....	136
Tabelle 42: Vergleich der Differenzwerte zwischen, vor und nach dreimaliger VR- Therapieintervention und vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie in der Zahlsuchaufgabe.....	137
Tabelle 43: Durchschnittliche Anzahl der Therapieminuten pro Woche ohne VR als Add-on und mit VR als Add-on.....	142

# Abkürzungsverzeichnis

- ADL *Activities of daily life*
- AR *Augmented Reality*
- CAREN *Computer-Assisted-Rehabilitation- Environment*
- FOV *Field of view*
- GBS *Catherine Bergego Scale*
- GNP *Gesellschaft für Neuropsychologie*
- HMD *Head-mounted Display*
- LI *Lateralitätsindex*
- MS *Motion sickness*
- MxR *Mixed Reality*
- OKS *Optokinetische Stimulation*
- rTMS *repetitive Transkranielle Magnetstimulation*
- SiS *Simulator sickness*
- SPT *Pursuit Eye Movement Training*
- tDCS *Transcranial direct current stimulation*
- VIMS *Visually induced motion sickness*
- VR *Virtuelle Realität (engl. virtual reality)*
- VRLE *Virtual Reality Learning Environments*

*In der vorliegenden Arbeit wurde aus Gründen der Lesbarkeit auf die Differenzierung der Geschlechter in der Schriftsprache verzichtet, soweit dies für das Verständnis nicht notwendig erschien. Es sind stets beide Geschlechter gemeint.*

## 1. Einleitung

Die virtuelle Realität gilt als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts und wird aktuell von vielen wissenschaftlichen Disziplinen erforscht und genutzt. Der Einsatz virtueller Welten wurde in der psychologischen Forschung bis vor einigen Jahren als „die Antwort, die auf eine Frage wartet“ (Foreman, 2009, S. 225) bezeichnet. Dies hat sich inzwischen drastisch geändert, da es mit dem Fortschreiten der technischen Entwicklung erstmals möglich wurde, entsprechende Fragestellungen zu formulieren, die so nur über leistungsstarke und bis dato kostenintensive VR-Systeme untersucht werden konnten. Vor allem in der Industrie, im Militär, in der Wirtschaft sowie in der Unterhaltungsbranche wird VR seit einigen Jahren vermehrt angewandt. Aber auch in der Psychotherapie werden in den letzten Jahren Therapieverfahren, die auf VR beruhen, erforscht und erfolgreich eingesetzt (Amores, Richer, Zhao, Maes, & Eskofier, 2018; Botella et al., 2016; Botella, Serrano, Baños, & Garcia-Palacios, 2015; North, North, & Coble, 2015).

Norcross, Pfund und Prochaska (2013) versuchten mit einem Delphi-Verfahren die Trends und die zukünftigen Schwerpunkte in der Psychotherapie vorherzusagen. Sie befragten 70 Experten, welche Themen und Therapietechniken sie für das Jahr 2022 als wichtig erachten. Dabei zeigte sich der Einsatz von VR in einer Rangliste, welche die Veränderungen von psychotherapeutischen Interventionen vorhersagen soll, auf Platz vier, hinter Online-Selbsthilfe-Therapie, Smartphone-Anwendungen und der Empfehlung von Selbsthilferessourcen (außer Büchern).

Neu bei der Nutzung und der Präsentation von virtuellen Inhalten ist der Einsatz von HMDs. Diese Displays sind eine Schlüsseltechnologie, die es erlaubt, eine deutlich höhere Immersion (vgl. [2.3.4](#)) zu erschaffen als bei der Darstellung über herkömmliche Bildschirme. HMDs wurden durch Unternehmen wie Oculus, welches 2014 für 2 Milliarden US-Dollar von Facebook aufgekauft wurde (Parkin, 2014) und HTC bekannt und haben ihren vorrangigen Einsatzzweck in der Spiele- und Unterhaltungsindustrie. Seit ein paar Jahren findet die Technik aber auch immer mehr Einzug in die Forschung. Neben der Darstellung von Unterhaltungsinhalten können mithilfe dieser Technik komplexe Simulationen mit einem hohen Grad an Immersion dargestellt werden. Dabei können in *Virtual Reality Learning Environments* (VRLE) (Bricken, 1991) sowohl explizite Lerninhalte, wie beispielsweise das virtuelle Nacherleben historischer Momente, als auch prozedurale Lerninhalte, wie etwa komplexe endoskopische Operationsmethoden, vermittelt werden (Garner, 2018).



Die Psychotherapieforschung untersucht mit der Technik der HMDs vor allem *Skills Training* und Expositionsverfahren. Auch wenn eine in vivo Exposition noch immer als der Goldstandard bei vielen Angststörungen gilt, so gibt es bei einigen Patienten Akzeptanzprobleme. So konnten etwa North et al. (2015) zeigen, dass ein fünfwöchiges VR-Training die Angst vor öffentlichem Sprechen signifikant reduzierte. Reichenberger, Diemer, Zwanzger, Notzon und Mühlberger (2017) entwickelten ein virtuelles Training für soziale Kompetenzen auf Basis von zwei Szenarios aus dem Gruppentraining sozialer Kompetenzen (Hinsch & Pfingsten, 2015). Es konnte gezeigt werden, dass eine Gruppe mit hoher sozialer Angst auch signifikant höhere Angstwerte während des Trainings im virtuellen Raum angab als eine Gruppe mit niedriger sozialer Angst. Ebenso trat bei der Gruppe mit hoher sozialer Angst die störungsspezifisch-typische Verzerrung hinsichtlich der Einschätzung eigener Kompetenzen und Symptome auf.

Die Neuropsychologie steht noch am Anfang, VR-Anwendungen mit kommerziellen HMDs zu erforschen und zu entwickeln. Aktuell wird im klinischen Alltag vor allem auf PC-gestützte Trainingsverfahren wie Cogpack (Marker, 2008), Rehacom (RehaCom, 1997) oder CogniPlus (Schuhfried, 2007) gesetzt. Vor dem Hintergrund, dass neurologische Patienten sehr empfindlich auf veränderte Umwelten reagieren können, muss neben der Entwicklung möglicher Anwendungen immer auch die Verträglichkeit der Verfahren im Mittelpunkt der Forschung stehen (vgl. Studie 1). Gerade weil die Technik noch in den Kinderschuhen steckt, ist es wichtig, Verfahren stets mit dem Hintergedanken zu entwickeln, dass auch bei neurologisch gesunden Anwendern sensomotorische Diskrepanzen und Nebenwirkungen (vgl. 2.3.2) auftreten können. Deshalb muss bei der Erforschung möglicher therapeutischer oder diagnostischer Anwendungen immer die Schnittstelle Mensch-Maschine ein zentraler Bestandteil der Arbeit sein.

Zwar wurden bereits Reviews und Studien zum Einsatz von VR bei neurologischen Störungsbildern veröffentlicht, jedoch handelt es sich bei der eingesetzten Technik meist um Prototypen oder explorative Studien mit kleinen Teilnehmerzahlen (Siala et al., 2019). Die Untersuchungen wurden häufig vor dem Aufkommen von kommerziellen HMDs von Herstellern wie Oculus (Facebook) oder HTC getätigt und haben in der Regel die Einschränkung, dass die eingesetzten Prototypen unter anderem eine sehr geringe Auflösung, langsame Reaktionszeiten, kleine Gesichtsfelder und die damit verbundenen Probleme aufzeigen (vgl. 2.2.3). Krohn et al. (2019) versuchen daher mit ihrer VR-Checklist einen einheitlichen Standard für die Evaluation von VR in der neuropsychologischen Forschung zu etablieren. Aktuell beschäftigt sich auch das vom Bundesministerium für Forschung und Bildung geförderte Forschungsprojekt *VRha*: „Virtuelle Welten für digitale Diagnostik und kognitive Rehabilitation - Virtual Reality als zukunftsweisendes Element der computergestützten kognitiven Rehabilitation (Forschungsprojekt-VRha, 2018), mit neuropsychologischen Fragestellungen.

Rizzo und Koenig (2017) stellten die Frage: „Is clinical virtual reality ready for primetime?“ und kommen zu dem Schluss, dass klinische VR-Anwendungen ein unverzichtbares Werkzeug für Forscher und Anwender im neuropsychologischen Feld sein werden. Diese Arbeit soll dabei auch der Forderung nachkommen: „The design of technological tools worth using in clinical practice must be based on informed theoretical grounds and careful needs assessment requires user feedback from clinical scientists, practitioners, and patients“ (Bouchard & Rizzo, 2019, S. 9).

Ziel dieser Arbeit ist es zunächst einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik und Applikation innerhalb der psychologischen und neuropsychologischen Forschung zu verschaffen. Dabei sollen mögliche Anwendungsfelder abgesteckt und noch ungelöste Aufgaben aufgedeckt werden. Sowohl Vorteile dieser neuen Technologie, die Herausforderungen und auch mögliche Nachteile sollen anwendungsbezogen beleuchtet werden. In den beiden anschließend dargestellten Studien werden Einsatzmöglichkeiten von kommerziell verfügbaren Systemen in der neuropsychologischen Rehabilitation ausgelotet. Dabei wird vor allem die Verwendung von VR präsentiert über HMDs überprüft und ein Ausblick auf den Einsatz von augmentierter Realität (AR) gegeben. In Studie 1 werden die subjektive Verträglichkeit, körperliche Parameter und Patientenakzeptanz mithilfe eines virtuellen Entspannungsverfahrens untersucht. Studie 2 überprüft den Einsatz von VR präsentiert über ein HMD bei räumlich-visuellem Neglect.

Die Studien wurden auf Basis der „Recommendations for Methodology of Virtual Reality Clinical Trials in Health Care by an International Working Group: Iterative Study“ (Birkhead et al., 2019) geplant und durchgeführt und orientieren sich am VR-Check-Protokoll „Multidimensional assessment of Virtual Reality applications in clinical neuropsychology (Krohn et al., 2019).

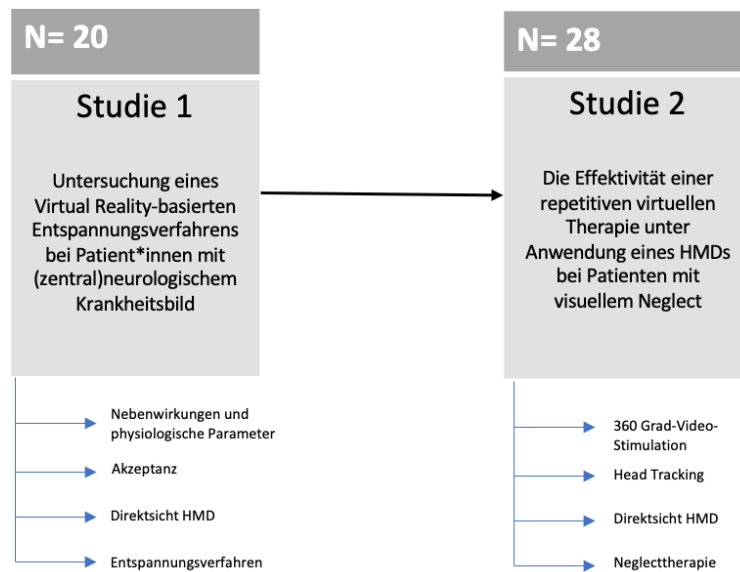


Abbildung 1: Übersicht über die für diese Arbeit durchgeführten Studien und deren Schwerpunkte

## 2. VR-Technik, theoretischer Hintergrund und aktueller Forschungsstand

Sucht man nach den ersten menschlichen Vorstellungen, die in Zusammenhang mit VR gebracht werden können, stößt man in der Literatur häufig auf Platons (428/427 v. Chr. – 348/347 v. Chr.) Höhlengleichnis (Cruz-Neira, Sandin, & DeFanti, 1993; Fuchs et al., 2017; Heim, 1994). Der antike Philosoph legt darin dar, wie eine künstliche, virtuelle Realität vermittelt werden könnte. In seinem Gleichnis leben Menschen als Gefangene in einer Höhle und sind dabei an den Oberschenkeln und am Nacken so festgebunden, dass sie nur nach vorne an die Wand der Höhle blicken können. Sie wissen nichts von der Existenz des Ausgangs, der sich hinter ihnen befindet. Die Höhle wird durch ein Feuer, welches hinter den Gefangenen brennt, beleuchtet. Die Gefangenen können das Feuer jedoch nicht direkt sehen, sondern nur die Lichter und die Schatten, welche das Feuer an die Wand wirft. Die Gefangenen können also keine Objekte außerhalb dieser Höhle wahrnehmen, sondern nur die Schatten dieser sehen und erfahren. Sie erfahren also über eine Art Projektor eine künstliche, virtuelle Welt.

Auch Giovanni Fontanas (1395–1455) magische Laterne, welche auf einer Skizze aus dem Jahr 1420 gefunden wurde, wird in diesem Zusammenhang häufig genannt (Fuchs et al., 2017; Lone, 2016). Sie ist der Prototyp eines modernen Diaprojektors. Die dort skizzierte Laterne wirft Bilder, die auf Glasplatten aufgemalt sind, mit Kerzenlicht an die Außenwände, was die Menschen der damaligen Zeit wahrscheinlich stark beeindruckte.

## 2.1 Virtuelle Realität – Eine Definition

Der Ursprung des Begriffs *Virtual Reality* (virtuelle Realität) wird mit dem amerikanischen Informatiker Jaron Lanier in Verbindung gebracht. Dieser gilt als Vater der modernen VR und verwendete den Begriff 1987 zum ersten Mal in Zusammenhang mit Computerspielen (Bouchard & Rizzo, 2019). In seinem Buch „dawn of the new everything“ bietet Lanier (2017) ganze 50 verschiedene Definitionen des Begriffs an.

Beim Versuch, den Begriff virtuelle Realität zu definieren, findet man in der Literatur, je nach Forschungsgebiet und Einsatz, unterschiedliche Herangehensweisen und Abgrenzungen. Grundlegend kann VR als eine Möglichkeit für Menschen zur Interaktion, Manipulation und Visualisierung von komplexen Daten an Computern bezeichnet werden (Aukstakalnis & Blatner, 1993). Eine fortschrittliche, hochentwickelte Weise der Mensch-Maschinen-Interaktion (Rizzo, Buckwalter, & Neumann, 1997), die Benutzern eine natürliche Form der Interaktion ermöglicht, die über die normale Bedienung mit Maus und Tastatur hinausgeht (Rizzo & Koenig, 2017).

Der Einsatz von Ein- und Ausgabegeräten bei VR, der darauf abzielt, die Immersion zu erhöhen, macht noch eine weitere Unterscheidung notwendig:

### 2.1.1 Nicht-immersive VR

Nicht-immersive VR meint die Darstellung einer computerbasierten Umwelt auf einem Bildschirm oder Fernseher (Freina & Ott, 2015). Der Anwender interagiert mit den dargestellten dreidimensionalen Inhalten via Joystick, Spiele-Controller, Maus, Tastatur oder spezieller, vom Hersteller mitgelieferter, Hardware. Beispiele dafür sind das Trittbrett und die Infrarot-Controller bei einer Nintendo Wii Konsole. Aus technischer Sicht wird bei modernen PC-Spielen von einer VR-Umwelt gesprochen. Diese wird zwar auf einem Monitor dargestellt, ermöglicht es dem Anwender aber sich in einer dreidimensionalen Landkarte zu bewegen und mit ihr zu interagieren (Rizzo & Koenig, 2017).

### 2.1.2 Immersive VR

Bei der immersiven VR werden verschiedene Ein- und Ausgabegeräte integriert. Die dreidimensionalen Inhalte werden von einem PC, einem Handy oder via Cloud-Dienste berechnet und auf HMDs ausgegeben. Auch die Integration von Körpersensoren, Handschuhen die haptisches Feedback geben und die Einbindung von Laufbändern ist möglich. Dieser Aufbau ermöglicht es dem Anwender, sich auf eine als natürlich empfundene Art und Weise in der computergenerierten, künstlichen Umwelt zu bewegen und mit ihr zu interagieren (Rizzo & Koenig, 2017). Wenn der Anwender in einer nicht-immersiven

dreidimensionalen Umwelt den Blick seines künstlichen Avatars nach rechts wenden will, muss er beispielsweise den Mauszeiger nach rechts in Richtung Bildschirmrand bewegen. Je nach Perspektive, also aus der Dritten-Person-Ansicht oder aus der Ich-Perspektive, verändert sich das Bild entsprechend auf dem Bildschirm. In der immersiven VR mit HMDs genügt es, wenn der Anwender den Kopf in die gewünschte Richtung dreht. Dann sieht er aus der Ich-Perspektive den entsprechenden virtuellen Inhalt der dargestellten Umgebung vor seinen Augen eingeblendet.

Fuchs et al. (2017) nähern sich einer Begriffsbestimmung an, indem sie drei Definitionen mit unterschiedlichem Hintergrund erstellen. Eine für den Verwendungszweck bestimmte Definition (*purpose of virtual reality*), eine Definition, um die theoretischen Funktionen zu betonen (*function definition*) und eine Definition, welche die technischen Aspekte in den Mittelpunkt rückt (*technical definition*).

#### **Purpose of virtual reality:**

*„The purpose of virtual reality is to make possible a sensorimotor and cognitive activity for a person (or persons) in a digitally created artificial world, which can be imaginary, symbolic or a simulation of certain aspects of the real world.“ (Fuchs et al., 2017, S. 24)*

#### **Functional definition:**

*„Virtual reality will help him to come out of the physical reality to virtually change time, place and (or) the type of interaction: interaction with an environment simulating the reality or interaction with an imaginary or symbolic world.“ (Fuchs et al., 2017, S. 25)*

#### **Technical definition:**

*„Virtual reality is a scientific and technical domain that uses computer science (1) and behavioural interfaces (2) to simulate in a virtual world (3) the behaviour of 3D entities, which interact in real time (4) with each other and with one or more users in pseudo-natural immersion (5) via sensorimotor channels.“ (Fuchs et al., 2017, S. 25)*

Diese Dreiteilung ist für die Planung, Erstellung und Erforschung von Anwendungen im klinischen Setting bedeutsam. Fragestellungen in Forschungsarbeiten müssen sich mit allen drei Ebenen dieser Definitionen auseinandersetzen.

Zum einen muss der Zweck (*purpose*) hinter der Anwendung klar überlegt sein. Nach dieser Definition ist der Zweck von VR, es einer Person zu ermöglichen, via sensomotorischer und kognitiver Aktivität in einer künstlichen, virtuellen Welt zu interagieren. In den für die vorliegende Arbeit verfassten Studien werden Patienten, die aufgrund von neurologischen Erkrankungen unter sensomotorischen und kognitiven Einschränkungen leiden, einer virtuellen Welt ausgesetzt. Entsprechend sind im Vorfeld erkrankungsspezifische Veränderungen von Wahrnehmung und Verhalten mit in die Planung der dargestellten Inhalte einzubeziehen.

Die funktionelle Definition ist für die Art und Weise, wie der Patient mit der virtuellen Welt interagiert, relevant, aber auch für die Funktion der Anwendung von VR. Es muss im Vorfeld die Frage gestellt werden, worin der Vorteil gegenüber einer anderen Form der Therapie liegen könnte? Warum kann es für Patienten hilfreich sein, sich virtuell in eine andere Umwelt, an einen anderen Ort, in eine andere Zeit zu versetzen, oder eine andere Interaktionsform mit der Umwelt zu erschaffen?

Die technische Definition ist insofern wichtig, als dass Ideen für Anwendungen häufig an der technischen Machbarkeit scheitern, oder nur eingeschränkt umsetzbar sind. Ohne sich mit den technischen Hintergründen auseinanderzusetzen, ist vor allem die Erstellung, aber auch die Anwendung einer VR-basierten Therapie kaum möglich. Die psychologischen Vorüberlegungen stecken vor allem in der Planung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, der Art und Weise der Darstellung und dem Verhalten der virtuellen Wesen und Bedienelemente. Gleichzeitig muss geprüft werden, ob externe Ressourcen wie die Computerwissenschaft für die Umsetzung der Anwendung notwendig sind.

### 2.1.3 Virtual Reality – Augmented Reality – Mixed Reality

Die Begriffe *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR) und *Mixed Reality* (MxR) werden in der Literatur nicht immer trennscharf benutzt. Dies ist häufig auch nicht möglich, da die unterschiedlichen künstlichen Realitäten und deren Darstellung auf einem Kontinuum verlaufen (vgl. Abbildung 2).

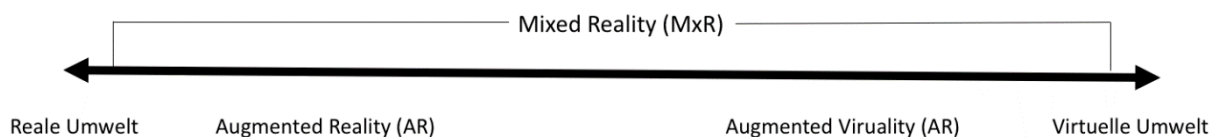


Abbildung 2: Mixed-reality-Kontinuum nach Milgram, Takemura, Utsumi und Kishino (1995)

Während in der reinen VR die für den Benutzer geschaffene Umwelt völlig virtuell dargestellt wird (vgl. Studie 1 und Studie 2), werden in der Augmented Reality (AR) zusätzliche Informationen in die reale Umwelt integriert. Dies können Hinweisreize wie Pfeile oder Markierungen, Videos und andere mediale Objekte sein. Die AR kann hier mit Kontrollpunkten, Bildmarken oder, je nach Anwendung, GPS Dateien arbeiten, um die entsprechenden Objekte an der korrekten Stelle und zum korrekten Zeitpunkt in das reale Bild einzublenden (Stone, 2018). Die AR überlagert im Gegensatz zur VR die reale Umwelt. Beispielsweise überträgt eine außen am HMD angebrachte Kamera ein Echtzeitbild auf die Displays vor den Augen. In diese Displays werden augmentierte Reize als Zusatzinformation eingeblendet. Im Gegensatz zur Mixed Reality (MxR) ist dabei aber der digitale Inhalt vom realen Inhalt getrennt (Silva, Southworth, Raptis, & Silva, 2018).

Die MxR bezeichnet alles zwischen den maximalen Ausprägungen VR und AR. Hier geht man zudem noch einen Schritt weiter. Es werden nicht nur Zusatzinformationen in Echtzeit auf das dargestellte Bild der Umwelt einblendet. Es wird vielmehr versucht, Gegenstände aus der Umwelt in Echtzeit zu analysieren, um damit die Darstellung virtueller Objekte glaubbarer und realer erscheinen zu lassen. Gleichzeitig soll die Verwendbarkeit der eingeblendeten Objekte verbessert werden (Stone, 2018). Der Anwender kann mit den virtuellen Objekten in Echtzeit interagieren. Ein Beispiel hierfür wäre etwa das Einblenden von durch den Nutzer veränderbaren Objekten auf einem realen Regal. Die Objekte können vom Regal virtuell heruntergenommen und manipuliert werden. In der MxR sind also die digitalen Inhalte in die Realität integriert (Silva et al., 2018). Stone (2016) nutzte beispielsweise MxR, um Chirurgen für gynäkologische Eingriffe zu trainieren.

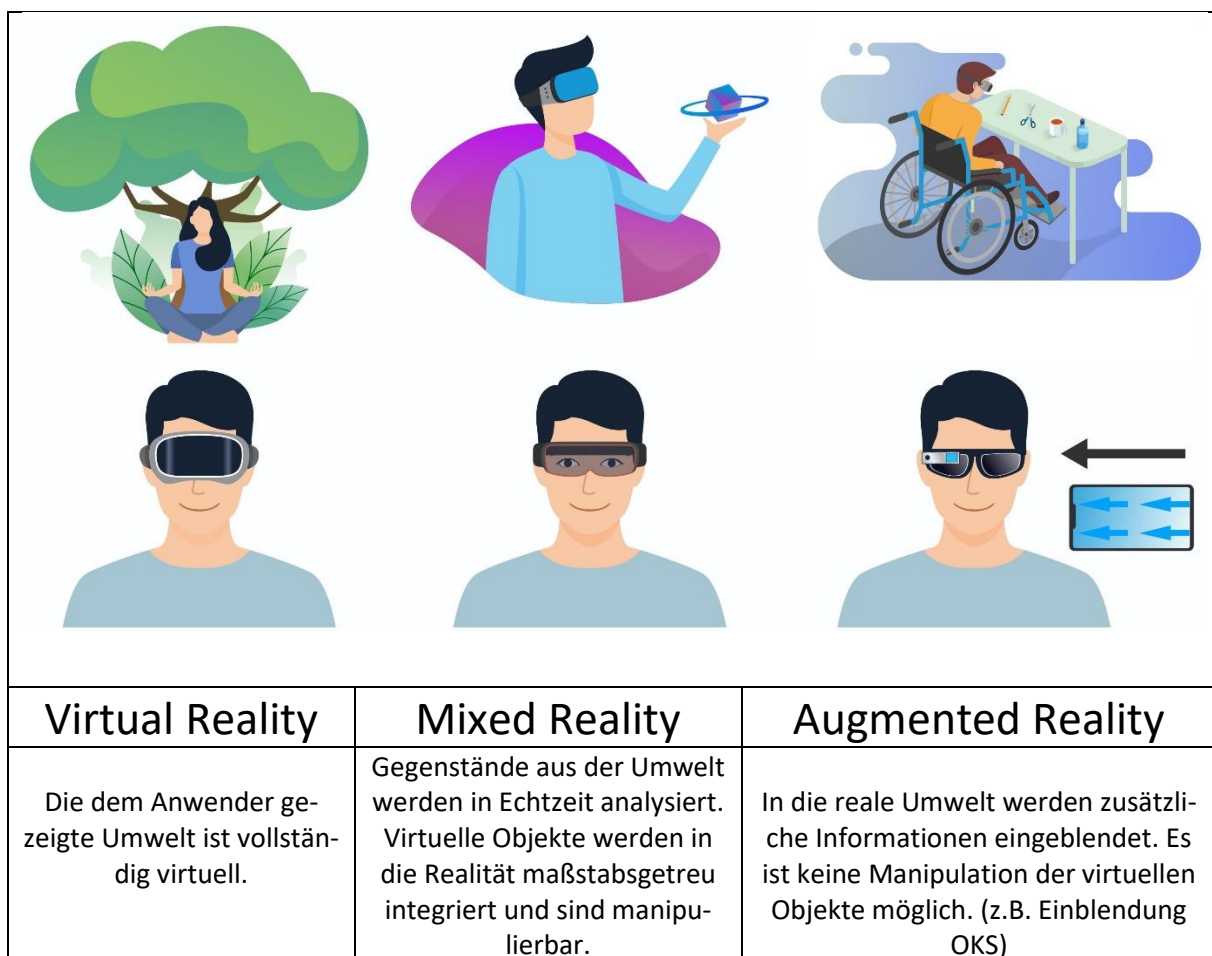


Abbildung 3: Unterschiede VR, MxR und AR (eigene Darstellung)

Abbildung 3 verdeutlicht den Unterschied zwischen VR, MxR und AR. In Studie 1 und Studie 2 kommt die VR Technologie zum Einsatz. Der Patient ist so weit wie möglich in der virtuellen Welt, ohne dabei visuelle (Studie 2) oder visuelle und auditive Reize (Studie 1) aus der realen Welt wahrzunehmen. Bei AR-Anwendungen sieht der Patient zusätzliche Informationen in die Realität eingeblendet. Ein Beispiel wäre die Einblendung einer optokinetischen Stimulation (OKS) in ein See-Through-Display, während

der Patient in einer Therapiesituation ist. Dabei kann er diese Einblendungen weder beeinflussen noch manipulieren. Dies wäre nur durch MxR möglich.

## 2.2 Technische Aspekte der VR

### 2.2.1 Ausgabegeräte für virtuelle Inhalte zur Erzeugung von Präsenz und Immersion

Im Folgenden soll auf die gängigsten Ausgabegeräte für VR, AR und MxR eingegangen werden. Es wird ein Überblick über den aktuellen technischen Stand gegeben. Der Schwerpunkt liegt vor allem auf kommerziellen Lösungen, da Studien mit Prototypen aufgrund ihrer Vielzahl und Unterschiedlichkeit nicht umfassend dargestellt werden können und häufig nur unzureichend beschrieben sind. Ziel jedes VR-Ausgabegerätes ist es, durch entsprechende Reizerzeugung dem Anwender eine virtuelle Umwelt erfahrbar zu machen. Neben HMDs gibt es zahlreiche Möglichkeiten komplexe 360 Grad-VR darzustellen. Diese beruhen zumeist auf Projektoren oder Monitoren, die aneinander gereiht ein großes Einzelbild darstellen. Für den klinischen Einsatz sind solche Systeme aufgrund ihrer Größe und der hohen Kosten in der Regel nicht geeignet.

#### Cave Displays

Ein *Cave* ist ein Raum, der aufgebaut ist wie ein Würfel (vgl. Abbildung. 4). Im Inneren dieses Würfels befindet sich der Benutzer. Die Seiten des Würfels bestehen aus Bildschirmen, die im Regelfall Rückprojektoren sind (Cruz-Neira, Sandin, DeFanti, Kenyon, & Hart, 1992). CAVE-Systeme bestehen meist aus zwei bis sechs aktiven Displayseiten (Grimm, Herold, Reiners, & Cruz-Neira, 2013). Eines der bekanntesten CAVE-Systeme in Deutschland ist das aixCAVE an der RWTH Aachen University.





Abbildung 4: Beispiel eines CAVE-Systems mit zwei aktiven Seiten (eigene Darstellung)

### Curved Screen

Bei einem *Curved Screen* handelt es sich um ein gebogenes Display, das meist von der Rückseite mittels Projektoren bestrahlt wird. Der gebogene Bildschirm reicht im Regelfall vom Boden bis zur Decke, hat meist einen Durchmesser von siebeneinhalb Metern und ist in der Regel im 150 Grad Radius aufgespannt (Sharples, Cobb, Moody, & Wilson, 2008). Diese Systeme werden häufig in Fahr- und Flugsimulatoren eingesetzt. Manche Curved Screens können 360 Grad vollständig abdecken. Diese werden als Domprojektoren bezeichnet (Grimm, Herold, Reiners, & Cruz-Neira, 2013). Eines der größten Projekte ist dabei der Elbedome des Fraunhofer Instituts.

### Tiled Display

Hierbei handelt es sich um ein Display, das aus mehreren einzelnen, gekachelten (*tiled*) Bildschirmen zusammengesetzt wird. Auf jedem Einzelbildschirm wird ein Teil des großen Bildes dargestellt, welches sich aus dem Zusammenspiel der Einzelbilder ergibt. Häufig findet man auch den Ausdruck *Video-Wall*. Der Vorteil dieser Art der Darstellung ist, dass mit deutlich weniger Kosten als bei High-end-Projektoren, die beispielsweise bei *Curved Displays* oder *Caves* benutzt werden, eine hohe Auflösung erreicht werden kann. Dies liegt daran, dass bei dieser Methode preiswerte Serienmodelle von Monitoren verwendet werden können (Grimm, Herold, Reiners, & Cruz-Neira, 2013).

Die größten Nachteile der projektorbasierten sowie der *Tiled Displays* sind die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten, die Größe und die stationäre Gebundenheit. Der wohl aktuell wichtigste Unterschied für die Wahrnehmung der Benutzer zwischen einem CAVE-System und einem VR-HMD ist, dass Anwender des CAVE-Systems ihren eigenen Körper noch real sehen.

## 2.2.2 Head-mounted Displays

Ein HMD ist ein Ausgabegerät für VR. HMDs bieten in der Regel die wirtschaftlichste Art und Weise, virtuelle Inhalte mit hoher Immersion darzustellen. Im Gegensatz zu den oben genannten Methoden haben die meisten HMDs den Nachteil, dass den gezeigten Inhalt immer nur eine Person sehen kann. Je nach Quelle der dargestellten Inhalte kann zwischen PC-gestützten, Mobiltelefon-gestützten, Spielekonsolen-gestützten und Standalone-HMDs unterschieden werden. Während Mobiltelefon-gestützte HMDs und Standalone-HMDs vor allem den Vorteil höherer Mobilität und eines geringeren Gewichts haben, können PC-gestützte und Spielekonsolengestützte HMDs grafisch deutlich anspruchsvollere Inhalte darstellen, sind dabei aber kabelgebunden und meist schwerer. HMDs können weiter unterteilt werden in Direktsicht-HMDs, Video-HMDs und See-Through-HMDs:

### Direktsicht-HMDs

Direktsicht-HMDs spielen momentan die größte Rolle auf dem Konsumentenmarkt, da es die entsprechende Hardware bereits ab circa 200 Euro zu kaufen gibt (vgl. Tabelle 1). Die größten Hersteller wie Oculus (inzwischen Teil von Facebook), HTC und Google setzen nahezu ausschließlich auf Direktsicht-HMDs. Die schnell voranschreitende technische Entwicklung macht einen Überblick über alle aktuellen verfügbaren Geräte kaum möglich. Ein vollständiger Artikel mit allen auf dem Markt verfügbaren Geräten findet sich auf Wikipedia (Wikipedia contributors, 2021). In Tabelle 1 wird eine Übersicht über die gängigsten kommerziellen Direktsicht-HMDs aufgezeigt. Es wurden dabei nur Modelle der aktuellen Marktführer aufgenommen, um einen Vergleich der gängigsten Systeme zu ermöglichen.

Abbildung 5 zeigt den prototypischen Aufbau eines HMDs in Anlehnung an ein Headset von Oculus (Oculus Go) in der Explosionsdarstellung. Das eingebaute Mainboard mit Prozessor, Grafikchip und Soundkarte wurde nicht mit in die Grafik aufgenommen, da diese Bauteile je nach HMD unterschiedlich aufgebaut bzw. ausgelagert in einen externen PC sind.

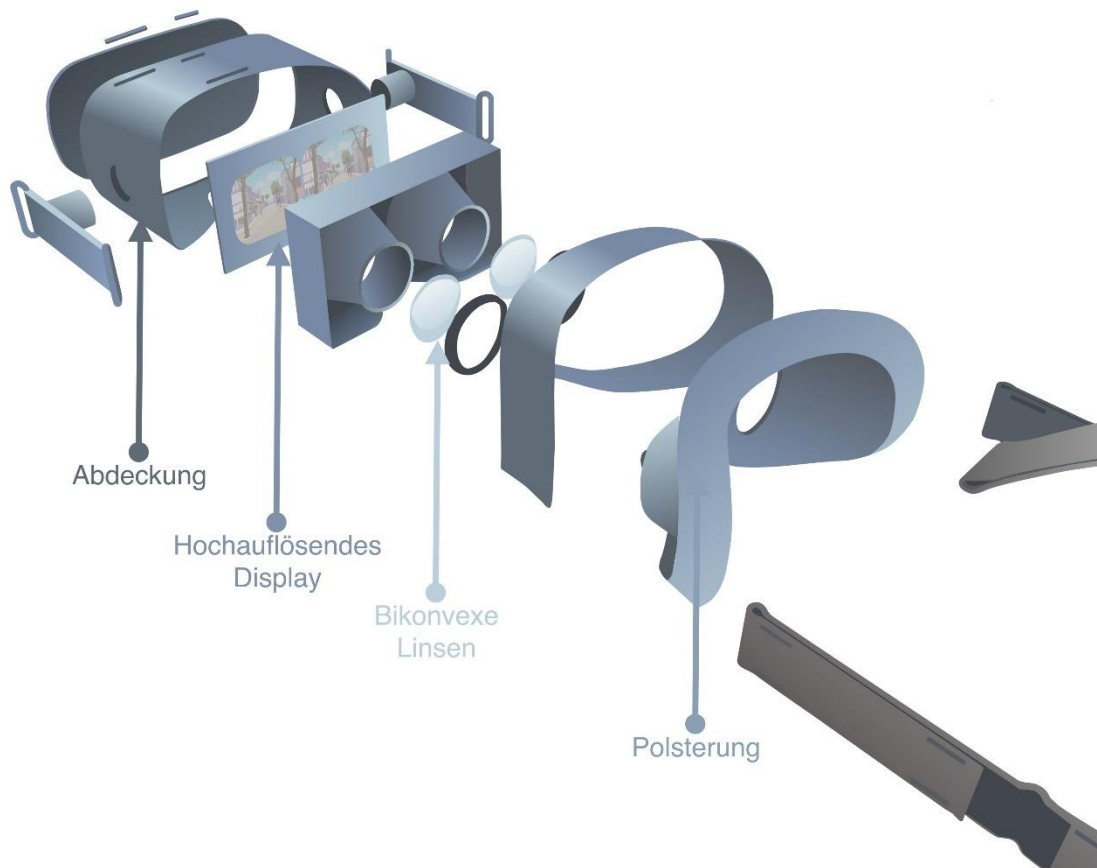


Abbildung 5: Explosionsdarstellung eines HMDs angelehnt an die VR-Brille Oculus Go (eigene Darstellung)

Tabelle 1: Vergleich unterschiedlicher VR-Systeme mit Direktsicht-HMD (Daten von den Hersteller-Homepages übernommen, Zugriff: 21.01.2021)

	PC-gestützte VR			Mobiltelefon-gestützte VR			Spielekonsolen-gestützte VR	Standalone VR	
System-Name	Oculus Rift S	HTC Vive	HTC Vive Pro	Samsung Gear VR	Google Daydream	Google Cardboard	Playstation VR	Oculus Go	Oculus Quest
<b>Kosten</b> Preise vom Hersteller Stand Januar 2021	480 €	500 €	879 €	50 €	40 €	10 €	399 €	200 €	450 €
<b>Zusätzliche Hardware und deren Kosten</b>	High-end-PC-System mit VR-fähiger Grafikkarte > 1300 €			High-end Samsung Android Handy > 600€	High-End Android Handy > 500 €	Android oder IOS Handy > 299 €	Playstation Konsole ca. 399 €	keine	
<b>Display-Auflösung</b> (pro Auge)	1280x1440	1080x1200	2448x2448	1280x1440	abhängig vom Mobiltelefon, Minimum: 1920x1080	abhängig vom Mobiltelefon, Minimum: 1024x768	960x1080	1280x1440	
<b>Bildwiederholfrequenz</b>	90 Hz	90 Hz	90 Hz	60 Hz	90 Hz	60 Hz	120 Hz	60-72 Hz	72 Hz
<b>FOV</b>	110°	110°	110°	101°	96°	70°	100°	101°	
<b>Positions-Tracking</b>	Inside-out	Outside-in	Outside-in	nicht vorhanden			Outside-in	nicht vorhanden	

## See-through-HMDs

Die meisten AR-Systeme und nahezu alle MxR-Systeme arbeiten mit optischen See-through-HMDs. Das bekannteste optische See-through-HMD dürften derzeit Microsofts *HoloLens* darstellen, welche aktuell in der zweiten Generation erhältlich ist, und *Magic Leap One* von Magic Leap Incorporated. Bei dieser Art von HMDs wird die physische Realität mit virtuellen Objekten überlagert. Der Anwender bekommt auf eine durchsichtige Scheibe vor seine Augen die virtuellen Objekte projiziert. Je nach technischer Ausstattung kann ein See-Through-HMD auch über ein Kamerasystem verfügen, welches den Raum um den Nutzer dreidimensional vermessen und die virtuellen Objekte entsprechend auf die Realität skaliert. Dies ist vor allem bei MxR-Systemen wichtig. Bei Systemen wie der Microsoft HoloLens ist es sogar möglich, mit den virtuellen Objekten über Gesten zu interagieren, sie zu drehen, zu vergrößern, auszuschneiden usw. Ein reines AR-System ist beispielsweise die Google-Glass. Hier werden ausschließlich Zusatzinformationen eingeblendet. Diese stellen sich aber nicht auf die Umgebung ein, sind nicht auf sie skaliert und können auch nicht virtuell verändert werden.

## Video-see-through-HMD

Video-see-through-HMDs verwenden im Gegensatz zu optischen See-through-HMDs keine durchsichtige Projektionsfläche vor den Augen des Anwenders. Sie sind verschlossen wie Direktsicht-HMDs. Über an der Außenseite verbaute Kameras wird die Umgebung abgefilmt und auf die Bildschirme vor den Augen des Anwenders übertragen. In diese gefilmte Umgebung können dann virtuelle Objekte eingesetzt werden. Je nach Ausstattung des Systems kann eine Interaktion mit den dargestellten Inhalten oder eine Manipulation der virtuellen Objekte möglich sein.

### 2.2.3 Field of view: Das Sichtfeld in die virtuelle Realität

Das *Field of view* (FOV) spielt nicht nur in virtuellen Realitäten, die über ein HMD dargestellt werden, eine entscheidende Rolle. Auch auf einem Bildschirm gezeigte Inhalte können abhängig vom FOV unterschiedliche Auswirkungen auf die Anwender haben. Vor allem in Bezug auf Immersion, Präsenz (vgl. 2.3.4) und *Simulator Sickness* (vgl. 2.3.2) spielt die technische Beschaffenheit der HMDs eine große Rolle.

Menschen haben in der Regel ein Gesichtsfeld von etwa 210 Grad bis 220 Grad Ausdehnung horizontal und 130 Grad bis 140 Grad vertikal, je nach Art der Berechnung und Messung (Mathur, Gehrman, & Atchison, 2013). Umso näher sich das FOV des HMDs dem menschlichen Gesichtsfeld annähert, umso höher ist meist das Präsenzgefühl (Slater, 2018). Abbildungen 6 und 7 zeigen das menschliche Gesichtsfeld in Anlehnung an die Werte von Birbaumer und Schmidt (2010). Vergleicht man das menschliche Gesichtsfeld mit den Werten der aktuellen HMDs wird schnell deutlich, dass kein kommerziell

erhältliches HMD bisher ein 210-Grad-FOV darstellen kann. Die meisten Geräte arbeiten mit einem FOV zwischen 100 Grad bis 110 Grad. Einzige Ausnahme bildet das *StarVR One* der Firma StarVT. Dieses verfügt zwar über ein 210-Grad-Sichtfeld, ist allerdings noch nicht erhältlich (Stand März 2021).

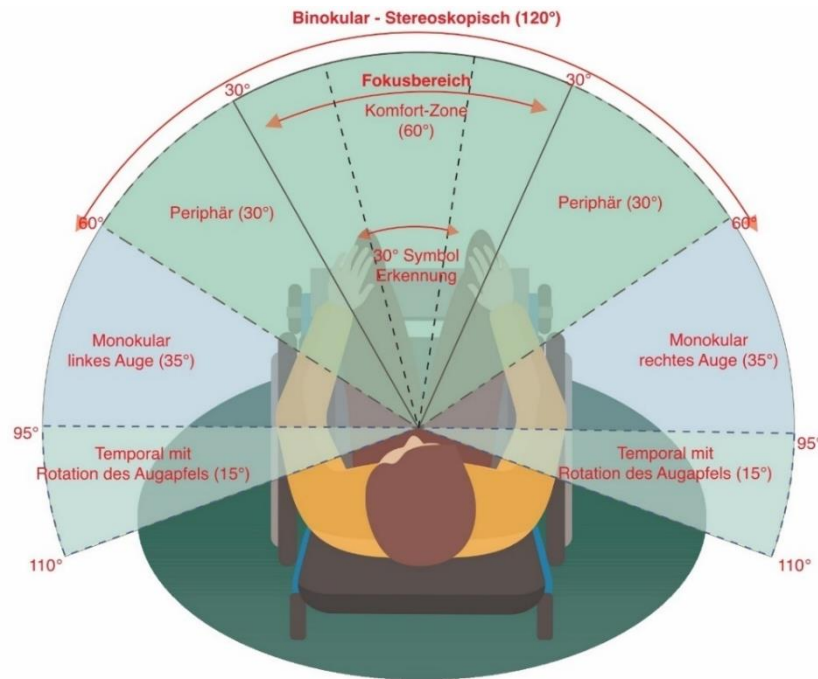


Abbildung 6: Menschliches Gesichtsfeld horizontal (eigene Darstellung)

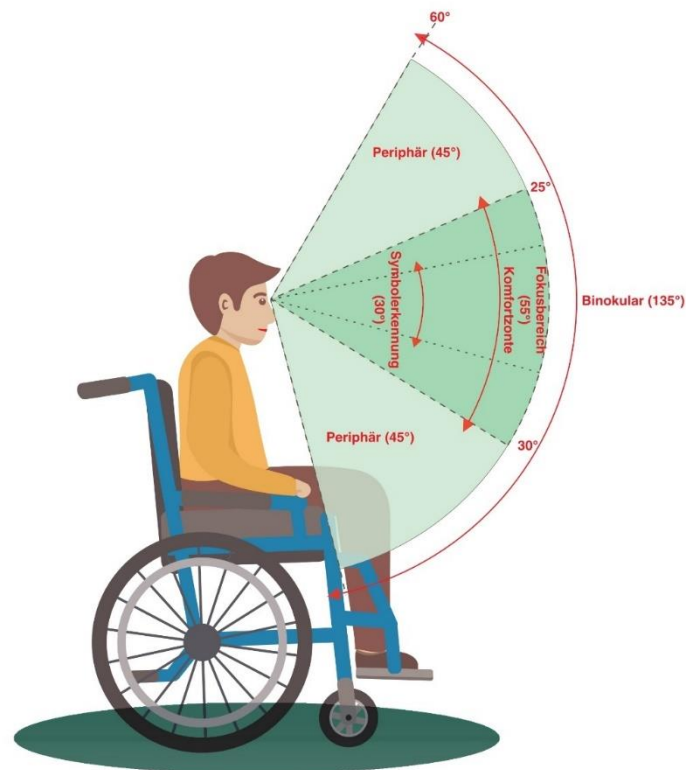


Abbildung 7: Menschliches Gesichtsfeld vertikal (eigene Darstellung)

Auch weitere Aspekte der technischen Beschaffenheit bei den verwendeten Displays müssen vor dem Einsatz im klinischen Setting bedacht werden. Ein wichtiger Punkt ist dabei die Dicke und Beschaffenheit der verwendeten Linsen (vgl. Abbildung 5). In den meisten Systemen werden eher dicke Linsen verwendet, um eine starke Kissenverzerrung zu erzeugen (Martschinke, Martschinke, Stamminger, & Bauer, 2019). Die Linsen sind so geschliffen, dass die Bilder in Form eines Kissens nach außen verzerrt werden. Dies geschieht, um ein möglichst großes FOV zu erreichen. Um der optischen Verzerrung entgegenzuwirken, muss die verwendete Software das Bild, bevor es in das Display eingespeist wird, mit einer künstlichen Fassverzerrung in die entgegengesetzte Richtung korrigieren. Will man eine möglichst hohe Qualität der Auflösung und der Bilddarstellung sowie ein großes FOV, setzt man auf schwere und große Linsen (Lorenz, Kaiser, Assmann, Engstler, & Zöllner, 2010). Dies verringert jedoch meist den Tragekomfort des HMDs. Die HMDs werden sehr schwer und können nicht lange getragen werden. Entsprechend muss je nach Anwendungsgebiet ein sinniger Kompromiss gefunden werden.

#### 2.2.4 Erfassen des Verhaltens des Anwenders

Zur Erfassung des Anwenders durch das HMD-System gibt es zahlreiche Methoden. Zu den wichtigsten zählen: Eye-Tracking, Body-Tracking und Hand-Tracking sowie Mikrofone zum Registrieren der Stimme. Erste Studien arbeiten an Systemen zur Emotionserkennung, beispielsweise mithilfe der Messung des Pupillendurchmessers (John, 2019).

Einfache Systeme, die mit Mobiltelefonen arbeiten, erfassen meist nur die Kopfbewegungen und zum Teil die Spracheingaben des Benutzers. Manchmal kann zusätzlich ein mittels Bluetooth gekoppelter Controller zur Steuerung der dargestellten Software genutzt werden. Manche Apps arbeiten mit *gazed based interactions*. Dabei wird durch längeres Ansehen eines virtuellen Interaktionspunkts dieser nach einem vorgegebenen Zeitintervall aktiviert. Blickt der Anwender beispielsweise für mehr als drei Sekunden auf einen Menüpunkt, wird dieser aufgerufen.

Alleinstehende Systeme können aber auch mittels mehrerer Kameras, die an der Außenseite des HMDs angebracht sind, die Umgebung des Nutzers erfassen. Diese Art der Umgebungs- und Nutzererfassung nennt sich *Inside-out-tracking* (vgl. Abbildung 8) (Grimm, Herold, Hummel, & Broll, 2013). So können beispielsweise virtuelle Wände in die künstliche Welt eingeblendet werden, um Kollisionen in der realen Welt zu vermeiden. Sie erfassen zum Teil auch die Hände des Benutzers und können diese dann digital in die Software einbinden. Die digitalisierten Hände können so in die Bedienung integriert werden. Durch die angebrachten Kameras wird auch die Lage des Körpers im Raum erfasst. Entsprechend passt die Software das angezeigte Bild an.

PC-gestützte Systeme, welche in der Regel via Kabel mit einem PC oder Notebook verbunden sind, arbeiten meist zusätzlich mit externen Raumsensoren. Diese Art der Erfassung von Anwender und Raum wird als *Outside-in-tracking* bezeichnet (Grimm, Herold, Hummel, & Broll, 2013). Dabei werden der Nutzer und der Raum abgescannt und entsprechend in das System integriert. Dies ist die genaueste Art der Erfassung des Anwenders, macht das System jedoch sehr immobil. Abbildung 8 verdeutlicht den Unterschied zwischen den beiden Methoden der Anwender- und Umgebungserfassung. Studie 1 und 2 dieser Arbeit arbeiten mit einem Outside-in-System.

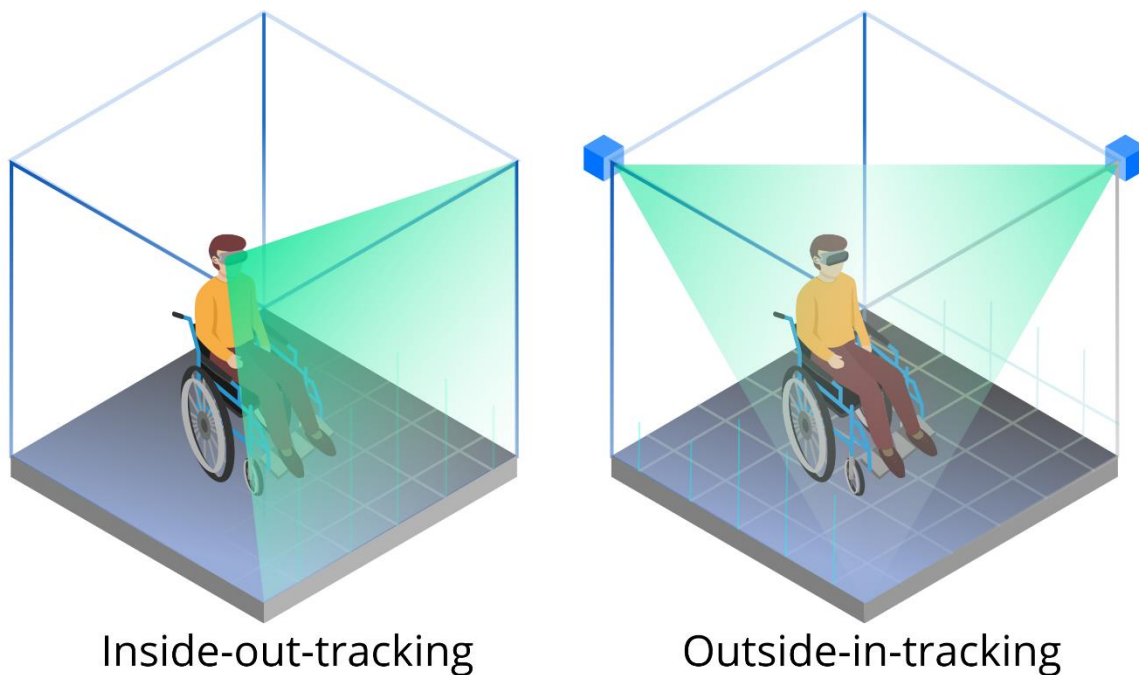


Abbildung 8: *Inside-out-tracking vs. Outside-in-tracking (eigene Darstellung)*

### 2.2.5 Die Erstellung von Inhalten und Anwendung für HMDs

Anwendungen und mediale Inhalte für HMDs werden in der Regel entweder mittels spezieller Software oder mittels entsprechender Kamerasysteme erstellt. Je nach Anwendungsgebiet und Realisierbarkeit wird auf die jeweilige Methode zurückgegriffen. Die Kamerasysteme haben dabei den Vorteil, dass sie die Umgebung realistisch darstellen können. Die Softwaresysteme ermöglichen es, präzisere und interaktivere Szenarien zu erstellen.

#### Sphärische 180-Grad- oder 360-Grad-Kameras

Mittels einer vollsphärischen 360-Grad-Kamera kann die reale physische Umgebung abfotografiert oder abgefilmt werden. Das daraus entstandene immersive 360-Grad-Bild (Kugelpanorama) oder 360-Grad-Video kann mittels spezieller Software entsprechend gerendert werden, um auf einem HMD darstellbar zu sein (vgl. Studie 2). Die Kameras besitzen meist zwei Linsen. Die Linsen sind einander



gegenüberliegend verbaut und können jeweils einen Winkel von >180 Grad erfassen. Sie werden meist als Fisheye-Linsen bezeichnet. Es gibt aber auch Systeme, die mit einer oder mehr als zwei Linsen arbeiten. Die 360-Grad-Kamera Panono der Professional360 GmbH besitzt beispielsweise 36 Einzellinsen und verarbeitet die jeweiligen Einzelbilder zu einem hochauflösenden 360-Grad-Bild (vgl. Abbildung 9).



Abbildung 9: Panono 360-Grad-Kamera. Quelle: <https://www.panono.com/fileadmin/templates/images/ball2.png>; Zugriff: 12.10.20

Für spezielle Umgebungsbedingungen werden individuelle Kamera-Rigs verwendet. Dabei werden meist kleine Action-Kameras zusammengeschaltet und gleichzeitig aktiviert (vgl. Abbildung 10). Die entstandenen Einzelbilder oder Videos werden dann mittels Software am PC verrechnet und angepasst.



Abbildung 10: Prototyp Kamera-Rig für GoPros. Quelle: Eigene Darstellung

180-Grad-Kameras haben gegenüber den 360-Grad-Kameras den Nachteil, nur die Hälfte der Umgebung erfassen zu können. Allerdings liegt der Vorteil bei diesen Systemen darin, dass sie in der Regel dreidimensionale Bilder aufzeichnen können. So sind meist zwei Fisheye-Linsen nebeneinander angeordnet, wie zwei menschliche Augen, und nehmen jeweils Bilder mit einem Winkel zwischen 180 Grad und 220 Grad auf. Die Schnittmenge der Einzelbilder wird im Anschluss zu einem dreidimensionalen 180-Grad-Einzelbild verrechnet.

Software zur Erstellung virtueller Inhalte für HMDs

Der größte Nachteil von Anwendungen, die mittels Kamerasystem erfasst worden sind, liegt darin, dass keine Bewegung durch den im Bild aufgezeichneten Raum möglich ist. Eine freie Bewegung durch den virtuellen Raum ist nur in durch spezielle Software gestalteten Umgebungen möglich.

Die am häufigsten verwendete Softwaregrundlage zur Erstellung von VR-Inhalten für HMDs sind Unity3d von Unity Technologies, die Unreal Engine von Epic Games und Amazon Lumberyard von Amazon Game Tech (Rizzo & Koenig, 2017). Dabei handelt es sich um Echtzeit-3D-Entwicklungsplattformen, die kostenlos für Entwickler, Forscher und interessierte Anwender zu Verfügung stehen. Nachteil der Erstellung von Inhalten durch Software ist die hohe Komplexität dieser Anwendungen, sowie der geringere (Foto-)Realismus der Darstellung. Je nach Anwendungsgebiet und Zielgruppe ist im Vorfeld abzuwägen, ob eine kamerabasierte virtuelle Umgebung oder eine softwareentwickelte Umgebung sinnvoller ist.

Im klinischen Einsatz könnte beispielsweise eine kamerabasierte Anwendung eine geringere Hemmschwelle zur ersten Benutzung des VR-Systems bedeuten, da die Inhalte etwa bekannte Umgebungen oder Räume sein können. Außerdem werden kaum Anforderungen an die Steuerung des Systems gestellt, da eine Bewegung durch den Raum nicht möglich ist und nur von einem Punkt im Raum aus dieser exploriert werden kann. Dies kann beispielsweise bei älteren oder wenig PC-erfahrenen Patienten einen Vorteil darstellen. Durch Software erstellte virtuelle Welten dagegen ermöglichen einen höheren Grad an Immersion und Präsenz und haben viele Freiheitsgrade.

## 2.3 Biopsychologische Gesichtspunkte und *human factors* beim Einsatz von HMDs an neurologischen Patienten

Beim Einsatz von HMDs bei neurologischen Patienten ist es wichtig, einen Schwerpunkt der vorhergehenden Überlegungen auf die Bereiche Biologische Psychologie und *human factors* zu legen. Die Schnittstelle Mensch-Maschine ist bei HMD-Anwendungen sehr eng, da die menschliche Wahrnehmung, vor allem deren visuelle und auditive Anteile, nahezu vollständig in die von der Maschine vorgegebene Realität integriert wird. Die entsprechenden Anwendungen sollten dabei möglichst intuitiv gestaltet werden, da die Eingabegeräte meist nicht mehr real sichtbar sind. Dies gilt insbesondere für Direktsicht-HMDs, da bei diesen die Umwelt in der Regel nicht mehr zu sehen ist (vgl. Abbildung 11).

Gleichzeitig ist es in der klinischen Umgebung nicht immer möglich, die entsprechenden VR-, AR- oder MxR-Systeme problemlos einzusetzen. Gründe dafür können unter anderem die schwere Desinfizierbarkeit, die Immobilität der Geräte oder der Patienten, die Ausprägung der neurologischen Erkrankung, die fehlende oder sicherheitstechnisch eingeschränkte WLAN-Verbindung und damit verbundene Datenschutzprobleme, starke körperliche Beeinträchtigungen, nässende oder druckempfindliche Wunden am Kopf sowie kognitive Einschränkungen sein. Auch die Phase der Rehabilitation, in der sich der Patient befindet, stellt unterschiedliche Anforderungen an die Planung und Durchführung.



Abbildung 11: Patientin mit HMD im Krankbett. Quelle: [http://www.vamed-gesundheit.de/fileadmin/\\_processed\\_/c/3/csm\\_kip\\_VR-Brille\\_web\\_1e709bae59.jpg](http://www.vamed-gesundheit.de/fileadmin/_processed_/c/3/csm_kip_VR-Brille_web_1e709bae59.jpg); Zugriff: 12.10.20

Auf Abbildung 11 ist das in Studien 1 und 2 eingesetzte HMD HTC Vive zu sehen. Der Patientin wird das Programm The Lab präsentiert. Ihre Aufgabe ist es, einen virtuellen Hund ein Stöckchen apportieren zu lassen.

### 2.3.1 Usability von HMDs im stationären und ambulanten Setting der neurologischen Rehabilitation

Neurologische Rehabilitationskliniken behandeln meist Patienten, die sich in unterschiedlichen Phasen ihrer Genesung befinden und entsprechend unterschiedlich körperlich und kognitiv belastbar sind. Ein möglicher Vorteil gegenüber dem Training am klassischen PC-Setup mit Bildschirm, Maus, Tastatur und evtl. an den Patienten angepasster Eingabegeräte könnte sein, dass VR- und AR-Technik deutlich einfacher bereits in den frühen Phasen der Rehabilitation A und B eingesetzt werden kann. Vor allem der Einsatz von mobilen Geräten, die unabhängig von einem PC funktionieren, sind vorstellbar. Der Patient muss nur in der Lage sein, den Kopf zu bewegen, um von dem HMD profitieren zu können. Um einen möglichen Einsatz in der neurologischen Rehabilitation zu verdeutlichen, folgen zwei fiktive Fallbeispiele. Dabei ist zu beachten, dass die Beispiele in dieser Art der Durchführung noch keinerlei wissenschaftliche Begründung haben. Vielmehr sollen sie anregen, neue Ideen zur Forschung zu generieren. In den in dieser Arbeit angeführten Studien zeigen sich aber erste Belege dafür, dass diese Art der therapeutischen Intervention für die Patienten gewinnbringend sein kann.

#### **Fallbeispiel 1:**

*Der Aufenthalt und die Erfahrungen auf einer Intermediate Care (IMC) in einer neurologischen Rehabilitationsklinik kann den weiteren Verlauf der Genesung und die Motivation eines Patienten entscheidend beeinflussen.*

*So wie bei dem 68-jährigen Patienten Herrn J., der aufgrund eines Schädel-Hirn-Traumas (SHT) und anderen körperlichen Verletzungen nach einem Autounfall zunächst intensivmedizinisch betreut wird. Aufgrund seiner schweren und multiplen Verletzungen muss er zunächst mehrere Wochen auf der IMC verbringen. Ähnlich betroffene Menschen sind häufig neben ihren körperlichen Beschwerden zusätzlich psychisch belastet. So fühlt sich Herr J. sehr einsam und vermisst seine Frau, die häusliche Umgebung und seinen Hund. Kognitiv ist er zusätzlich im Bereich der Aufmerksamkeit, der mittelfristigen Merkfähigkeit und des Arbeitsgedächtnisses eingeschränkt. Situativ ist er zwar die meiste Zeit orientiert, kann aber nicht immer die Motivation aufbringen, sich auf das therapeutische Angebot einzulassen. Die Intensivmedizinische Behandlung schränkt das Wahrnehmen und Erleben von Herrn J. auf das Patientenzimmer und gegebenenfalls auf die Untersuchungsräume ein. Die Besuchszeiten sind streng reglementiert und das Personal ist zeitlich stark beansprucht. Die meiste Zeit des Tages verbringt Herr J. mit sich*

allein. Auch der Kontakt zu anderen Patienten ist aufgrund der unterschiedlichen Erkrankungen der Mitpatienten kaum möglich. Ein PC oder Notebook für neuropsychologisches Training kann nur sehr umständlich oder gar nicht zum Patientenbett gebracht werden. Ebenso ist aufgrund von Hygienevorgaben der Einsatz kaum möglich, da die Reinigung des Notebooks dieses beschädigen könnte. Die Bedienung von PC oder Notebook ist auch wegen der Erkrankung nur sehr eingeschränkt möglich. So schränkt eine Hemiplegie auf der dominanten rechten Seite von Herrn J. das Bedienen der Maus und der Tastatur stark ein. Außerdem steht er PC-gestützten Verfahren eher skeptisch gegenüber und signalisiert nur wenig Bereitschaft, sich auf den Umgang mit entsprechenden Geräten einzulassen, da er in seinem bisherigen Leben auch keinen Computer benötigt habe.

Die Neuropsychologin der Station versucht die VR-Technik auf verschiedene Arten einzusetzen.

Zum einen arbeitet sie am generellen psychischen Wohlbefinden des Patienten. So wird der Ehefrau von Herrn J. eine VR-360-Grad-Kamera (vgl. 2.2.5) bereitgestellt. Diese Kamera ist genauso einfach zu bedienen wie eine normale Fotokamera. Frau C. stellt die Kamera zuhause im Wohnzimmer auf den Lieblingssessel von Herrn J. Sie legt für den Hund etwas zu Fressen auf den Boden vor dem Sessel und betätigt den Auslöser zum Filmen. Die Kamera zeichnet einige Minuten auf, während der Hund zum Sessel geht, sich an dem Fressnapf bedient und die Kamera neugierig untersucht. Die Frau bringt die Kamera am nächsten Tag wieder in die Klinik mit. Die Aufnahme wird auf eine Standalone-VR-Brille, wie beispielsweise die Oculus GO, übertragen (vgl. 2.2.2). Mithilfe der Brille kann für Herrn J. ein deutlich höheres Gefühl von Präsenz und eine höhere Immersion erzeugt werden als dies mit einem einfachen Foto von zu Hause möglich wäre. Er kann die Brille täglich aufsetzen und hat dabei das Gefühl sich für eine kurze Zeit zu Hause in seinem Wohnzimmer auf seinem Lieblingssessel zu befinden, seinen Hund zu sehen und sich eine kleine Auszeit von der Klinik zu nehmen. Nach einiger Zeit kann er sich auch auf geführte Entspannungstherapien einlassen, bei denen er virtuell im Wald, in den Alpen vor einem Gebirgssee oder an einem Karibikstrand sitzt. Die Ablehnung, wie sie beim Benutzen eines Computers der Fall war, ist nicht erkennbar, da von der Hardware nichts mehr zu sehen ist, sobald er die Brille aufgesetzt hat.

Als für Herrn J. die Verlegung auf die normale Station ansteht und er sich zum Ziel gesetzt hat, die Klinik und den Park im Rollstuhl erkunden zu wollen, wird er mithilfe der VR-Brille darauf vorbereitet. Er bewegt sich virtuell durch die Klinik mithilfe der VR-Brille, noch bevor er überhaupt für längere Zeit im Rollstuhl sitzen kann. Durch die natürliche Kopfbewegung stellt sich ihm die Umgebung der Klinik genauso dar, wie er sie auch im realen Leben sehen würde. Zusammen mit einem Neuropsychologen erkundet er so virtuell die Klinik und erledigt dabei Aufgaben, wie etwa den Weg zum Kiosk und zurück auf die Station zu finden. Im Gegensatz zu einem virtuellen Rundgang am PC reicht es aus, den Kopf nach rechts zu drehen und das Bild ändert sich entsprechend ganz so wie in der Realität. Gleichzeitig

*trainiert Herr J. damit sein Gedächtnis und findet sich, nachdem er die Intensivstation verlassen hat, problemlos in der Klinik zurecht.*

*Nachdem Herr J. die Klinik einige Wochen später verlassen hat, trainiert er zu Hause mit seiner VR-Brille weiter und macht einige Mal pro Woche eine geführte, virtuelle Meditation am Stamm eines großen Mammutbaumes im Sequoia-Nationalpark in der Sierra Nevada, oder trainiert sein Gedächtnis und seine Aufmerksamkeit mithilfe verschiedener Apps.*

### **Fallbeispiel 2:**

*Frau T. ist nach einem Infarkt im Mediabereich rechts in einer neurologischen Rehaklinik in Phase B (Frührehabilitation) zur Behandlung. Neuropsychologisch steht vor allem die Behandlung eines starken multimodalen Hemineglects nach links im Mittelpunkt der Therapie. Aktuell hat Frau T. jedoch noch keinerlei awareness für ihre Erkrankung und kann aufgrund starker Aufmerksamkeitseinschränkungen noch keine Therapie am PC durchführen. Es wurde versucht, mithilfe optokinetischer Stimulation am Bildschirm zu arbeiten, doch sobald die Therapeutin sie nicht permanent an die Aufgabe erinnert, schweift Frau T. mit der Aufmerksamkeit ab und blickt rechts am Bildschirm vorbei ins Leere. Ebenso hat sie Schwierigkeiten, beim Essen am Tisch den Teller zu finden, oder isst nur die rechte Hälfte ihres Tellers leer. Gegenstände, die sich zu weit links auf dem Tisch vor ihr befinden, kann sie nicht finden oder benutzen.*

*Zur neuropsychologischen Behandlung wird auf eine wenige Gramm leichte AR-Brille (vgl. 2.2.2), eine optokinetische Stimulation aufgespielt. Die Brille wird der Patientin mehrmals täglich während des Essens am Tisch und beim ergotherapeutischen Training aufgesetzt. Die optokinetische Stimulation ist dadurch für die Patientin immer im Blickfeld und augmentiert dieses mit Pfeilen, die sich von rechts nach links bewegen. Durch das häufige Training und die Stimulation gelingt es ihr, ohne dass sie die Aufmerksamkeit bewusst darauf lenken muss, ihren Explorationsraum zu vergrößern.*

*Im Laufe der Rehabilitation erhöht sich die awareness für den Neglect. Da Frau T. ein großes Interesse an Pferden hat, wird ihr ein VR-Programm bereitgestellt, bei dem ein Pferd im Kreis um sie herumläuft. Ihre Aufgabe besteht dann darin, dass Pferd von rechts nach links zu verfolgen. Anfänglich wird sie dabei noch durch optokinetische Stimulation unterstützt. Diese kann im Laufe des Trainings ausgeschaltet werden.*

*Frau T. beschreibt sich als technisch nicht sehr interessiert. Sie hat jedoch ein Smartphone und kann darauf Apps installieren. Zu Hause nach dem Reha-Aufenthalt übt sie weiter, indem sie ihr Smartphone in eine VR-Hülle (vgl. 2.2.2) einspannt und mit einigen zuvor installierten Apps, zur Verbesserung des Neglects trainiert.*

### 2.3.2 Simulator sickness und Motion sickness

Einer der am häufigsten genannten Nachteile von HMDs ist die *simulator sickness* (SiS) (Patterson, Winterbottom, & Pierce, 2006). Die Intensität und Auftrittswahrscheinlichkeit ist dabei nicht bei allen Anwendungen mit HMDs gleich und auch bei Patienten sehr unterschiedlich in der Intensität und Ausprägung. Bei SiS handelt es sich um eine Art der Reisekrankheit oder Kinetose (engl. *motion sickness*). Diese tritt auch außerhalb von virtuellen Umgebungen auf, beispielsweise bei Bewegungen an Land, in der Luft oder auf See. Der Begriff *motion sickness* (MS) taucht in der Literatur zum ersten Mal bei Irwin (1881) auf. Dort beschreibt er die Genese von Seekrankheit und vermutet bereits, dass sie in Zusammenhang mit der Bewegung des Schiffes steht. Er erweitert daher den Begriff *sea sickness* auf *motion sickness*. Bei Havron und Butler (1957) taucht bei einer Hubschrauberstudie für das US-Militär zum ersten Mal der Begriff SiS auf. Symptome der MS und der SiS sind Übelkeit, Schwindel, Unwohlsein, Ermüdung, Verwirrung und Orientierungslosigkeit (Kennedy, Allgood, & Lilienthal, 1989), Würgen und Erbrechen, erhöhter Speichelfluss, kalter Schweiß, Hitzewallungen, Blässe und Benommenheit (Lawson, 2014). Daneben führt SiS oft zu weniger Akzeptanz der Nutzer (Domeyer, Cassavaugh, & Backs, 2013). MS, durch die Darstellung von Bildern und ohne reale, physische Bewegung hervorgerufen, wird in der Literatur häufig auch als *visually induced motion sickness* (VIMS) bezeichnet. Dieses Phänomen ist beispielsweise bei Filmen wie „Blair Witch Project“ oder „Avatar“ zu beobachten, welche aus der Ich-Perspektive mittels einer Handkamera gefilmt wurden oder dies als stilistisches Mittel einsetzen. Das Kamerabild ruckelt und wird schnell geschwenkt. So entwickelten 36 von 294 Schüler einer japanischen Highschool nach dem Ansehen eines entsprechend gedrehten Films so starke Symptome, dass sie ins Krankenhaus zur Untersuchung mussten (Ujike, Ukai, & Nihei, 2008). Die Begriffe MS und SiS werden im Folgenden in Abhängigkeit von den in den angeführten Studien benutzten Begriffen verwendet.

Duh, Lin, Kenyon, Parker und Furness (2001) untersuchten, inwiefern sich das FOV auf das Gleichgewicht in einer immersiven Umwelt auswirkt. Sie konnten zeigen, dass breitere FOVs eine höhere Immersion und gleichzeitig eine stärkere Wahrnehmung der Eigenbewegung produzierten. Ein engeres FOV führt meist auch zu einem geringeren Gefühl von Präsenz (Cummings & Bailenson, 2016; Prothero, 1995; Witmer & Singer, 1998; Youngblut, 2007). Ebenso scheint das FOV eine wichtige Rolle bei der SiS zu spielen. Auf älteren Systemen erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen von Unwohlsein mit zunehmenden FOV (Crampton, 1990). Es ist allerdings noch nicht abschließend geklärt, ob sich diese Untersuchungen mit VR an Bildschirmen auch auf HMDs übertragen lassen. Es gibt Hinweise darauf, dass sich mit zunehmenden FOV bei HMDs auch die empfundene SiS erhöht (Draper, Viire, Furness, & Gawron, 2001; Fernandes & Feiner, 2016; Lin, Duh, Parker, Abi-Rached, & Furness, 2002). Sicher ist, dass die Auswirkungen des FOVs auf SiS keine einfach zu messenden Variablen sind. Es spielen

unter anderem Faktoren wie Abdeckung der Augen nach außen eine Rolle, damit der reale Raum nicht mehr im peripheren Blickfeld wahrgenommen wird. Ohne diese peripheren Störreize verringert sich die SiS (Keshavarz, Novak, Hettinger, Stoffregen, & Campos, 2017). Auch kann über eine dynamische Regulation des FOVs (Fernandes & Feiner, 2016) oder mittels peripheren Einblendungen die SiS von größeren FOVs reduziert werden (Buhler, Misztal, & Schild, 2018).

Für die Ursachen von MS und SiS in der VR im Allgemeinen, also unabhängig von der Präsentationsform, ist noch keine endgültige Erklärung gefunden (Muth, Keshavarz, Smart, So, & Beadle, 2018). Frühere Untersuchungen gingen unter anderem davon aus, dass SiS aufgrund der schlechten Simulation der Realität entsteht (Pausch, Crea, & Conway, 1992). Diese Annahme ist aber schon allein aufgrund der immer besser werdenden Simulationen nicht mehr haltbar. Stanney, Kingdon und Kennedy (2002) präsentierten den Teilnehmern ihrer Studie ein Labyrinth via HMD, in dem sie verschiedene Aufgaben erfüllen mussten. Sie untersuchten 1000 Probanden und kamen zu dem Schluss, dass die über HMDs präsentierte VR zu diesem Zeitpunkt noch nicht für ein breites Spektrum von Anwendern nutzbar sei. Sie berichten einen Teilnehmer-Drop-out von fast 50% nach einer Stunde Anwendung und beschreiben bei 88% der Teilnehmer Symptome von SiS. Erhoben mittels *Simulator Sickness Questionnaire* (SiSQ) berichteten die Teilnehmer von ihren Symptomen. Diese waren vor allem okulomotorische Störungen, Desorientierung und Übelkeit. Ebenso konnte die Autoren zeigen, dass umso länger die VR-Exposition dauerte, umso mehr Teilnehmer den Versuch abbrachen. Seitdem diese Studie publiziert wurde, hat sich die VR-Technik allerdings deutlich verbessert. Dennoch berichten auch jetzt noch einige HMD-Benutzer von aversiven Symptomen. Bei einem Vergleich der Marktführer Oculus Rift CV1 und HTC Vive (vgl. Studie 1 und 2) mit einem herkömmlichen Computerbildschirm konnten zwar keine Unterschiede in der Ausprägung der SiS zwischen den beiden Modellen gefunden werden. Es zeigten sich jedoch signifikant erhöhte Werte in der HMD-Bedingung beim Vergleich mit einem Computerbildschirm (Yildirim, 2019). Ebenso scheint das Geschlecht eine Rolle zu spielen. So zeigen Frauen in der Regel häufiger Symptome als Männer (Flanagan, May, & Dobie, 2005; Garcia, Baldwin, & Dworsky, 2010; Munafo, Diedrick, & Stoffregen, 2017; Park, Allen, Fiorentino, Rosenthal, & Cook, 2006).

### 2.3.2.1 Die sensorische Konflikttheorie (*Sensory conflict theory*)

Die wohl am weitesten verbreitete und akzeptierte Theorie zur Erklärung SiS ist die *Sensory conflict theory* von Reason und Brand (1975). Diese sieht die Ursache von SiS im Vorhandensein von visuellen, vestibulären und sensomotorischen Diskrepanzen. Die Theorie nimmt an, dass sich eine Person über die sensorischen Signale aus dem vestibulären System, dem visuellem System und dem propriozeptiven System im Raum orientiert. Im vestibulären System werden durch die Makulaorgane die linearen Beschleunigungskräfte erfasst und durch die Bogengänge Rotationskräfte gemessen. Das visuelle



System setzt den Körper in Bezug zur Umwelt, und das propriozeptive System nimmt die Körperbewegung und die Körperlage im Raum und die Position der Gliedmaße zueinander wahr. Stimmen die Informationen aus dem vestibulären System über die Lage, Bewegung und Beschleunigung des Kopfes im realen Raum, die Informationen aus dem visuellen System über die Lage des Körpers im Verhältnis zum virtuellen Raum und die Propriozeption der Gelenke und Gliedmaße nicht überein, kann MS entstehen. Ebenso hat sich gezeigt, dass Patienten, bei denen Schädigungen am vestibulären System aufgetreten sind, keine oder kaum Symptome von MS oder SiS zeigten (Cheung, Howard, & Money, 1991; Cheung, Howard, Nedzelski, & Landolt, 1989).

Diese Theorie unterstreicht auch die Erkenntnis, dass technische Defizite in den HMDs die SiS verschlimmern können. Vor allem die verzögerte Darstellung und Aktualisierung des Displays (*display update delay*) kann zu erheblichem Unwohlsein führen. Dabei kommt es zu einer Verzögerung zwischen der Kopfbewegung und dem dargestellten Inhalt auf dem Display, einem *display lag*. Bei dieser Latenz hat der Anwender den Eindruck, dass das im Display Dargestellte die Kopfbewegung einzuholen versucht, aber nicht hinterherkommt. Oft entsteht dabei ein verschwommener Eindruck oder kurzzeitige, sich wiederholende Doppelbilder. Einige Autoren gehen davon aus, dass bereits Latenzen von 67 Millisekunden (DiZio & James R. Lackner, 1997) zu SiS führen können. Es wird auch diskutiert, ob nicht die Latenz selbst, sondern die Varianz der Latenzen über die Zeit als Grund für SiS und Performance-Verlust zu sehen ist (Muth et al., 2018). Moss, Scisco und Muth (2008) nennen dabei drei mögliche visio-vestibuläre Konflikte, die bei einer Latenz im HMD auftreten können:

- (1) Zu Beginn der Kopfbewegung erkennt das vestibuläre System die Bewegung, das visuelle System sieht aber noch keine Bewegung auf dem Display.
- (2) Während der Kopfbewegung kommt die Darstellung der Bewegung nicht hinterher und es entsteht eine Art Stottern.
- (3) Am Ende der Bewegung erkennt das visuelle System noch Bewegung, während das vestibuläre System keine Bewegung mehr wahrnimmt.

Als Limitation der sensorischen Konflikttheorie kann die fehlende Vorhersagekraft über das Vorhandensein und die Ausprägung von SiS gesehen werden (Draper et al., 2001). So kann weder über die Intensität für eine Einzelperson noch über die Auftrittswahrscheinlichkeit in Gruppen eine Vorhersage abgeleitet werden. Ebenso erklärt die Theorie nicht, warum SiS innerhalb einer Person auch variieren kann. Keshavarz, Hecht und Lawson (2014) führen an, dass bis dato kein vollständig identifiziertes, neuronales Korrelat gefunden wurde, welches den sensorischen Konflikt vollständig erklären würde. Ebenso werden in der Theorie keine Verhaltens- und Umweltaspekte berücksichtigt.

### 2.3.2.2 Die Theorie der Haltungsinstabilität (*Postural instability theory*)

Eine weitere, häufig zitierte Theorie, die ein alternatives Erklärungsmodell zur Sensory conflict theory bietet, ist die Postural instability theory von Riccio und Stoffregen (1991). Während die Sensory conflict theory auf der Wahrnehmung und Sensorik aufbaut, stellt die Postural instability theory die Interaktion zwischen Wahrnehmung, Aktion und Umwelt in den Mittelpunkt zur Erklärung von MS. Sie geht davon aus, dass eine länger anhaltende Instabilität bei der Haltungskontrolle kausal für MS verantwortlich ist. Riccio und Stoffregen (1988) definieren Haltungskontrolle (*postural stability*) als einen Zustand, in dem unkontrollierte Bewegungen der Wahrnehmungs- und Handlungssysteme auf ein Minimum reduziert sind. Trotz einiger Studien, in denen Personen mit und ohne MS verglichen wurden, konnte die Theorie nicht konsistent nachgewiesen werden. Faugloire, Bonnet, Riley, Bardy und Stoffregen (2007) zeigten, dass bei der Gruppe mit MS eine geringere Haltungsstabilität nachweisbar war als in der Vergleichsgruppe. In einer Studie zu HMDs konnten Merhi, Faugloire, Flanagan und Stoffregen (2007) einen ähnlichen Effekt nachweisen. Die Teilnehmer sollten kommerzielle Videospiele via HMD spielen. Zwar zeigten sich sowohl bei sitzenden als auch bei stehenden Probanden SiS-Symptome, jedoch war in der stehenden Gruppe häufiger SiS zu verzeichnen. In der sitzenden Gruppe zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei SiS, in Abhängigkeit der Stärke der Kopfbewegungen. Bei Reed-Jones, Vallis, Reed-Jones und Trick (2008) zeigte sich dagegen eine negative Korrelation zwischen Haltungsstabilität und SiS. Auch bei Stoffregen, Faugloire, Yoshida, Flanagan, and Merhi (2008) war der Effekt nicht eindeutig nachweisbar.

Zudem stellt sich die Frage: Was trat zuerst auf, SiS oder Instabilität? Stoffregen, Hettinger, Haas, Roe und Smart (2000) zeigten, dass zuerst Instabilität als kausaler Faktor für SiS vorhanden ist. Studien, die sich ausschließlich mit dieser Frage beschäftigen, gibt es bis dato kaum, allerdings zeigen Ergebnisse von Studien, die eher die Sensory conflict theory vertreten, Instabilität eher als Nebenwirkung von SiS auf (Warwick-Evans, Symons, Fitch, & Burrows, 1998).

### 2.3.2.3 Die Gifttheorie (*Poision theory*)

Treisman (1977) argumentiert in der Gifttheorie von einem evolutionären Standpunkt aus. Mit diesem Ansatzpunkt kann erklärt werden, warum es überhaupt zu SiS kommt, während oben genannte Theorien eher den Prozess der Entwicklung von SiS bei der Darbietung eines entsprechenden Umgebungsreizes beschreiben. Bei einer Vergiftung versucht der Körper durch Würgen und Erbrechen die giftige Substanz wieder loszuwerden. Wenn über die Nahrung giftige Substanzen aufgenommen werden, stören diese die neuronale Verarbeitung von sensorischen Afferenzen. Dies wirkt sich negativ auf die Bewegungskontrolle aus. Insofern kann die Gifttheorie als Grundlage oder Erweiterung der sensorischen

Konflikttheorie gesehen werden. Der sensorische Konflikt bei einem eventuellen Schwindelgefühl in einer virtuellen Welt wird vom Körper ähnlich interpretiert, als wenn eine Vergiftung vorliegen würde. Durch Erbrechen wird dann das potenzielle Gift wieder beseitigt. Money und Cheung (1983) wiesen tierexperimentell nach, dass bei Hunden ohne Innenohr kein Erbrechen auf bestimmte Gifte erfolgte.

Ein Problem der Gifttheorie ist, dass Säuglinge und Kleinkinder am empfänglichsten für die Aufnahme von Giften über die Nahrung sein müssten, da sie alles in den Mund nehmen würden. Gleichzeitig aber leiden sie kaum an SiS (Bowins, 2010). Keshavarz et al. (2014) argumentieren dagegen, dass von einem evolutionären Standpunkt aus betrachtet Säuglinge bis circa zwei Jahre gestillt werden und in Jäger- und Sammlerkulturen auch kleinere Kinder häufig im Alltag getragen werden. Ebenso wird in allen Gesellschaften besonders darauf geachtet, dass Kinder nicht mit Giften in Berührung kommen. Des Weiteren seien vor allem kleine Kinder wählerisch bei dem, was sie essen und lehnen unbekannte Nahrung eher ab. Festzustellen bleibt, dass die Gifttheorie maximal als Ergänzung dienen kann und kein befriedigendes Erklärungsmodell für SiS darstellt.

#### *2.3.2.4 Mögliche Maßnahmen gegen Simulator sickness*

Gerade im klinischen Einsatz ist es wichtig, im Vorfeld so viele Maßnahmen wie möglich gegen eventuelle SiS zu ergreifen. Unwohlsein, Übelkeit, Schwindel und andere Symptome wirken sich störend auf die Therapie, die Motivation und den Behandlungserfolg aus. So konnten Calogiuri et al. (2018) eine mittlere bis starke Korrelation zwischen SiS und der affektiven Reaktion der Teilnehmer auf die via HMD präsentierten Inhalte zeigen. Da es zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit noch keine Leitlinie oder umfassende Reviews für den Einsatz von HMDs im klinischen Bereich gibt, können an dieser Stelle nur theoretische Vorüberlegungen getroffen werden. Der Hersteller Oculus hat einen „VR Best Practices Guide“ (Yao et al., 2014) veröffentlicht, der sich vor allem an Spieleentwickler wendet und sehr detailliert Empfehlungen für die Softwareentwicklung liefert. Eine umfassende und übergreifende Leitlinie für den klinischen oder den neuropsychologischen Einsatz ist daraus jedoch nur bedingt ableitbar, da je nach Einsatzgebiet, Patientengruppe und Krankheitsbild ein anderer Schwerpunkt in Betracht gezogen werden muss. Für erste Pilotstudien mit neurologischen Patienten kann es deshalb sinnvoll sein, bisherige, bei gesunden Probanden erkannte wissenschaftliche Strategien zur Reduzierung von SiS anzuwenden und zu versuchen, diese so umfangreich wie möglich zu implementieren.

Eine der früher am häufigsten berichteten Ursachen für SiS war die Latenz der Geräte auf Kopfdrehbewegungen. Die daraus verzögerte Darstellung in den verbauten Displays führte zu SiS. Die Hersteller moderner HMDs berichten, dass dieses Problem inzwischen behoben sei (Porcino, Clua, Trevisan,

Vasconcelos, & Valente, 2017). Als Richtlinie lässt sich jedoch ableiten, ein HMD mit möglichst geringer Latenz für den klinischen Einsatz zu wählen.

Neben der Latenz wird häufig die prologinierte Nutzung von HMDs als Ursache von SiS aufgeführt (Carnegie & Rhee, 2015). Für den klinischen Einsatz erscheint es also sinnvoll, die Exposition mit dem VR-Inhalt so kurz wie möglich, aber so lange wie nötig zu gestalten.

In Zusammenhang mit 360-Grad-Videos konnten Litleskare und Calogiuri (2019) zeigen, dass die kritische Variable in Zusammenhang mit SiS und negativer Affektivität die Bildstabilität der Kamera ist. Für den Einsatz an neurologischen Patienten erscheint es daher sinnvoll, das aufgezeichnete Bild entweder mittels entsprechender Software und Hardware maximal zu stabilisieren oder die Kamera an einem festen Punkt zu installieren und von diesem aus aufzuzeichnen, ohne die Kamera selbst zu bewegen.

Keshavarz (2016) untersuchte Möglichkeiten zur Reduzierung von SiS, welche durch VIMS verursacht wurde. Es zeigte sich, dass sich VIMS durch ein angenehmes Ambiente und einen ansprechenden Untersuchungsraum reduzieren lässt. Entsprechend ist es sinnvoll, die Studien in einem gut belüfteten und angenehm gestalteten Raum durchzuführen, auch wenn die Teilnehmer, während sie sich in der VR befinden, den Raum selbst nicht sehen.

Wie in 2.2.3 dargestellt, spielt auch das FOV eine große Rolle bei der Entstehung von SiS. Für einen therapeutischen Einsatz können zwar theoretische Überlegungen über die ideale Größe des FOVs im Vorfeld getätigt werden, jedoch sind sich die meisten kommerziell erhältlichen Geräte in ihren FOVs sehr ähnlich (vgl. Tabelle 1). So haben die beiden Marktführer Oculus Rift S und HTC Vive ein FOV von circa 110 Grad.

### 2.3.3 Willing suspension of disbelief – Die „willentliche Aussetzung der Ungläubigkeit“

Beim Einsatz von virtuellen Welten stellen sich im Vorfeld auch generelle Fragen: Warum sollten Menschen sich auf eine unechte, vorgegaukelte Realität einlassen wollen? Warum und wie können Menschen sich auf eine fiktionale Realität einlassen?

Die Grundannahme der „willentlichen Aussetzung der Ungläubigkeit“ wurde 1817 von dem englischen Dichter und Philosophen Samuel Taylor Coleridge formuliert. Seine Überlegungen veröffentlichte er in seiner *Biographia Literaria* im Zusammenhang mit dem Schreiben und Lesen von Literatur (Tomko, 2015). Coleridge bat die Leser seiner Gedichte, ihm für einen Moment die willentliche Aussetzung der Ungläubigkeit zu schenken:

*„(...) wir sind übereingekommen, dass meine Bemühungen auf übernatürliche – oder zumindest romantische – Personen und Figuren gerichtet sein sollten, aber trotzdem so, dass es möglich ist, eine Verbindung mit den Figuren aufzubauen und so diese Schatten der Einbildungskraft mit jener momenthaften willentlichen Aussetzung der Ungläubigkeit auszustatten, die ein Vertrauen in die Dichtung schafft.“ (Coleridge & Shawcross, 1907, S. 6).*

Holland (2013) betrachtete Coleridges Theorie aus neurowissenschaftlicher Sicht. Kinobesucher die sich Filme wie Spider-Man ansehen, machen sie sich keine Gedanken darüber, wie wahrscheinlich oder realitätsnah das Gesehene ist. Wenn Menschen aus neurologischer Sicht nicht planen zu handeln oder auf das zu reagieren, worauf sie die Aufmerksamkeit gelenkt haben, wird das System zum Testen der Realität heruntergefahren. Diese Fähigkeit dazu kann anhand des dorsalen und ventralen Aufmerksamkeitssystems (Goodale & Milner, 1992) erklärt werden. Evolutionär gesehen war dieses duale System sehr wichtig. Das dorsale System erkennt das „Wo“ und arbeitet schnell und unkritisch. Es ist vom visuellen Kortex aus mit den Parietallappen verbunden und ragt in den motorischen Kortex des Frontallappens hinein. Evolutionär war das System wichtig, da schnelles Handeln das Überleben sicherte. Das ventrale System dagegen erkennt das „Was“ und arbeitet langsamer. Es vergleicht das Gesehene mit Gedächtnisinhalten und schätzt ein, ob es sich um eine Gefahr oder einen Nutzen handelt. Auch ein anderes duales System, das Fight-or-flight-System (Ledoux, 1999) trägt wesentlich zum Überleben bei und soll schnelles Handeln in Gefahrensituationen ermöglichen. Holland (2013) kommt zu dem Ergebnis, dass das menschliche Gehirn einen Realitätstest mit der Möglichkeit zum Handeln verknüpft und der Möglichkeit, das Wahrgenommene zu verändern. Wenn es zu dem Schluss kommt dies nicht ändern zu können, muss es auch keinen Realitätstest machen. Aus künstlerischer/ästhetischer Sicht wird die Kontrolle aufgegeben, um sich auf das Werk einzustellen. Aus neurologischer Sicht werden, weil wir nicht handeln wollen, die Systeme zur Überprüfung auf Realität heruntergefahren und aus psychologischer Sicht reicht dann die alleinige Wahrnehmung aus, das Gesehene zu glauben bzw. sich darauf einzulassen.

Bezogen auf die Forschung an Patienten mit neurologischen Schädigungen und dem Einsatz von VR präsentiert über ein HMDs ist das dorsale und ventrale Aufmerksamkeitssystem mit in Betracht zu ziehen. Dies gilt vor allem bei Störungsbildern wie Neglect, welcher mit die auffälligsten Beeinträchtigungen der Aufmerksamkeit nach sich ziehen kann (Halligan, Fink, Marshall, & Vallar, 2003). Neglect ist vor allem bei strukturalen Schädigungen des ventralen Systems häufig zu beobachten (Corbetta & Shulman, 2011). Es ist unklar, inwieweit Patienten mit Neglect die willentliche Aussetzung der Ungläubigkeit bei immersiven VR Verfahren gelingt.

### 2.3.4 Immersion und Präsenz

Während ein Mensch eine ihm präsentierte virtuelle Welt wahrnimmt und kognitiv erfasst, verarbeitet er auch immer Informationen über die ausführende Software und die Art und Weise, wie diese Software arbeitet. Gleichzeitig erfährt der Anwender immer auch eine mehr oder weniger starke Präsenz in der virtuellen Welt.

Mit **Präsenz** ist das subjektive Gefühl gemeint, sich tatsächlich in der virtuellen Umwelt zu befinden. Umso stärker dieses Gefühl ist, umso stärker ist der wahrgenommene Präsenzeindruck. Dies geschieht vor allem in virtuellen Welten, die weit vom Alltagsgeschehen weg sind (Fuchs et al., 2017).

**Immersion** ist kein psychologischer Zustand, sondern beschreibt dagegen die technischen Aspekte des VR-Systems, „den Grad des Eintauchens bedingt durch objektive, quantifizierbare Stimuli, d.h. multimodale Stimulationen der menschlichen Wahrnehmung“ (Dörner & Steinicke, 2013, S. 46). Ein höherer Grad an Immersion geht dabei meist auch mit einem höheren Gefühl der Präsenz einher (Gorini, Capideville, Leo, Mantovani, & Riva, 2011). Slater (2018) verdeutlicht, dass es sich bei der Präsenz nicht um den Glauben handelt, dass das Gesehene tatsächlich die Realität ist. Für ihn handelt es sich nicht um eine kognitive, sondern um eine perzeptive Illusion. So hat die Verbindung zwischen Körper und Gehirn in einer virtuellen Situation bereits ganz automatisch reagiert, beispielsweise die Herzrate erhöht, Adrenalin ausgeschüttet und die Atemfrequenz angepasst. Der kognitive Apparat dagegen ist relativ langsam und sendet erst im zweiten Schritt ein „Aber das ist doch nicht real“ hinterher.

Fuchs et al. (2017) geben drei Grundbedingungen an, die erfüllt sein müssen, um eine totale Immersion herstellen zu können:

Zum einen muss der Körper des Anwenders in Echtzeit in die VR-Anwendung übertragen werden. Wenn der Nutzer also nach unten blicken, muss er einen Körper sehen, der sich genauso verhält, wie es zur aktuellen realen Körperstellung im Raum passt. So kann eine Illusion der Selbst-Verkörperung (*self-embodiment*) entstehen. Der Anwender spürt seinen Körper so, als wäre er in der virtuellen Welt. Dieses Gefühl kann maximiert werden, indem dann, wenn der Benutzer in der VR ein virtuelles Objekt berührt, auch eine Berührung des realen Körpers an entsprechender Stelle mit entsprechender Intensität getätigt wird. Ein ähnlicher Effekt tritt auch bei der *rubber hand illusion* (Botvinick & Cohen, 1998) auf.

Zum zweiten muss das Blickfeld des HMDs genauso groß sein wie das des Anwenders. Bei der Anwendung von HMDs spielt das FOV eine große Rolle für das Gefühl der Präsenz (Grimm, Herold, Reiners, & Cruz-Neira, 2013), aber auch bei Auftrittswahrscheinlichkeit von SiS (vgl. 2.2.3 und 2.3.2).

Und zum dritten müssen propriozeptive Wahrnehmung in der realen und der virtuellen Umwelt übereinstimmen. So entsteht beispielsweise bei einem virtuellen Besuch am Nordpol in einem gut temperierten realen Zimmer eine deutliche Diskrepanz in der kinästhetischen Temperaturwahrnehmung und der kognitiv aufgrund der gesehenen Bilder angenommenen Temperatur.

Hohe Präsenz tritt vor allem dann ein, wenn auch ein hoher Grad an Immersion gegeben ist (Dörner & Steinicke, 2013). Kim, Chang, Choi, Jeon und Lee (2018) fanden Hinweise, dass VR, präsentiert über HMDs, einen höheren Grad an Immersion und eine stärkere emotionale Antwort beim Anwender hervorruft, als die Darstellung über einen Bildschirm. Sie sprechen in diesem Zusammenhang von einem „Emotionalen Verstärker“ („*emotional amplifier*“) (Kim et al., 2018, S. 601).

Der Grad an immersiver Erfahrung verringert sich, je mehr man sich auf dem *virtuality continuum* von Milgramm (vgl. Abbildung 2) von der virtuellen Umwelt in Richtung AR bewegt (Silva et al., 2018). Auch ist nicht bei jeder Anwendung ein hoher Grad an Immersion und Präsenz erwünscht. Bei Anwendungen, die nur kleine Zusatzinformationen, wie etwa den Pulsschlag und Blutdruck des Patienten in das Gesichtsfeld der Chirurgen einblenden sollen, wäre ein hoher Grad an Immersion und wahrgenommener Präsenz hinderlich, um die Operation in der Realität durchzuführen.

Vor dem Hintergrund motivationaler Aspekte ist vorstellbar, dass ein hoher Grad an Immersion von Vorteil sein kann. Gorini et al. (2011) zeigten, dass sowohl Immersion als auch ein gutes Narrativ hinter einer VR-Anwendung ein stärkeres Gefühl von Präsenz und emotionale Reaktionen hervorrufen und die Motivation an der Aufgabe erhöhen.

### 2.3.5 Potenzial und mögliche Vorteile von HMDs gegenüber klassischer Bildschirmdarstellung und Face-to-face-Therapie

Bevor man den Einsatz einer neuen Technologie in der Neuropsychologie erforscht, muss zuerst die Frage gestellt werden: Welche Vorteile hat der Einsatz von HMDs gegenüber bisherigen etablierten PC-gestützten Verfahren an Bildschirmen? Der Einsatz von virtueller Realität in der neurologischen Rehabilitation ist nicht neu, doch bietet die Darstellung auf einem HMD einige Vorteile gegenüber klassischem, PC-gestützten Training und gegenüber Paper-Pencil-Aufgaben. Die immersive HMD-VR bietet sehr viele Freiheitsgrade bei der Erschaffung der künstlichen Umwelt. Dazu zählen die Anpassbarkeit der Umwelt selbst, die der Objekte in dieser Umwelt und sogar die der physikalischen Bedingungen (Krohn et al., 2019). Entsprechend kann eine Umwelt erschaffen werden, die individuell an die Bedürfnisse der Patienten angepasst werden kann.

## Ökonomie, Personalunabhängigkeit und häusliche Versorgung

Mit fortschreitender Entwicklung und Konsumentennachfrage wurden in den vergangenen Jahren Standalone-HMDs immer günstiger. Die Oculus Go ist beispielsweise bereits ab einem Preis von circa 200 Euro erhältlich. Dabei handelt es sich um ein eigenständiges Gerät, welches keinen PC benötigt, um zu funktionieren. Auch bei der Diagnostik bieten HMDs mit VR-gestützten Verfahren Vorteile. Die Aufgabenmodifikationen können rechnerisch und automatisiert umgesetzt werden und ermöglichen ein Aufgabendesign, welches auf die jeweilige Studienpopulation, die gestellte Forschungsfrage, oder die individuellen Bedürfnisse der Patienten eingehen kann. Außerdem wird durch diese Flexibilität eine Einschränkung etlicher neuropsychologischer Diagnostikverfahren überwindbar: das Fehlen von Paralleltestversionen (Krohn et al., 2019).

Ein weiteres Problem traditioneller neuropsychologischer Verfahren ist die Abhängigkeit von hochqualifiziertem, neuropsychologischem Personal. Gerade in ländlichen Gegenden gibt es oft nur wenige Anlaufstellen. Außerdem sind Patientenhäufig stark in ihrer Mobilität eingeschränkt. Deshalb steht im Mittelpunkt der E-Health-Initiative der deutschen Bundesregierung neben Big-Data-Anwendungen die Entwicklung von mobilen Anwendungen, welche eine schnellere Integration nutzenbringender Innovationen in die Versorgung ermöglichen sollen ("E-Health – Digitalisierung im Gesundheitswesen," 2020). Dies ist ein notwendiger Schritt, um zum einen dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken und auch um die Versorgung und Betreuung im häuslichen Umfeld zu verbessern. Denkbar wäre zum Beispiel ein Szenario, bei dem die Patienten ihr eigenes Standalone-HMD bereits während des stationären Aufenthalts bekommen. Dieses können individuell auf die Person abgestimmt werden. Die Patienten können in das HMD eingearbeitet werden und dieses dann mit nach Hause nehmen, um dort weiter zu trainieren. Denkbar wäre sogar ein virtuelles Training, bei dem der Therapeut die Patienten über die stationäre Rehabilitation hinaus betreut. Dies könnte minimal geschehen, indem der Therapeut in den aktuellen Fortschritt der Patienten überwacht und die Programme auf dem HMD entsprechend anpasst. Es könnte aber auch so weit gehen, dass sich Patient und Therapeut in einer virtuellen Sitzung treffen, dort über den aktuellen Fortschritt sprechen und zusammen das weitere Vorgehen diskutieren. Technologien wie *Facebook horizon* ermöglichen es bereits jetzt, sich virtuell mit Freunden in einer frei wählbaren Umgebung zu treffen. Zukünftig wäre es vorstellbar, dass sich sowohl Patient als auch Therapeut vor einer 3D-Kamera befinden, welche eine fotorealistische Echtzeitaufnahme der beteiligten Personen macht und diese dann in das virtuelle Treffen projiziert. Dies würde einem echten Treffen dann sehr nahekommen. Über Handschuhe und andere tragbare Kleidung mit haptischem Feedback wäre sogar eine virtuelle Berührung denkbar. Ob diese Art der Interaktion erstrebenswert ist, soll an dieser Stelle nicht erörtert werden. Sicherlich sprechen auch viele Punkte gegen so ein Szenario. Um aber eine möglichst hohe Patientenversorgung auch in Zukunft zu gewährleisten, wird diese Art der Behandlung vermutlich einen immer größeren Stellenwert einnehmen müssen.



## Motivation und Unterhaltungswert

Gerade in der Akutphase der neurologischen Rehabilitation kann durch eine spezifische Stimulation eine komplette oder eine teilweise Restitution einer bestimmten Hirnfunktion ermöglicht werden. Aufgrund der neuronalen Plastizität (Hebb, 1949) kann durch ein wiederholtes Üben eine Neubildung und Neuvernetzung von Neuronen stimuliert werden und eine spezifische Hirnleistung wiederhergestellt oder verbessert werden. Hierzu ist allerdings eine sehr hohe Motivation des Patienten erforderlich, da die Übungen aufgrund ihrer Monotonie oft wenig ansprechend sind. Gleichzeitig liegen die Wirkfaktoren gerade in der hohen Frequenz, der Intensität und der langen Dauer der Übungen. Die Patienten sind kognitiv häufig noch nicht in der Lage sich aus rationalen Gründen zur Teilnahme an langwierigen, repetitiven und immer gleichen Funktionstrainings zu motivieren. Entsprechend hilfreich kann es sein, wenn die Übungen einen gewissen Unterhaltungswert haben, Spaß machen und Neugierde auf die nächste Einheit wecken. Hier kann ein Vorteil der HMDs liegen. Kern et al. (2019) untersuchten, inwiefern sich immersive virtuelle Reality mittels HMD auf die Motivation beim Gait-Training auswirkt. Dabei handelt es sich um ein physiotherapeutisches, rehabilitatives Verfahren, um das Laufen (wieder) zu erlernen. Im Vergleich zum traditionellen Training verbesserten sich in der VR-HMD-Bedingung, das Wohlbefinden, die Motivation und die wahrgenommene Belastung signifikant.

Während in Zeiten leistungsstarker PCs und Grafikkarten auch ein optisch noch so ansprechend ausgearbeitetes Übungsprogramm am PC-Bildschirm die meisten Anwender nicht mehr überrascht und begeistert, können virtuelle Inhalte auf HMDs aufgrund ihrer Unbekanntheit häufig unmittelbar begeistern und neugierig machen. Es ist gut vorstellbar, dass das völlige Verschwinden in einer anderen Welt, die Diskrepanz zwischen dem kognitiven Wissen, sich gerade in einer Rehabilitationseinrichtung zu befinden und dem körperlich sehr präsenten Gefühl, an einem Strand zu sitzen, virtuell durch die eigene Wohnung zu Hause zu laufen, sich auf einer Lichtung im Wald zu befinden (vgl. Studie 1) oder auf einer Pferdekoppel an einem sonnigen Frühlingstag zu stehen (vgl. Studie 2), Interesse und Neugierde auslösen könnte. Des Weiteren ist es durch eine Echtzeitüberwachung der einzelnen Parameter möglich, eine Live-Diagnostik zu machen und den Schwierigkeitsgrad permanent und adaptiv an das Verhalten, die Leistung und die Tagesform der Trainierenden einzustellen. So kann möglicherweise Langeweile vermieden und Frustration verhindert werden.

## Sicherheit, Kontrolle und Dosierbarkeit der Reize

Ein weiterer Vorteil bei der Anwendung von VR mit HMDs liegt darin, dass trotz des hohen Realitätsindrucks, der Immersion und der Präsenz, gleichzeitig weniger Gefahr als bei einer Übung oder einer Therapie am realen Objekt entsteht. Im neurologischen Rehabilitationsprozess wird stets versucht, Patienten so wenig Gefahr wie möglich auszusetzen. Häufig können sie ihre Belastungsgrenze oder Überforderung selbst noch nicht einschätzen oder mitteilen. Im Gegensatz zu einer Therapiesituation in der

realen, physikalischen Umwelt ermöglicht das VR-gestützte Training eine höhere Kontrolle und Dosierung über das Vorkommen, die Art und die Frequenz von Störreizen, Ablenkung und Gefahren. Dies lässt sich an verschiedenen Beispielen verdeutlichen. Navarro, Lloréns, Noé, Ferri und Alcañiz (2013) haben für Neglect-Patienten ein virtuelles Szenario erschaffen, in dem diese eine individuell gestaltbare und befahrene Straße überqueren mussten. Dies hat den Vorteil, eine hohe Alltagsrelevanz für die Patienten zu erschaffen und sie gleichzeitig nicht in Gefahr zu bringen. Denkbar wäre auch der Einsatz bei Krebspatienten. Nach einer Chemotherapie haben Betroffene oft einen langen Leidensweg hinter sich und befinden sich gleichzeitig in einem körperlichen und emotionalen Ausnahmezustand. Die immunsuppressive Wirkung der Medikamente macht die Patienten sehr anfällig für Infektionskrankheiten (Vento & Cainelli, 2003). Schon eine einfache Erkältung könnte den Therapieerfolg torpedieren. Entsprechende Vorsicht ist für die Betroffenen geboten im Umgang mit erkälteten Familienangehörigen und Freunden, bei Treffen außerhalb des eigenen Zuhauses und bei öffentlichen Veranstaltungen. Aus Angst vor Infektionen meiden Patienten diese Gefahren dann häufig. Gleichzeitig ist Einsamkeit ein Faktor, der den Outcome von Krankheiten negativ beeinflusst (Tomaka, Thompson, & Palacios, 2006). Chopik (2016) konnte zeigen, dass der Einsatz von sozialer Technologie bei älteren Menschen einen positiven Einfluss auf die wahrgenommene Gesundheit hat, mit weniger chronischen Krankheiten assoziiert ist und mit ihr weniger depressive Symptomatik gezeigt wird. Es wäre also vorstellbar, dass der Einsatz von sozialen Programmen via HMDs, welche das Gefühl von Präsenz und Immersion stark erhöhen, einen Vorteil für Menschen in Situationen geben, welche an realen sozialen Interaktionen temporär nicht oder nur eingeschränkt teilnehmen können. Es konnte bereits nachgewiesen werden, dass virtuell erzeugter Stress genau wie real erzeugter Stress ähnliche Auswirkungen auf hormonelle Reaktionen hat (Zimmer, Buttlar, Halbeisen, Walther, & Domes, 2019). Denkbar wäre aber auch eine gesundheitsfördernde hormonelle Antwort auf angenehme virtuelle soziale Interaktionen, dem virtuellen Besuch im Guggenheim Museum (Mir, 2016) oder der virtuellen Teilnahme an Konzerten.

## 2.4 Aktuelle Studien und Anwendungsbeispiele aus der psychologischen Forschung

Neben dem interdisziplinären Austausch ist gerade für die Entwicklung von VR-Anwendungen für HMDs wichtig, auch intradisziplinäre Erkenntnisse mit einzubeziehen. VR wirkt auf das Erleben und Verhalten des gesamten Menschen ein. Deshalb sollen im Folgenden, bevor aktuelle Ergebnisse aus der Neuropsychologie beleuchtet werden, kurz Bezug auf die sozialpsychologische Forschung und die Psychotherapieforschung genommen werden.

Die sozialpsychologische Forschung verspricht sich vom technischen Fortschritt der immersiven VR-Systeme den Kompromiss zwischen experimenteller Kontrolle und realistischen Szenarios zu verkleinern und Kosten zu senken. In sozialpsychologischen Experimenten gilt meist: je alltagsrealistischer die Situation dargestellt wird, umso weniger experimentelle Kontrolle. Ebenso haben sozialpsychologische Experimente häufig das Problem der mangelnden Replizierbarkeit (Blascovich et al., 2002). Die sozialpsychologische Forschung hat die Hoffnung, dass die VR-Technologie eine Simulation hervorbringen kann, die einen VR-Turingtest bestehen kann: Einen virtuellen Charakter, den die Versuchsperson weder aufgrund des verbalen noch aufgrund des nonverbalen Verhaltens von einem realen Menschen unterscheiden kann (Pan & Hamilton, 2018).

Die Psychotherapieforschung zum Thema VR befasst sich vor allem mit dem Einsatz von Expositionstherapien (virtual reality exposure therapy VRET). Diemer und Zwanzger (2019) führen dies auf die einfachere Planung der Durchführung, eine bessere Verlaufskontrolle und eine geringere Hemmschwelle seitens der Patienten zurück. Auch können Situationen, die in vivo nicht oder nur schwer machbar wären, mittels VR leichter umgesetzt werden. Zudem liegt das Potential der VR-Technik darin, dass Angstpatienten besser versorgt werden könnten und die Technik somit einen Beitrag gegen die Unterversorgung von ambulanten psychotherapeutischen Praxen leisten könnte. VRET ist wohl das am besten untersuchte Einsatzfeld von VR innerhalb der Psychologie. In der Metaanalyse von Morina, Ijntema, Meyerbröker und Emmelkamp (2015) zeigen sich deutliche Effektstärken gegenüber der Warteliste im Verhalten in der Realsituation ( $g=1.41$ ). Gegenüber einer klassischen Expositionstherapie konnte sich die VRET jedoch nicht als effektiver darstellen. Eine umfassende Liste von klinischen Studien, in denen VR erfolgreich gegen spezielle Phobien eingesetzt wurde, findet sich bei Rizzo und Koenig (2017).

Die neuropsychologische und neurorehabilitative Forschung ist dabei, den Einsatz von HMDs mehr und mehr zu entdecken. In ihrem narrativen Review untersuchen Teo et al. (2016) die Kombination von VR, Neuromodulation und neuronaler Bildgebung als mögliche Plattform für Neurorehabilitation. Dabei beziehen sie auch einige Studien über immersive VR und HMDs mit ein und legen den Fokus auf die Rehabilitation von motorischen Fähigkeiten bei Patienten mit Schlaganfall, Parkinson und infantiler Zerebralparese. Sie kamen dabei zu dem Schluss, dass zum einen die Kombination aus konventionellen Therapien und VR sicher ist. VR-Therapie zeigte sich auch effektiver als die konventionellen Therapien allein. Die Autoren weisen darauf hin, dass aktuell noch mehr klinische Studien fehlen, und trotz der aktuellen Limitationen durch die VR-Technik großes Potenzial besteht. Vor allem im Bereich der kognitiven und neuropsychologischen Rehabilitation seien nur wenige Studien verfügbar.

Siala et al. (2019) haben in einer Pilotstudie mit 7 Teilnehmer versucht, ein VR-basiertes Diagnoseinstrument für räumlich-visuellen Neglect zu programmieren und validieren, welches auch über den

Krankheitsverlauf den Grad der Erholung messen kann. In Anlehnung an den mobility assessment course (MAC) (Verlander et al., 2000) wurde eine VR-Version entwickelt. Bei MAC müssen die Patienten in einem standardisierten, 43 Meter langen Korridor, 40 Ziele (jeweils 20 links und 20 rechts) finden. In der VR-Version von Siala et al. (2019) wurden die Patienten entlang einer virtuellen Straße bewegt, an der sich links und rechts Farmtiere wie Pferde und Kühe befanden. Ebenso wurde der Winkel der Drehbewegung des Kopfes mitgemessen, als Zeichen der Exploration in die entsprechende Richtung. Während bei Teilnehmern ohne Neglect eine in etwa gleichverteilte symmetrische Verteilung der Kopfbewegung gemessen wurde, zeigte sich bei Menschen mit räumlich-visuellem Neglect eine deutliche Asymmetrie in Richtung der ipsiläsionalen Seite, welche auch prozentual erfasst wurde.

Howett et al. (2019) untersuchten mit Hilfe von VR-Software und der HTC-Vive-Brille eine Gruppe von 45 Patienten mit leichter kognitiver Beeinträchtigung (*mild cognitive impairment*). Sie konnten dabei besser zwischen Patienten mit hohem Risiko und Patienten mit geringem Risiko, eine Demenz zu entwickeln, unterscheiden als es bisherige neuropsychologische Goldstandardtests konnten. Das VR-Verfahren wurde mit dem *Free and Cued Selective Reminding Test* (FCSRT) (Buschke, 1984), dem *Rey Figure Recall* (RFR) (Osterrieth, 1944), dem *Trail Making Test B* (TMT-B) (Bowie & Harvey, 2006), dem *Digit Symbol Test* (DST) aus dem *WAIS-III* (Ryan & Lopez, 2001) und der *4 Mountains Test* (4MT) (Hartley et al., 2007) verglichen. Dabei wurde den Teilnehmern Cerebrospinalflüssigkeit entnommen, welche auf Biomarker (Amyloid-Beta und Tau-Protein) für Alzheimer untersucht wurde. Die leicht kognitiv beeinträchtigten Patienten mit auffälligen Biomarkern schnitten signifikant schlechter ab als die leicht kognitiv beeinträchtigten Patienten ohne auffällige Biomarker. Ebenso konnte der Test zwischen einer Kontrollgruppe ohne leichte kognitive Beeinträchtigungen und der Versuchsgruppe unterscheiden. Die virtuelle Untersuchung war dabei als eine Navigationsaufgabe aufgebaut. Die Aufgabe zielte vor allem auf Aufgabenbereiche des entorhinalen Kortex ab. Dieser spielt unter anderem eine Rolle bei der Gedächtnisbildung, Navigation und Zeitwahrnehmung und ist bereits in einem frühen Stadium der Alzheimer-Krankheit negativ beeinflusst. Diese Art der diagnostischen Früherkennung zeigt vor allem das Potenzial auf, dass HMDs dafür eingesetzt werden können, Erkrankungen, die den Betroffenen noch gar nicht bewusst sind, in einem Frühstadium zu erkennen.

Krohn et al. (2019) durchsuchten die PubMed Datenbank in den Jahren 1995 bis 2018 auf die Anzahl der Treffer für „Virtual Reality“ und auf die Anzahl der Treffer für „Virtual Reality“ AND „cognitive“. Sie konnten einen deutlichen Anstieg der Anzahl neuer Publikationen für beide Suchanfragen aufzeigen (vgl. Abbildung 12). Des Weiteren zeigten sie, dass der Anteil der jährlichen Treffer für die Anfrage „VR“ AND „cognitive“ im Verhältnis zum Anteil für die Treffer für „VR“ um fast 20% über die letzten 20 Jahre gestiegen ist. Das Verhältnis von „VR“ AND „cognitive“ zu „VR“ lag zwar nur bei einem Prozent,

jedoch zeigte sich für beide Ergebnisse ein signifikanter monotoner Aufwärtstrend mittels non-parametrischer Mann-Kendall Trend Analyse.

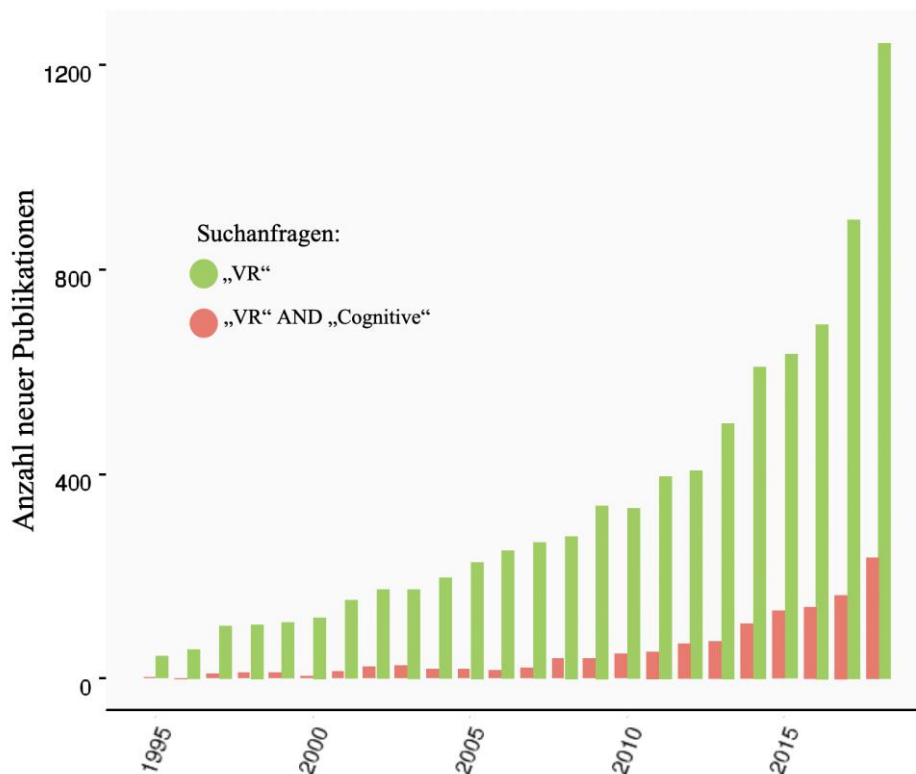


Abbildung 12: Publikationen zu den Themen „VR“ und „VR“ AND „Cognitive“ seit 1995 nach Krohn et al. (2019)

Krohn et al. (2019) leiten aus der Vielzahl der Forschungsstudien und den vielfältigen Eigenschaften der heutigen VR ab, dass diese durch die psychometrischen Qualitätskriterien der klassischen Testtheorie (d.h. Objektivität, Reliabilität, Validität) nicht adäquat erfasst werden, was die Notwendigkeit eines erweiterten paradigmatischen Evaluationsrahmens verdeutlicht. Sie entwickeln ein *framework* für VR-Anwendungen zur neuropsychologischen Diagnostik und Therapie. Dieses umfasst zehn Hauptevaluationsdimensionen: die kognitive Domänenspezifität, die ökologische Relevanz, die technische Durchführbarkeit, die Durchführbarkeit für die Benutzer, die Motivation der Benutzer, die Anpassungsfähigkeit der Aufgabe, die Quantifizierung der Leistung, die Immersionsfähigkeit, die Durchführbarkeit des Trainings und vorhersehbare Fallstricke.

Das vom Bundesministerium für Forschung und Bildung geförderte Forschungsprojekt VReha: „Virtuelle Welten für digitale Diagnostik und kognitive Rehabilitation - Virtual Reality als zukunftsweisendes Element der computergestützten kognitiven Rehabilitation“ (<https://www.vreha-project.com>) versucht aktuell das Potenzial von VR auszuloten und Patienten nach einem Schlaganfall oder SHT zu unterstützen. Vor allem folgende Fragen sollen dabei im Mittelpunkt der Forschung stehen: Ist VR in der Diagnose und Therapie geeignet? Bei welchen Patienten lässt sich VR einsetzen? Wo ist der Einsatz

von VR in der Therapie sinnvoll? Wie können wir bestehende Therapieansätze in den Bereichen visuell-räumliche Orientierung und visuell räumliches Gedächtnis durch VR optimieren beziehungsweise ergänzen (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2017)?

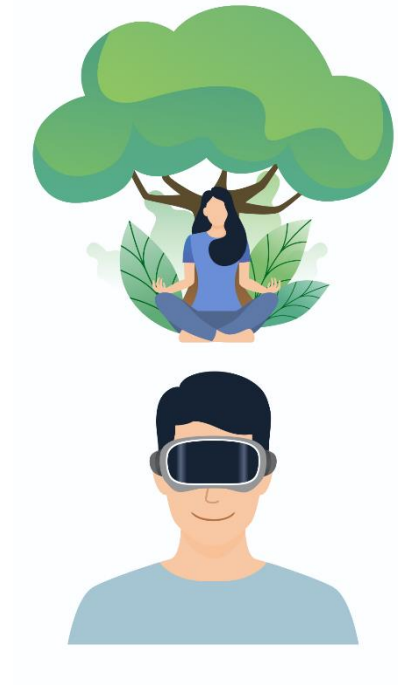
Die beiden im folgenden aufgezeigten Studien wurden vor dem Hintergrund der „Recommendations for Methodology of Virtual Reality Clinical Trials in Health Care by an International Working Group: Iterative Study“ (Birkhead et al., 2019) erstellt. Studie 1 dieser Arbeit ist auf Stufe VR2 angesiedelt. Studie 2 ist näher an Stufe VR3 angelehnt.

Tabelle 2: Virtual Reality Clinical Outcomes Research Experts Model (nach Bickhead et al., 2019)

VR1	VR1 Studien konzentrieren sich auf die Content-Entwicklung indem sie mit Patienten und Endbenutzer-Anbietern nach den Prinzipien von human-centred design zusammenarbeiten.
VR2	VR2 Studien führen frühe Testphasen mit dem Fokus auf Machbarkeit, Akzeptanz, Toleranz und initiale klinische Wirksamkeit durch.
VR3	VR3 Studien sind RCTs ( <i>randomized control trails</i> ), die klinisch bedeutsame Outcomes zwischen Interventions- und Kontrollgruppe untersuchen.

## Studie 1

3. Untersuchung eines Virtual-Reality-basier-ten Entspannungsverfahrens bei Patienten mit (zentral)neurologischem Krankheitsbild



### 3.1 Zusammenfassung

In dieser Studie wurden Wirksamkeit und Verträglichkeit eines VR-basierten Entspannungsverfahrens präsentiert über ein HMD untersucht. Dazu wurden drei Bedingungen verglichen: VR-basierte Entspannung, akustische Phantasiereise und eine Kontrollbedingung. Als physiologische Parameter wurden Hautleitwert und Pulsfrequenz erhoben. Der Grad der Entspannung, das emotionale Wohlbefinden, das körperliche Wohlbefinden und die Akzeptanz des Verfahrens wurden mithilfe eines Fragebogens erhoben. Untersucht wurden (zentral)neurologische Patienten ( $N=20$ ) mit den Krankheitsbildern Hirninfarkt, Hirnblutung, Critical-Illness-Polyneuropathie und Schädel-Hirn-Trauma im Alter von 30 bis 85 Jahren. Zur Beantwortung der Hypothesen wurden zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung, Friedman-Tests, Wilcoxon-Tests und Chi-Quadrat-Anpassungstests durchgeführt. Es konnten keine Nebenwirkungen der HMD-VR-Technologie festgestellt werden. Zudem zeigte sich eine hohe Akzeptanz des Verfahrens durch die Patienten. Das VR-Verfahren erwies sich zeitlich ökonomisch und einfach in der Handhabung. Insgesamt konnte kein signifikanter Effekt bei den objektiven Parametern nachgewiesen werden. Bei den subjektiven Parametern wie Entspannungsgrad und emotionalem Wohlbefinden zeigte die VR-Bedingung tendenziell die größte Wirkung.

### 3.2 Abstract

This study investigated the efficacy and tolerability of a VR-based relaxation procedure presented via an HMD. For this purpose, three conditions were compared: VR-based relaxation, acoustic fantasy journey, and a control condition. Skin conductance and pulse rate were collected as physiological parameters. The degree of relaxation, the emotional well-being, the physical well-being and the acceptance of the procedure were assessed by means of a questionnaire. (Central) neurological patients ( $N=20$ ) with the clinical pictures cerebral infarction, cerebral hemorrhage, critical illness polyneuropathy and craniocerebral trauma at the age of 30 to 85 years were examined. Two-factorial analyses of variance with measurement recovery, Friedman tests, Wilcoxon tests, and chi-square adjustment tests were performed to answer the hypotheses. No side effects of the HMD-VR technology could be detected. In addition, a high acceptance of the procedure by the patients was shown. The VR procedure proved to be economical in terms of time and easy to handle. Overall, no significant effect could be demonstrated for the objective parameters. For the subjective parameters such as degree of relaxation and emotional well-being, the VR condition tended to show the greatest effect.



### 3.3 Einleitung

Durch die Entwicklung von immer schnelleren Prozessoren, Grafikchips und vor allem durch die Übertragung dieser Fortschritte auf Technologien wie HMDs haben sich die Einsatzmöglichkeiten von virtueller oder augmentierter Realität in den letzten Jahren deutlich erhöht. Hersteller und Entwickler setzen viel Hoffnung in die Zukunft von VR und AR. So beläuft sich der weltweite Gesamtwert von VR-Startups, die sich auf den Entertainmentbereich konzentrieren, auf 45 Mrd. US-Dollar. Schließt man Unternehmen, die sich auf Bereiche, die darüber hinausgehen, mit ein, so wird der Gesamtwert auf 67 Mrd. US-Dollar geschätzt (Merel, 2019). Der Einsatz von VR und deren Simulationskraft reicht dabei von der Personalausbildung verschiedener Fachbereiche über die Marketingindustrie bis hin zur Produktion.

Auch im Gesundheitswesen nimmt der Einsatz dieser neuen Technologie in den letzten Jahren zu. Zum einen werden damit viele Möglichkeiten für die medizinische Ausbildung erschlossen. Dazu zählen etwa Anwendungen zum Lehren und Lernen von Anatomie (Ferrer-Torregrosa et al., 2016; Kugelmann et al., 2018) oder die virtuelle Einübung von Operationsmethoden (Nagendran, Gurusamy, Aggarwal, Loizidou, & Davidson, 2013). Aber auch Patienten können bereits vom Einsatz von VR und AR profitieren, beispielsweise bei der Behandlung von Schmerz und Angst bei zahnärztlichen Behandlungen (López-Valverde et al., 2020), als Hilfe bei der Behandlung von Schizophrenie (Fernández-Sotos, Fernández-Caballero, & Rodriguez-Jimenez, 2020) oder zur Motivation bei einem Ausdauertraining älterer Menschen mit chronischen Atemwegserkrankungen (Colombo, Mondellini, Gandolfo, Fumagalli, & Sacco, 2019). Die Forschung steht dabei allerdings noch am Anfang und es wurden noch keine standardisierten, krankheitsspezifischen Behandlungsmethoden entwickelt. Vielmehr geht es darum, Einsatzmöglichkeiten abzustecken und an die krankheitsspezifischen Gegebenheiten anzupassen.

Auch im Bereich der neurologischen Rehabilitation und in der Neuropsychologie deutet sich in den letzten Jahren immer mehr Evidenz für einen gewinnbringenden Einsatz von VR und HMDs an. Für ihr systematisches Review untersuchten Schiza, Matsangidou, Neokleous und Pattichis (2019) zwölf Veröffentlichungen zwischen 2014 und 2019 zu den Suchbegriffen "Virtual Reality AND Neurorehabilitation," oder "Head Mounted Display AND Neurorehabilitation." und konzentrierten sich auf den Einsatz bei Schlaganfall, Demenz, Verletzungen der Wirbelsäule, Parkinson und Multipler Sklerose. Es liegt nahe, dass kostengünstige, immersive VR-Technologien für die klinische Rehabilitation im Gesundheitswesen und für die häusliche Umgebung viel Potenzial haben. Die Autoren regen an, weitere Forschungsbemühungen in dieses Feld zu investieren. Ebenso hoffen sie, dass VR-Technologie auch auf das Wohlbefinden der Patienten einen positiven Einfluss hat.

Bevor jedoch der Einsatz von VR, präsentiert mittels HMD, bei spezifischen neurologischen Krankheitsbildern erforscht wird, ist es sinnvoll, einen Schritt zurückzugehen, um mögliche Fallstricke aufzudecken, welche die Ergebnisse von entsprechenden Studien unterminieren könnten. Dazu zählen Nebenwirkungen, die Nutzerakzeptanz und damit verbunden das Auftreten von SiS und die generelle Verträglichkeit von HMDs bei neurologisch erkrankten Patienten.

Die erste der beiden Studien zur Untersuchung möglicher Einsätze immersiver virtueller Realitäten präsentiert über ein HMD in der neurologischen Rehabilitation hat das Hauptanliegen, die Verträglichkeit und Nutzerakzeptanz dieser Technik bei neurologisch erkrankten Patienten zu erkunden und daraus Implikationen für nachfolgende Untersuchungen abzuleiten. Dies soll im Rahmen eines VR-basierten Entspannungsverfahrens geschehen.

## 3.4 Theoretische Grundlagen und empirische Befunde

Im Folgenden werden theoretische Grundlagen zur neurologischen Rehabilitation, zu Entspannungsverfahren und VR aufgezeigt. Zunächst werden die für diese Studie relevanten neurologischen Krankheitsbilder erläutert.

### 3.4.1 Ausgewählte (zentral)neurologische Krankheitsbilder

#### 3.4.1.1 Schlaganfall - Hirninfarkt und Hirnblutung

Bei einem Schlaganfall wird vor allem zwischen Ischämien und Blutungen als Ursache unterschieden. Der Hirninfarkt oder ischämische Schlaganfall ist mit 80% die häufigste Form des Schlaganfalls (Schubert & Lalouschek, 2011). Bei einem hämorrhagischen Schlaganfall liegt eine intrazerebrale Blutung vor. Dies ist mit 15% die zweithäufigste Form des Schlaganfalls. Die Subarachnoidealblutung bildet die dritthäufigste Form mit circa 5% (Schubert & Lalouschek, 2011). In Deutschland erkranken circa 250 000 Menschen pro Jahr an einem Schlaganfall und circa 700 000 Deutsche leben mit den Folgen des Insults. Die Inzidenz für ischämische Schlaganfälle liegt zwischen 160 und 240 auf 100 000 Einwohner pro Jahr (Zeyfang, 2013). 10 bis 15% der Betroffenen versterben in den ersten vier Wochen nach dem Ereignis (Ringleb, Veltkamp, Schwab, Bendszus, & Hacke, 2016). Ein Schlaganfall ist die häufigste Ursache für mittlere und schwere Behinderungen (Neubart et al., 2018) und stellt für die Industrieländer die insgesamt teuerste Krankheit dar (Zeyfang, 2013). Etwa ein Drittel der Überlebenden kann so gut rehabilitiert werden, dass sie wieder wie vor dem Schlaganfall leben können, ein Drittel kann danach wieder einfache Dinge des Alltags meistern, bleibt aber sehr eingeschränkt und ist nicht mehr berufsfähig und ein weiteres Drittel ist auf Dauer teilweise oder vollständig pflegebedürftig (Ringleb et

al., 2016). Die Symptome nach einem Schlaganfall können je nach Art, Schwere und Läsionslokalisierung sehr unterschiedlich ausfallen. Zu den häufigsten Symptomen gehören Parese, Oberflächensensibilitätsstörung, Tiefensensibilitätsstörung, Aphasie, Agnosie, Apraxie, Neglect, Anosognosie, Raumanalysestörungen, Bewusstseinsstörungen, Aufmerksamkeitsstörungen, Konzentrationsstörungen und Gedächtnisstörungen (Ringleb et al., 2016).

#### *3.4.1.2 Schädel-Hirn-Trauma (SHT)*

In Deutschland liegt die jährliche Inzidenzrate pro 100 000 Einwohner bei etwa 300 bis 400 Hirntraumata aller Schweregrade. Männer sind dabei dreimal so häufig betroffen wie Frauen (Rickels, Wild, & Wenzlaff, 2011). Das Schädel-Hirn-Trauma (SHT) zählt bei Menschen im Alter zwischen 29 bis 45 Jahren zur Haupttodesursache und Hauptursache für lebenslange Behinderung (Maas et al., 2017). 2006 lag die deutschlandweite Anzahl an SHTs jeden Schweregrades bei etwa 240 000. SHT werden in leicht, mittelschwer und schwer differenziert. Als Grundlage der Klassifizierung dient vor allem die Glasgow Coma Score (GSC) (Hacke, 2016). Patienten, die nach einem SHT länger als zwei Tage stationär behandelt werden, weisen zu einem Drittel noch nach sechs Monaten neuropsychologische Defizite auf (Dombovy & Olek, 1997). Zu typischen kognitiven Symptomen zählen, je nach Schweregrad, Probleme mit dem Gedächtnis, Störungen der frontalen exekutiven Funktionen und Störungen der Aufmerksamkeit. Aber auch emotional-affektive Störungen, Angststörungen und Veränderungen der Persönlichkeit und des Verhaltens gehen häufig mit SHTs einher (Wallesch, Unterberg, & Dietz, 2005). Bei SHTs jeden Grades können gleichzeitig intrakranielle Blutungen vorliegen, welche zu weiteren Komplikationen führen können (Hacke, 2016).

#### *3.4.1.3 Critical-Illness-Polyneuropathie (CIP)*

Bei einer Critical-Illness-Polyneuropathie (CIP) handelt es sich um eine nach Möglichkeit reversible Erkrankung des peripheren Nervs. Als Leitsymptom gilt eine generalisierte Muskelschwäche. Diese neuromuskulären Störungen treten meist erst dann auf, wenn die primäre Grunderkrankung bereits unter Kontrolle ist (Hartung & Kieseier, 2016). Eine CIP tritt bei 70% aller Patienten mit einer Sepsis oder Multiorganversagen, die länger als zwei Wochen beatmet werden, auf (Hufschmidt, Lücking, Rauer, & Glocker, 2017). Weitere Ursachen können die längere Anwendung von Muskelrelaxanzien und Steroiden sowie eine septische Enzephalopathie und systemisches, inflammatorisches Reponse-Syndrom sein (Hartung & Kieseier, 2016). Auch wenn das Krankheitsbild einer CIP überstanden ist, hinterlässt sie häufig Ausfallerscheinungen wie Fallfüße, Kontrakturen, Fatigue mit verminderter Lebensqualität

oder schmerzhaftes Parästhesien. Circa 50% der CIP-Patienten leiden noch nach einem Jahr unter behindernden Folgen (Müllges & Stoll, 2011).

### 3.4.2 Vorüberlegungen über den Einsatz von virtuellen Entspannungsverfahren in der neurologischen Rehabilitation

Um einen ausführlicheren Überblick über die technischen Aspekte von VR, AR und HMDs und den aktuellen Stand über den Einsatz von HMDs in der neurologischen Rehabilitation und Psychologie zu bekommen, sei auf den ersten Teil dieser Arbeit verwiesen. Im Folgenden werden kurz die wichtigsten Fragestellungen und Erkenntnisse daraus zusammengefasst.

Auch wenn bereits erste Studien zum Einsatz von VR präsentiert über HMDs in der neurologischen Rehabilitation und Neuropsychologie vorliegen, so sind diese meist durch kleine Fallzahlen und/oder auf einzelne spezifische Krankheitsbilder reduziert. Eine Abklärung darüber, ob und wie HMDs für neurologische Patienten objektiv geeignet sind und wie die subjektive Einschätzung über diese Art der Therapie bei den Patienten ist, gibt es nach Kenntnisstand des Autors dieser Arbeit zum Zeitpunkt des Verfassens noch nicht.

Die vorliegende Studie 1 setzt dabei an dem von Birkhead et al. (2019) vorgeschlagenen Stufenmodell „Virtual Reality Clinical Outcomes Research Experts“ auf der Stufe „VR2“ an: „VR2 trials conduct early testing with a focus on feasibility, acceptability, tolerability, and initial clinical efficacy.“ (Birkhead et al., 2019, S. 3) (vgl. Tabelle 2).

Der Aspekt der Machbarkeit ist bezüglich der technischen Umsetzung, der Auswahl der Präsentationsform und der Erstellung von therapeutischen Inhalten von Bedeutung. So gilt es die Verfahrensökonomie zu überprüfen und die Vor- und Nachteile der am Markt erhältlichen Geräte abzuwägen. Auch müssen sowohl objektive als auch subjektive Parameter bestimmt werden, die als Maßstab für Akzeptanz und Machbarkeit eingesetzt werden können.

Um die initiale klinische Wirksamkeit zu überprüfen scheint es sinnvoll, ein möglichst niedrigschwelliges und breit angebotenes Therapie-Element der neurologischen Rehabilitation zu wählen, um den Einsatz von HMDs einem breiten Patientenspektrum zugänglich zu machen und um erste Erkenntnisse zu gewinnen. Daher wurde für die vorliegende Studie 1 auf ein Entspannungsverfahren zurückgegriffen.

### 3.4.3 Entspannungsverfahren in der neurologischen Rehabilitation – Stand der empirischen Forschung

Entspannungsverfahren werden in Rehabilitationseinrichtungen häufig und vielfältig eingesetzt. So nimmt jeder Patient durchschnittlich fünfmal pro Aufenthalt an einem Entspannungsverfahren teil (Worringen & Küch, 2010). 90% aller Einrichtungen für die Rehabilitation nach einem Schlaganfall bieten progressive Muskelentspannung an und 60% autogenes Training (Kampling, Reese, & Mittag, 2015). Entspannungsverfahren haben ein sehr breites Indikations- und Wirkungsspektrum. Schlaganfallpatienten profitieren von Entspannungstraining, beispielsweise im Umgang mit Angst und Nervosität (Kneebone, Walker-Samuel, Swanston, & Otto, 2014), Depression (Hampson, King, Eriksson, & Smee, 2019), aber auch Ungeduld, Überaktivität und innere Unruhe sind Indikationen für ein Entspannungstraining (Petermann, 2020).

Mögliche anwendbare Verfahren sind Hypnose, autogenes Training, Meditationsverfahren, progressive Muskelentspannung, imaginative Verfahren und Biofeedback. Welches Verfahren für den Patienten passend ist, sollte idealerweise am Einzelfall entschieden werden. Im klinischen Alltag werden Entspannungstrainings in der Rehabilitation aber häufig für Gruppen angeboten. Dies stellt Therapeuten vor die Problematik, ein „one-fits-all-Verfahren“ zu wählen. Bei neurologisch erkrankten Patienten fällt häufig schon aufgrund einer Plegie die PMR weg, da viele Patienten keine aktiven Bewegungen durchführen können. Auch das autogene Training ist nicht immer anwendbar, da hier viel Übung benötigt wird und das Training in Einheiten aufgebaut ist. So müssten die Patienten gleichzeitig anfangen das Training zu erlernen. Entsprechend schwer wäre es neue Patienten in eine bestehende Gruppe aufzunehmen. Auch ist diese Art der Entspannung für beispielsweise Früh-Reha-Patienten nur schwer möglich. Hypnose und Meditationsverfahren sind oft stigmatisiert und werden von Patienten aktiv abgelehnt. Die Vorteile von imaginativen Verfahren liegen vor allem darin, dass der Schwerpunkt der Entspannung sowohl psychisch als auch somatisch ist. Die Patienten sind zwar gefordert, können aber auch eine eher passive Rolle einnehmen (Göggerle & Günter, 2002).

Eine Einzelfallstudie von Luca et al. (2019) untersuchte ein VR-Entspannungstraining für eine 50-jährige Patientin mit Angstsymptomatik nach einem ischämischen Schlaganfall, der zwölf Monate zurück lag. Das Entspannungstraining wurde mit dem immersiven VR-System Computer-Assisted-Rehabilitation-Environment (CAREN) durchgeführt. CAREN ist ein multisensorisches System zur klinischen Analyse, Rehabilitation, Bewertung und Registrierung des menschlichen Gleichgewichtssystems (Lees, Vanrenterghem, Barton, & Lake, 2007). Das Training wurde verglichen mit einem Standard-Entspannungstraining der Klinik, der Zwerchfellatmung (*diaphragmatic breathing*). Das genutzte CAREN-System hatte eine 180-Grad-Leinwand, welche sich vor einem Laufband mit sechs Freiheitsgraden befand (vgl. Abbildung 13). Die Patientin lief dabei durch fünf verschiedene Szenarien und führte die gelernten

Atem- und Entspannungstechniken aus. Am Ende des Standard-Trainings zeigten sich bei der Patientin nur leichte Verbesserungen, während sich nach dem Training innerhalb der immersiven virtuellen Umwelt signifikante Verbesserungen der kognitiven Funktionen und Verhaltensfunktionen zeigten. Die kombinierte Therapie zeigte den größten Benefit für die Patientin. Es verbesserten sich die Stabilisierung der Herzfrequenz, des Blutdrucks und der Oximetrieparameter. Zudem zeigte sich eine relevante Reduktion der Angstsymptome.

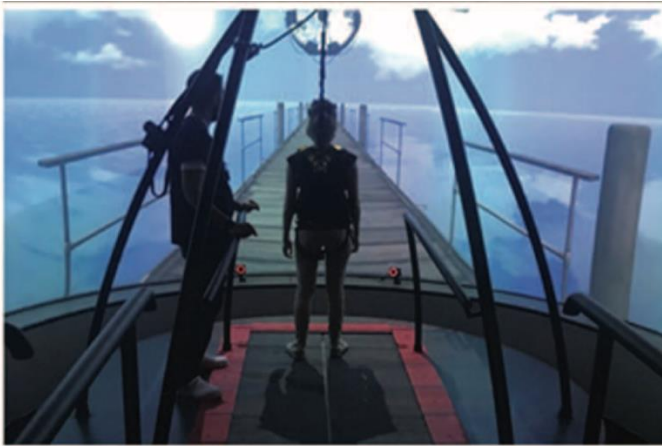


Abbildung 13: Das CAREN-System (Luca et al., 2019)

#### 3.4.4 Imaginative Entspannungsverfahren und mögliche Anwendungsprobleme bei (zentral)neurologischen Patienten

Bei Imagination handelt es sich um einen Vorgang, der innere Bilder entstehen und erleben lässt. Diese Bilder können mit Traumbildern verglichen werden und werden durch produktive Tätigkeit der Phantasie hervorgebracht (Marti, 2013). Dabei werden in Vorstellungsübungen mentale Bilder herbeigeführt, die sensorische, motorische, kognitive und affektive Bestandteile enthalten und entspannende Empfindungen auslösen (Petermann, 2020).

Kindermann, Leve und Reddemann (2014) untersuchten in einer einzelfallorientierten Interventionsstudie 15 Menschen in einem Alter von über 80 Jahren. Dabei wurden imaginative Übungen wie die „Übung des inneren sicheren Ortes“, die „Baumübung“, „Gepäck abgeben“ oder die „Tresorübung“ durchgeführt. Diese Entspannungsübungen haben gemein, dass die Personen dabei für die Zeit der Übung ihren Alltag, die Sorgen oder Störgefühle imaginativ oder symbolisch ablegen und hinter sich lassen. Kindermann et al. (2014) ermittelten mithilfe eines teilstandardisierten Interviews den individuellen Umgang mit der Übung und Effekte auf die Befindlichkeit. Es zeigte sich, dass durch die imaginativen Verfahren ein Zugang zu Gedanken, Gefühlen und Assoziationen möglich wurde, der

stabilisierend auf die Teilnehmer wirkte. Es stellten sich positive Effekte auf das akute Schmerzerleben und eine Verbesserung der emotionalen Befindlichkeit heraus.

Eine wichtige Voraussetzung für diese Art der Entspannung ist die Imaginationsfähigkeit (Kirn, Echelmeyer, & Engberding, 2009). Dabei ist die individuelle Fähigkeit zur Imagination sehr unterschiedlich ausgeprägt (Mattke, Reddemann, & Strauß, 2009). Kirn (2015) sieht Lebhaftigkeit und Kontrollierbarkeit von Imaginationen sowohl als Bedingungen als auch als Verbesserungsparameter der Imaginationsfähigkeit. Mit Lebhaftigkeit ist die Fähigkeit gemeint, „einzelne Details der Imagination vollständig wahrzunehmen, zu beschreiben und voneinander zu unterscheiden“ (Kirn, 2015, S. 154). Die Person erreicht dann eine hohe Lebhaftigkeit, wenn sie eine aktive, partizipierende Rolle in ihrem vorgestellten Bild einnimmt und alle Sinnesmodalitäten und Submodalitäten sowie ihre eigenen Reaktionen und Gedanken mit einbezieht (Kirn, 2015). Mit Kontrollierbarkeit ist die Leichtigkeit gemeint, „mit der spezifisch vorgegebene Inhalte (Form, Farbe, Bewegung, Veränderung) eingeschaltet und gesteuert werden können“ (Kirn, 2015, S. 155). Es ist vor allem die Vorstellungskraft gemeint, mit der die geistigen Bilder erzeugt und aufrechterhalten werden können.

Es ist denkbar, dass Lebhaftigkeit und Kontrollierbarkeit eine große Herausforderung für neurologische Patienten darstellen können und die Imaginationsfähigkeit bei ihnen reduziert ist. Sieht man sich häufige Folgen und Syndrome von neurologischen Erkrankungen an, wird schnell deutlich, dass diese konträr zu einer guten Imaginationsfähigkeit stehen. Dazu zählen unter anderem Störungen von Aufmerksamkeitsfunktionen, Konzentrationsstörungen oder psychomotorische Verlangsamung, dysexekutives Syndrom und andere Frontalhirnsymptome, Gedächtnisstörungen, Neglect, Okzipitalhirnsyndrom und visuell-räumliche Verarbeitungsstörung (Hufschmidt et al., 2017).

Im Zuge dieser Arbeit soll ein Verfahren untersucht werden, welches VR als Unterstützung der Imaginationsfähigkeit nutzen will und betroffenen neurologischen Patienten eine Hilfestellung gibt, die oben vorgestellten positiven Effekte mithilfe von Imaginationsverfahren zu nutzen.

## 3.5 Fragestellungen und Variablenwahl

Die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit liegt darin, herauszufinden, ob eine VR-basierte Entspannungsmethode gegenüber einem Imaginationsverfahren und einer Kontrollbedingung, bezogen auf die ausgewählten Parameter Pulsfrequenz, Hautleitwert, Entspannungsgrad und emotionales Wohlbefinden, einen höheren Grad der Entspannung mit sich bringt.

Weiterhin stehen das körperliche Wohlbefinden, die Akzeptanz des Verfahrens durch die Patienten sowie die Ökonomie des VR-basierten Verfahrens im Fokus.

### 3.5.1 Fragestellungen und Forschungshypothesen

#### 1. **Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Wirksamkeit von VR-basierter Entspannungsreise, präsentiert über ein HMD, zur Wirksamkeit der Kontrollbedingung Mandala?**

*Hypothese 1.1: Bei der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere Reduktion des Hautleitwerts als bei der Kontrollbedingung Mandala.*

*Hypothese 1.2: Bei der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere Reduktion der Pulsfrequenz als bei der Kontrollbedingung Mandala.*

*Hypothese 1.3: Bei der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere subjektive Angabe zur Verbesserung des Entspannungsgrads als bei der Kontrollbedingung Mandala.*

*Hypothese 1.4: Bei der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere subjektive Angabe zur Verbesserung des emotionalen Wohlbefindens als bei der Kontrollbedingung Mandala.*

#### 2. **Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Wirksamkeit von VR-basierter Entspannungsreise, präsentiert über ein HMD, zur Wirksamkeit einer rein akustischen Phantasiereise?**

*Hypothese 2.1: Bei der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere Reduktion des Hautleitwerts als bei der akustischen Phantasiereise.*

*Hypothese 2.2: Bei der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere Reduktion der Pulsfrequenz als bei der akustischen Phantasiereise.*

*Hypothese 2.3: Bei der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere subjektive Angabe zur Verbesserung des Entspannungsgrads als bei der akustischen Phantasiereise.*

*Hypothese 2.4: Bei der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere subjektive Angabe zur Verbesserung des emotionalen Wohlbefindens als bei der akustischen Phantasiereise.*



**3. Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Wirksamkeit der akustischen Phantasiereise zu der Kontrollbedingung Mandala?**

*Hypothese 3.1: Bei der akustischen Phantasiereise zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere Reduktion des Hautleitwerts als bei der Kontrollbedingung Mandala.*

*Hypothese 3.2: Bei der akustischen Phantasiereise zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere Reduktion der Pulsfrequenz als bei der Kontrollbedingung Mandala.*

*Hypothese 3.3: Bei der akustischen Phantasiereise zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere subjektive Angabe zur Verbesserung des Entspannungsgrads als bei der Kontrollbedingung Mandala.*

*Hypothese 3.4: Bei der akustischen Phantasiereise zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine signifikant höhere subjektive Angabe zur Verbesserung des emotionalen Wohlbefindens als bei der Kontrollbedingung Mandala.*

**4. Zeigen sich beim VR-basierten Entspannungsverfahren, präsentiert via HMD, Veränderungen des körperlichen Wohlbefindens?**

*Hypothese 4.1: Nach der VR-basierten Entspannungsmethode zeigt sich keine signifikante Reduktion des körperlichen Wohlbefindens im Vergleich zu den Kontrollbedingungen.*

**5. Würde das VR-basierte Entspannungsverfahren, präsentiert via HMD, im klinischen Alltag genutzt und angenommen werden?**

*Hypothese 5.1: Die subjektive Angabe der Akzeptanz des Verfahrens weist eine signifikante und positive Abweichung von einer Zufallsverteilung auf.*

**6. Ist der Einsatz der VR-basierten Entspannungsmethode, präsentiert via HMD, ökonomisch?**

*Hypothese 6.1: Der Einsatz der VR-basierten Entspannungsmethode ist hinsichtlich der Kriterien für zeitliche Verfahrensökonomie ökonomisch.*

*Hypothese 6.2: Der Einsatz der VR-basierten Entspannungsmethode ist hinsichtlich der Kriterien für finanzielle Verfahrensökonomie ökonomisch.*

*Hypothese 6.3: Der Einsatz der VR-basierten Entspannungsmethode ist hinsichtlich der Verfahrenskriterien für die Einfachheit der Handhabung ökonomisch.*

### 3.5.2 Vorstellung der Variablenwahl

Im Folgenden werden abhängige und unabhängige Variablen vorgestellt, die in der Untersuchung zur Beantwortung der Forschungsfragen herangezogen wurden. Zudem werden zusätzlich erhobene Kontrollvariablen aufgezeigt.

### 3.5.2.1 Prädiktorvariablen

Als unabhängige Variablen werden drei Bedingungen gewählt: Die VR-gestützte Phantasiereise präsentiert via HMD, die rein akustische Phantasiereise über einen Kopfhörer sowie die Kontrollbedingung, in der die Probanden ein Mandala ausmalen.

### 3.5.2.2 Kriteriumsvariablen

Als abhängige Variablen und objektive Maße gelten der Hautleitwert und die Pulsfrequenz der Probanden. Der Körper reagiert auf Stress mit schnellerem Puls, erhöhter Schweißproduktion und damit verbunden einem erhöhten Hautleitwert. Bei Entspannung reagiert er gegenteilig, also mit sinkendem Puls und Hautleitwert (Fahr & Hofer, 2013). Aus diesem Grund werden Puls und Hautleitwert als objektive Maße zur Entspannungsmessung herangezogen. Diese Werte werden über ein Biofeedbackgerät bestimmt. Vor der Intervention wird je eine Minute als Prä-Wert erfasst, während die letzte Minute der Intervention als Post-Wert dient. Als subjektives Maß werden der Entspannungsgrad, das emotionale Wohlbefinden, das körperliche Wohlbefinden und in der VR-Bedingung zusätzlich die Akzeptanz des Verfahrens durch die Probanden jeweils vor und nach der Intervention erhoben. Diese Variablen werden mit spezifisch entwickelten Fragebögen erfasst.

### 3.5.2.3 Kontrollvariablen

Um einen zusätzlichen Einfluss auf die Kriteriumsvariablen zu begrenzen, werden folgende Probandeninformationen erfasst: Alter, Geschlecht und Diagnose der Probanden. Außerdem wird das Vorliegen einer Fehlsichtigkeit erhoben sowie die Erkrankung an Diabetes mellitus.

## 3.6 Material und Methode

Im Folgenden wird die dieser Studie zugrundeliegende Probandenstichprobe vorgestellt, die verwendeten Mess- und Untersuchungsinstrumente sowie die Datenerhebung beschrieben. Anschließend wird das Untersuchungsdesign erläutert und der Testablauf geschildert. Zuletzt werden die zur Analyse der Untersuchungsergebnisse angewandten statistischen Verfahren besprochen.

### 3.6.1 Probanden

Im Zeitraum der Datenerhebung wurden 54 Patienten über das Studienangebot informiert und eingeladen, an der Studie teilzunehmen. Davon lehnten 32 Patienten die Teilnahme ab. 22 Patienten erklärten sich zur Studienteilnahme bereit. Die finale Gesamtstichprobe, aus  $N=20$  Probanden mit 35% weiblichem ( $n=7$ ) und 65% männlichem ( $n=13$ ) Anteil. Das Durchschnittsalter betrug  $M=61,7$  Jahre

( $SD=15,83$ ), die Altersspanne erstreckte sich von 30 bis 85 Jahre. 35% ( $n=7$ ) der Probanden litten an Diabetes mellitus, 85% ( $n=17$ ) waren Brillenträger. Im Durchschnitt zeigten die Probanden beim Mini-Mental-Status-Test (MMST) (Folstein, Folstein, & McHugh, 1990) einen Wert von  $M=28,10$  Punkten ( $SD=2,08$ ), die durchschnittliche Punkteanzahl bei der Geriatrischen Depressions-Skala (GDS) (Yesavage & Sheikh, 1986) betrug  $M=1,55$  ( $SD=1,85$ ). 60% ( $n=12$ ) der Probanden hatten die Diagnose Hirninfarkt, 15% ( $n=3$ ) eine Hirnblutung, 15% ( $n=3$ ) CIP und 10% ( $n=2$ ) ein SHT (vgl. Abbildung 14).

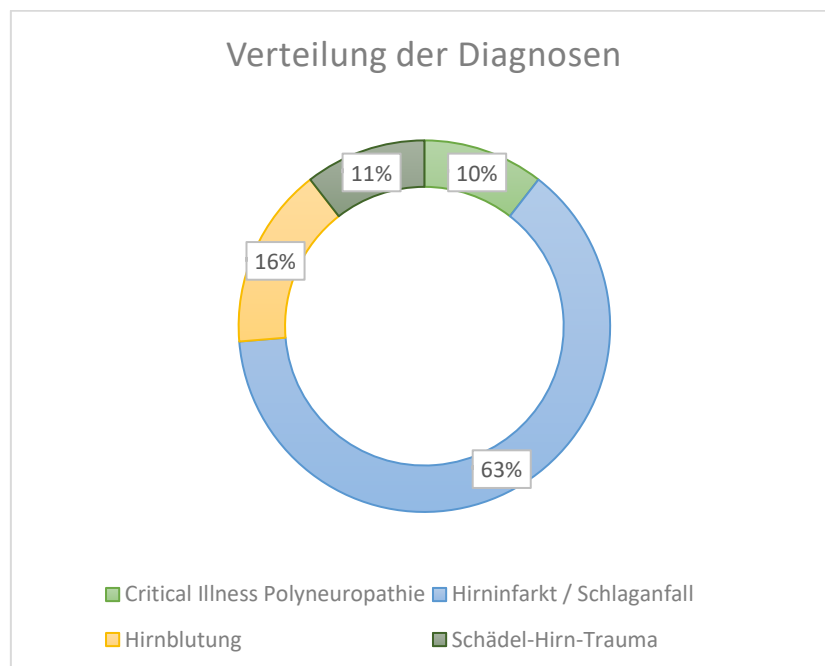


Abbildung 14: Verteilung der Diagnosen der Patienten in Studie 1

Die Durchführung der Studie und die Patientenaufklärung erfolgten in Übereinstimmung mit der 18. Fassung der Deklaration von Helsinki zu ethischen Grundsätzen für die medizinische Forschung am Menschen (World Medical Association, 2020). Die Datenerhebung fand im Zeitraum zwischen dem 15. Mai 2018 bis 05. September 2018 statt. Zur Auswahl der Teilnehmer wurden die Patientendatenbank der Vamed Klinik Kipfenberg nach Passung der beschriebenen Ein- und Ausschlusskriterien (vgl. Tabelle 3) durchsucht. Der Testleiter informierte die Patienten über die Möglichkeit zur Studienteilnahme, indem er diese in ihrem Patientenzimmer besuchte. Bei Interesse erfolgte eine detaillierte Studienaufklärung durch den Testleiter sowie den zuständigen Prüfarzt. Bei einer bestehenden gesetzlichen Betreuung der Patienten wurden die gesetzlichen Betreuer ebenfalls durch den Testleiter und den Prüfarzt aufgeklärt. Der Patient und gegebenenfalls der gesetzliche Betreuer mussten schriftlich zur Studienteilnahme zustimmen. Bei Studienteilnahme wurden die Testtermine in den Behandlungsplan des Patienten eingetragen, sobald eine unterschriebene Studienteilnahmebestätigung vorlag.

Als Einschlusskriterien wurden eine Altersspanne von 18 bis 90 Jahren sowie ausreichende sprachliche, visuelle und kognitive Fähigkeiten definiert. Weiterhin musste eines der zentralneurologischen Krankheitsbilder Hirninfarkt, Hirnblutung, SHT oder CIP vorliegen. Die Krankheitsbilder wurden aus Gründen der Behandlungshäufigkeit in der Vamed Klinik Kipfenberg sowie guter Passung zur Fragestellung der Studie ausgewählt.

Als Ausschlusskriterien wurden Werte über 10 bei der GDS und Werte unter 24 beim MMST festgelegt. Zu geringe kognitive Fähigkeiten und/oder erhöhte depressive Symptome hätten die Aussagekraft der Studienergebnisse beeinflussen können. Der bisherige Krankheitsverlauf der Patienten durfte keine Diagnosen zu Epilepsie und visuellen Symptomen wie Doppelbilder oder eine bestehende Schwindelsymptomatik enthalten. Als Vorsichtsmaßnahme wurde bei diesen Vorerkrankungen auf den Einsatz des HMDs verzichtet. Zudem konnten Patienten mit multiresistenten, isolierungspflichtigen Keimen aus Hygienegründen nicht an der Studie teilnehmen. Tabelle 3 zeigt die Ein- und Ausschlusskriterien im Überblick.

Tabelle 3: Übersicht über Ein- und Ausschlusskriterien für Probanden zur Studienteilnahme

<b>Einschlusskriterien</b>	<b>Ausschlusskriterien</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter zwischen 18 und 90 Jahren</li> <li>• Ausreichend sprachliche, visuelle, kognitive Fähigkeiten</li> <li>• (Zentral) neurologisches Krankheitsbild</li> <li>• schriftliche Einwilligung (des Patienten und ggf. des gesetzlichen Betreuers) sowie Aufklärung durch Prüfarzt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GDS &gt; 10 (keine klinisch relevante Depression)</li> <li>• MMST &lt; 24</li> <li>• Epilepsie, visuelle Symptomatik (Doppelbilder), Schwindel</li> <li>• multiresistente isolierungspflichtige Keime</li> </ul>

### 3.6.2 Mess- und Untersuchungsinstrumente

#### 3.6.2.1 Messinstrumente

Zur Erhebung der subjektiven Daten wurde ein Fragebogen verwendet. Dieser umfasste drei Versionen: Ein Pre-Task-Questionnaire, ein Post-Task-Questionnaire sowie ein Post-Task-Questionnaire, abgestimmt auf die VR-Bedingung (siehe CD im Anhang). Der Fragebogen wurde in Anlehnung an den SiSQ (Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, 1993) formuliert und um Items zur Messung von

subjektiver Entspannung erweitert und entsprechend der Fragestellung angepasst. Es wurden die fünf Unterpunkte: Entspannungsgrad (A), Emotionales Wohlbefinden (B), Körperliches Wohlbefinden (C), Zusatzitems VR-Brille (D) und Annahme/Akzeptanz VR-Brille abgefragt. Der Fragebogen umfasste je nach Version 11 bzw. 15 Items (VR-Bedingung). Die Fragen wurden auf einer fünfstufigen bipolaren Ratingskala (-2, -1, 0, 1, 2) beantwortet mit der Stufung starke Ablehnung, Ablehnung, neutral, Zustimmung, starke Zustimmung. Die Bedeutung wurde je nach Frage angepasst (genaue Formulierungen siehe Fragebögen im Anhang). Die Skala wurde in Form von Smileys mit unterschiedlicher Lachausprägung ohne Beschriftung vorgelegt (vgl. Abbildung 15). Die Bedeutung der Smileys wurde angepasst an das jeweilige Item erklärt. Der Fragebogen wurde in Form eines standardisierten Interviews durchgeführt.



Abbildung 15: Fünfstufige Smiley-Skala zur Beantwortung der Fragebogenitems

Zur Erhebung der objektiven Daten wurden Teilmodule des Biofeedbackgerätes 2000<sup>x-pert</sup> System von Schuhfried eingesetzt. Dabei wurden sämtliche physiologische Parameter nichtinvasiv an der Hautoberfläche der Finger mittels der entsprechenden Sensoren gemessen (Abbildung 16).

Der Hautleitwert (engl. SCL, Skin Conductance Level) bzw. das tonische Niveau der Hautleitfähigkeit wurde mittels Elektroden des Typs 2670-5 vom Hersteller 3M Red Dot gemessen. In einem Fingerklettband integrierte Goldelektroden (EDA-Sensor) nahmen den Hautleitwert von einem beliebigen Finger ab. Die Messung erfolgte mittels Strom-Spannungsmessungen. Ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 20 Hz (Amplitude von +- 1,42 V) wurde an die Haut angelegt. Der Hautleitwert ermittelte sich über die Auswertung des über die Haut fließenden Stroms. Der Messbereich reichte von 0 bis 50  $\mu$ S, mit einer Auflösung von 0,001 $\mu$ S (=1 nS). Die Richtwerte für den SCL-Parameter waren ein maximaler Bereich von 0 bis 50  $\mu$ S sowie häufigste Werte von 1 bis 10  $\mu$ S.



Abbildung 16: Anlegen der Sensoren an die Hand (eigene Darstellung)

Zur Messung der Pulsfrequenz wurde ein Fingerpulssensor (Reflexsensor), bestehend aus einer Infrarotlichtquelle sowie einem Infrarotempfänger, verwendet. Die Pulsfrequenz wurde aus dem BVP-Parameter (Blutvolumenpulssparameter) in Form der Herzschlaganzahl pro Minute (bpm) abgeleitet. Durch die Durchblutungsänderung verändert sich die Helligkeit des durchgelassenen Lichtes. Die herausgefilterten Schwankungen wurden verstärkt und als BVP-Parameter dargestellt (relative Änderung der Durchblutung). Zum Störungsausgleich wurde der BVP-Parameter durch Mittelwertbildung geglättet. Der Parameter Pulsfrequenz wurde über die Periodendauer der BVP-Kurve definiert und zeigte die Herzfrequenz an. Der Messbereich umfasste 30 bis 200 bpm mit einer Anzeigenauflösung von 1 bpm (Schuhfried, 2011). Ein normaler Ruhepuls liegt bei Erwachsenen zwischen 60 und 85 bpm (Crocchi, 2019). Via Bluetooth werden die Daten an einen mobilen PC weitergeleitet und dort von der Biofeedback 2000x-pert -Software aufbereitet und graphisch dargestellt. Durch kurze Anschlusskabel wurde der Patient während der Messung kaum eingeschränkt (Schuhfried, 2011). Die aufgezeichneten Parameter Hautleitwert und Pulsfrequenz wurden in Form von Mittelwerten, Minimal- und Maximalwerten sowie dem Bestimmtheitsmaß  $r^2$  notiert. Zur Auswertung wurde je eine Kontrollminute vor Interventionsstart (Baseline) sowie die letzte Aufzeichnungsminute während der Intervention herangezogen.

Die Feststellung der Ökonomie des Verfahrens erfolgte anhand der Definition von zeitlicher und finanzieller Ökonomie sowie der Einfachheit der Handhabung. Folgende Definitionen werden zur Hypothesenprüfung herangezogen: Das Verfahren ist hinsichtlich des finanziellen Aufwands durch Testmaterialien einschließlich Lizenzgebühren, Hardware und Software ökonomisch. Das Verfahren ist hinsichtlich der zeitlichen Ressourcen für Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung ökonomisch (Moosbrugger & Kelava, 2012). Das Verfahren ist in kurzer Zeit und mit wenig Aufwand erlernbar und durchführbar (Lienert & Raatz, 1998).

### 3.6.2.2 Untersuchungsinstrumente

Als HMD für die VR-basierte Entspannungsmethode wurde die HTC Vive eingesetzt. Zur Messung der räumlichen Position des HMDs wurden zwei HTC Vive Basisstationen genutzt, welche mittels der *lighthouse-tracking* Technologie von Valve die Position bestimmen. Dabei werden Infrarotlaser der Klasse 1 von den Basisstationen ausgesendet, welche von Photosensoren des HMD-headsets erfasst werden. Die zeitliche Differenz zwischen dem Auftreten der Laser auf den Photosensoren dient dem PC als Grundlage für die Berechnung der exakten Position des HMD-Headsets im Raum („Welcome to Steamworks,“ 2020) .

Das 360-Grad-Waldvideo wurde mithilfe der 360-Grad-Kamera RICOH THETA S in einem Wald in Kipfenberg (Bayern) aufgezeichnet. Es wurde anschließend mit der Software Final Cut Pro bearbeitet und auf die Laufzeit der akustischen Phantasiereise angepasst. Der Screenshot in Abbildung 17 zeigt das 360-Grad-Video. Die Darstellung ist aufgezerrt auf ein rechteckiges Format. Auf dem HMD wird das Video ohne Verzerrung als den Betrachter vollständig umhüllende Sphäre dargestellt, wie in Abbildung 18 angedeutet.

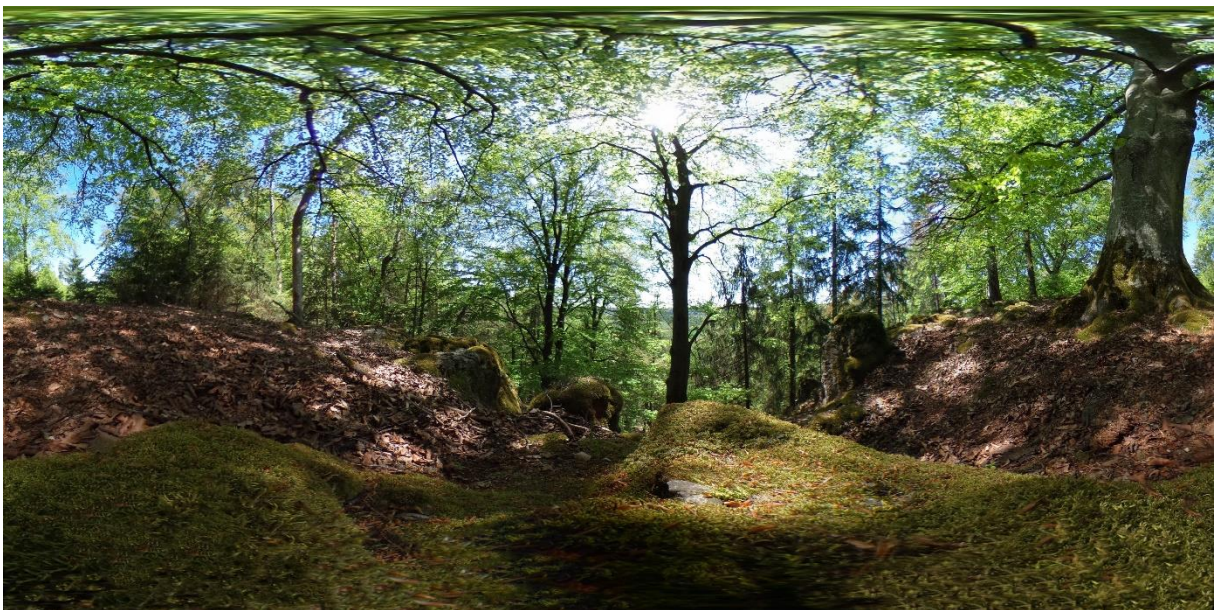


Abbildung 17: Screenshot des 360-Grad-Videos der Entspannung im Wald

Die Phantasiereise wurde vom Verfasser dieser Arbeit eingesprochen und hat eine Dauer von 6:21 Minuten (siehe Anhang). Die akustische Phantasiereise und das 360-Grad-Waldvideo sind aufeinander abgestimmt, sodass diese gemeinsam eingespielt werden konnten.



Abbildung 18: Patient in Skizze führt die 360-Grad-VR-Entspannung durch

Die Bilder für die Kontrollbedingung Mandala waren frei zugänglich (Google Bildersuche: Mandala) und patientengerecht mit großen Freiflächen zum Ausmalen. Das Bild erstreckte sich über eine halbe DIN A4-Seite (siehe Anhang).

### 3.6.3 Untersuchungsdesign

Die Testung erfolgte an drei möglichst aufeinanderfolgenden Tagen, mit maximal 48 Stunden zwischen den Testterminen. Die Uhrzeit war an jedem Testtag mit maximaler Verschiebung von 2 Stunden gleich. Je nach Bedingung dauerte eine Testung circa 25 bis 30 Minuten. Die Testung fand in einem Therapieraum der Vamed Klinik Kipfenberg statt. Dieser war mit einem Tisch, Stühlen sowie einem PC und einem Laptop ausgestattet. Bereit lagen relevante Testunterlagen und Schreibmaterialien, auf dem PC war die Software für das Biofeedbackgerät installiert. Auf dem Laptop war die akustische Phantasiereise als MP3-Datei gespeichert, außerdem war das Programm SteamVR installiert. Die HTC Vive Basisstationen für das HMD war links vor und rechts hinter der Sitzmöglichkeit für den Patienten angebracht.

Die Probanden wurden einer der drei Bedingungen VR-basierte Entspannungsmethode, akustische Phantasiereise oder Kontrollbedingung Mandala zufällig über die Ziehung aus einem Lostopf zugewiesen (vgl. Abbildung 19).



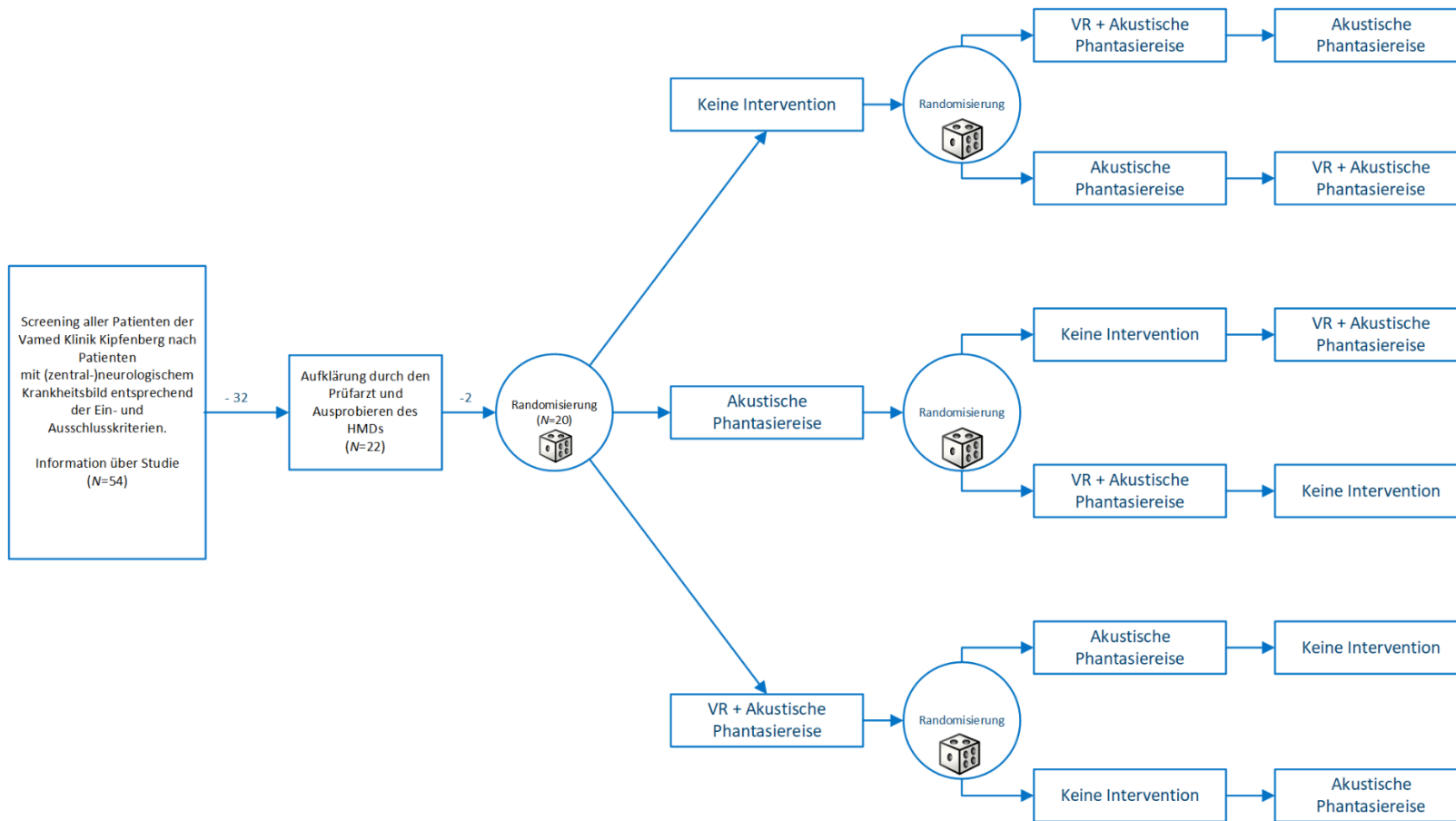


Abbildung 19: Aufnahmeablaufschema nach CONSORT-Kriterien

### 3.6.4 Testablauf

Im Folgenden wird der genaue Testablauf dargestellt. Um eine möglichst hohe Durchführungsobjektivität zu gewährleisten, wurde ein detailliertes Instruktionshft für den Testleiter erstellt (siehe Anhang).

Vor der Testung legt der Versuchsleiter alle relevanten Instrumente und Unterlagen im Testraum bereit: Biofeedbackgerät, HMD mit passender Hygieneeinlage, mobiler PC, Laptop, Datenbogen, Vortests MMST und GDS, Fragebögen, Mandala, Desinfektionstücher, Lostopf, Stifte. Der Proband wird aus seinem Patientenzimmer abgeholt und zum Untersuchungsraum gebracht. Zu Beginn setzt er sich in der für das HMD eingestellten markierten Fläche auf einen Stuhl bzw. platziert sich dort mit seinem Rollstuhl. Vor dem Probanden befindet sich ein Tisch, auf dem er seine Hände und Arme ablegen kann. Der Proband wird darauf hingewiesen, dass die Untersuchung jederzeit ohne Angabe von Gründen unterbrochen werden kann. Dazu wird für den Zeitraum, in dem das HMD verwendet wird, ein Zeichen vereinbart, wie das Anheben einer Hand. Dem Probanden wird eine fortlaufende Versuchspersonennummer zugeordnet und auf dem Datenbogen notiert. Anschließend wird die GDS sowie der MMST durchgeführt. Es erfolgt eine Überprüfung des Sehens, indem der Patient ein auf dem HMD dargestelltes Bild beschreiben soll. Bei ausreichenden Ergebnissen wird im Anschluss der Pre-Task-Questionnaire durchgeführt. Dazu positioniert der Testleiter die auf DIN A4 gedruckte und laminierte Smiley-Skala vor dem Patienten auf dem Tisch. Er erklärt diesem ausführlich und anhand eines passenden Beispiels die Bedeutung der Kategorien und stellt die im Fragebogen aufgeführten Fragen. Die Fragen werden möglichst immer gleich formuliert, die Reihenfolge wird eingehalten. Die Antworten der Probanden werden auf dem Fragebogenblatt notiert. Der Patient wird dann an das Biofeedbackgerät angeschlossen. Der Versuchsleiter erklärt dem Patienten durch handlungsbegleitendes Sprechen den Vorgang und die Art der erhobenen Maße. Das Biofeedbackprogramm wird am mobilen PC gestartet und eine einminütige Aufzeichnung von Pulsfrequenz und Hautleitwert als Prä-Messung aufgezeichnet. Währenddessen wird nicht gesprochen, der Proband wird dafür um Verständnis gebeten. Dann wird aus dem Lostopf ein Los gezogen und mit der erstgenannten Bedingung fortgefahren.

**VR-basiertes Entspannungsverfahren:** Dem Probanden wird das HMD mit Einweg-Kopfhörer aufgesetzt (vgl. Abbildung 20). Er erhält den Hinweis, dass eine Kopfbewegung in alle Richtungen möglich ist, um sich im virtuellen Raum umzusehen. Nochmals wird darauf hingewiesen, dass die Testung jederzeit abgebrochen werden kann und das vereinbarte Zeichen wiederholt. Dann wird das Programm SteamVR gestartet und das 360-Grad-Wald-Video, begleitet durch die akustische Phantasiereise, abgespielt. Nach Ende des Entspannungsverfahrens wird die Biofeedbackaufzeichnung gestoppt, die Nummer der Aufzeichnung auf dem Patientendatenbogen notiert und dem Patienten das HMD sowie der Kopfhörer abgenommen. Der Patient wird nach ersten Eindrücken und dem Wohlergehen gefragt.

Anschließend wird die VR-Version des Post-Task-Questionnaires durchgeführt. Wieder wird dem Patient die Skala vorgelegt, nochmals die Bedeutungen der Kategorien erklärt und die Fragen in Form eines standardisierten Interviews gestellt. Der Patient wird verabschiedet. Dann wird die zu Beginn aufgezeichnete Kontrollminute sowie die letzte Minute während der VR-basierten Entspannungsreise aus den Biofeedbackaufzeichnungen ausgeschnitten. Maximal- und Minimalwerte, Mittelwerte sowie das Bestimmtheitsmaß werden im Datenbogen notiert.



Abbildung 20: Proband vor der Durchführung des VR-basierten Entspannungsverfahrens, HMD und Einwegkopfhörer wurden aufgesetzt

**Akustische Phantasiereise:** Dem Probanden werden Einweg-Kopfhörer aufgesetzt. Der Proband erhält den Hinweis, dass die Augen während der Übung offengelassen oder geschlossen werden können, je nach Präferenz. Dann wird die MP3-Datei auf dem Laptop gestartet und die akustische Phantasiereise abgespielt. Nach Ende des Entspannungsverfahrens wird die Biofeedbackaufzeichnung gestoppt, die Nummer der Aufzeichnung auf dem Patientendatenbogen notiert und dem Patienten der Kopfhörer abgenommen. Der Patient wird nach ersten Eindrücken und dem Wohlbefinden gefragt. Anschließend wird die entsprechende Version des Post-Task-Questionnaires durchgeführt. Wieder wird dem Patienten die Skala vorgelegt und nochmals die Bedeutungen der Kategorien erklärt. Zudem werden die Fragen in Form eines standardisierten Interviews vorgelesen. Der Patient wird verabschiedet. Dann wird die zu Beginn aufgezeichnete Kontrollminute sowie die letzte Minute während der akustischen Phantasiereise aus den Biofeedbackaufzeichnungen ausgeschnitten. Maximal- und Minimalwerte, Mittelwerte sowie das Bestimmtheitsmaß werden im Datenbogen notiert.

**Kontrollbedingung:** Dem Probanden werden eine Mandalazeichnung sowie Buntstifte in einer Box vorgelegt. Er erhält die Instruktion, 6 Minuten lang die Zeichnung auszumalen und dabei möglichst nicht zu sprechen. Nach Ende dieser Zeit wird die Biofeedbackaufzeichnung gestoppt und die Nummer der Aufzeichnung auf dem Patientendatenbogen notiert. Der Patient wird nach dem Wohlergehen gefragt. Anschließend wird die entsprechende Version des Post-Task-Questionnaires durchgeführt. Wieder wird dem Patienten die Skala vorgelegt, nochmals die Bedeutungen der Kategorien erklärt und die

Fragen in Form eines standardisierten Interviews vorgelesen. Der Patient wird verabschiedet. Dann wird die zu Beginn aufgezeichnete Kontrollminute sowie die letzte Minute während der Kontrollbedingung aus den Biofeedbackaufzeichnungen ausgeschnitten. Maximal- und Minimalwerte, Mittelwerte sowie das Bestimmtheitsmaß werden im Datenbogen notiert.

Nach Beendigung der jeweiligen Bedingung werden die Unterlagen des Patienten mit einer Heftklammer zusammengefasst und in dem Studienordner „Testdaten“ aufbewahrt. Je nach Bedingung wird die Hygieneeinlage der Videobrille entfernt und alle Testinstrumente werden mit einem Desinfektionstuch gesäubert. Der Versuchsleiter bedankt sich beim Probanden und bringt diesen zurück auf sein Zimmer. Dort verabschiedet er diesen und informiert je nach Testtermin über die nächste Testung.

### 3.6.5 Statistische Analysen

Als statistische Verfahren werden zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) mit den Faktoren Entspannungsmethode (dreifach gestuft) und Zeit (zweifach gestuft) durchgeführt. Als Testvoraussetzungen für die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung gelten normalverteilte Daten, Varianzsphärizität der abhängigen Variable und Kardinalskalenniveau (Brosius, 2018). Die ANOVA mit Messwiederholung zeigt sich gegenüber Verletzungen der Normalverteilungsannahme relativ robust (Wilcox, 2012), weshalb diese Voraussetzung missachtet wird. Varianzsphärizität wird mit dem Mauchly-Test überprüft. Bei einem signifikanten Ergebnis des Mauchly-Tests sowie einem Epsilon nach Greenhouse-Geisser  $<.75$  wird in der Varianzanalyse die Korrektur nach Greenhouse-Geisser verwendet. Mit einem Epsilon nach Greenhouse-Geisser  $>.75$  wird die Korrektur nach Huynh-Feldt verwendet. Der Faktor Zeit ist zweifach gestuft, weshalb Sphärizität gegeben ist (Hemmerich, 2020). Die Parameter Pulsfrequenz und Hautleitwert weisen Kardinalskalenniveau auf. Bei den Parametern Entspannungsgrad, Emotionales Wohlbefinden und Körperliches Wohlbefinden wird trotz Ordinalskalenniveau eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Gegebenenfalls werden bei einem signifikanten Ergebnis die nicht parametrischen Wilcoxon-Tests und Friedman-Tests angeschlossen. Da eine Stichprobe  $n \leq 20$  vorliegt, wird die exakte Methode des Wilcoxon-Tests verwendet. Als Effektstärke wird Cohens  $d$  angegeben. Weiterhin werden Chi-Quadrat-Anpassungstests nach Pearson zur Überprüfung der Abweichung von einer Zufallsverteilung durchgeführt.

## 3.7 Ergebnisse

In den nachfolgenden Kapiteln werden deskriptive Befunde sowie die Ergebnisse der hypothesenprüfenden Auswertung beschrieben. KM steht jeweils für die Kontrollbedingung Mandala, A“ für die Bedingung der akustischen Phantasiereise sowie VR für die VR-basierte Bedingung. Weiterhin steht das Kürzel SCL für den Hautleitwert, Puls für Pulsfrequenz, BL für Baseline, also den Wert der Prä-Messung sowie Post für den Wert der Post-Messung.

### 3.7.1 Deskriptive Befunde

Im Zuge der Stichprobengewinnung wurden 54 Patienten über das Studienangebot informiert, 22 Patienten (40,7%) erklärten sich zur Studienteilnahme bereit, 34 Patienten (63,0 %) erklärten sich nicht bereit. Insgesamt konnten Daten von 20 Versuchspersonen (37%) vollständig erhoben werden. Dem folgenden Kreisdiagramm (vgl. Abbildung 21) kann entnommen werden, welche Gründe bestanden, nicht an der Studie teilzunehmen. 17,0% der Patienten konnten demnach nicht an der Studie teilnehmen, da die lange Aufklärungszeit eine Testung erst nach deren Entlassung möglich gemacht hätte. Weitere 17,0% gaben an, keine Lust an einer Studienteilnahme zu haben. Je 15,0% der Patienten gaben keine Gründe an oder verneinten eine Teilnahme aus Zeitgründen. Je 12,0% der befragten Patienten lehnten die Studienteilnahme aus Angstgründen bzw. einem subjektiv als zu schlecht empfundenen Gesundheitszustand, der eine Teilnahme unmöglich mache, ab. Je weitere 6,0% sahen keinen Nutzen für sich oder nahmen an der Studie teil, brachen diese jedoch während dem ersten Kontakt mit dem HMD ab. Als Gründe für den Abbruch zeigten sich Unbehagen bei der Verwendung des HMDs, wie ein zu schweres Gewicht der Brille und Unwohlsein aufgrund der virtuellen Realität bzw. der Abgeschnittenheit von der realen Welt.

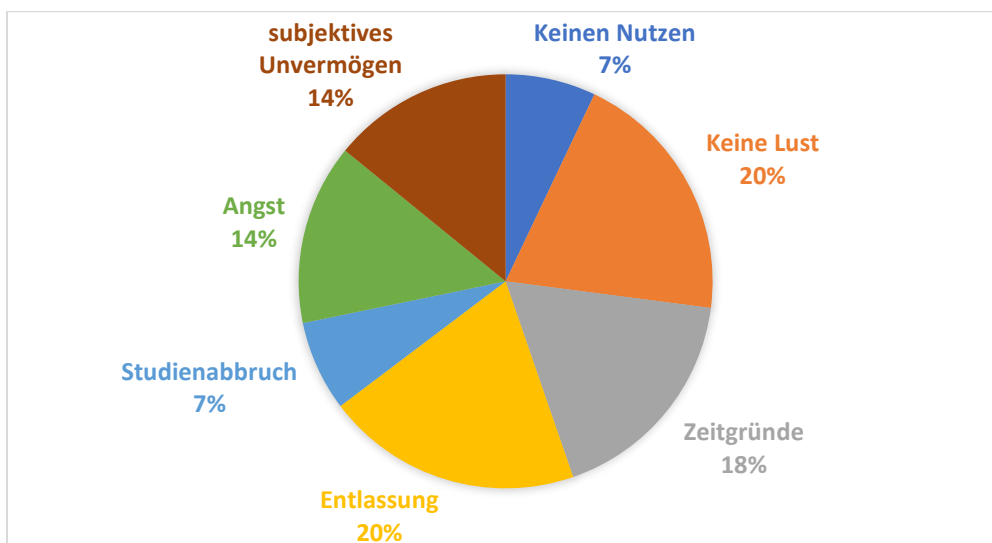


Abbildung 21: Gründe für die Nichtteilnahme an Studie 1 oder Abbruch

Im Folgenden sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Parameter Hautleitwert, Pulsfrequenz, Entspannungsgrad (Item 1), Emotionales Wohlbefinden (Item 2-4), Körperliches Wohlbefinden (Item 5-11/14) sowie Akzeptanz (Item 15) dargestellt (genauere Angaben zu Minimal- und Maximalwerten sowie eine Übersicht der Mittelwerte und Standardabweichungen finden sich im Anhang). Andeutungen von möglichen Erhöhungen oder Senkungen der Parameter werden im anschließenden Kapitel zur hypothesenprüfenden Auswertung auf Signifikanz geprüft (vgl. Kapitel 6.2).

Für den Hautleitwert ergibt sich ein Mittelwert von  $M=1.71$  ( $SD=3.13$ ) in der Kontrollbedingung für die Prämessung sowie ein Mittelwert von  $M=1.51$  ( $SD=1.76$ ) für die Postmessung und damit postinterventiv ein geringerer Mittelwert des Hautleitwerts. In der Bedingung der akustischen Phantasie zeigt sich für die Prämessung ein Mittelwert von  $M=1.02$  ( $SD=1.05$ ) sowie ein Mittelwert von  $M=1.66$  ( $SD=2.01$ ) für die Postmessung, was eine mögliche Erhöhung andeutet. In der VR-basierten Bedingung zeigt sich ein Mittelwert von  $M=2.02$  ( $SD=5.41$ ) für die Prämessung sowie ein Mittelwert von  $M=2.92$  ( $SD=8.81$ ) für die Postmessung des Hautleitwerts, was ebenso eine Erhöhung andeutet (vgl. Abbildung 22)

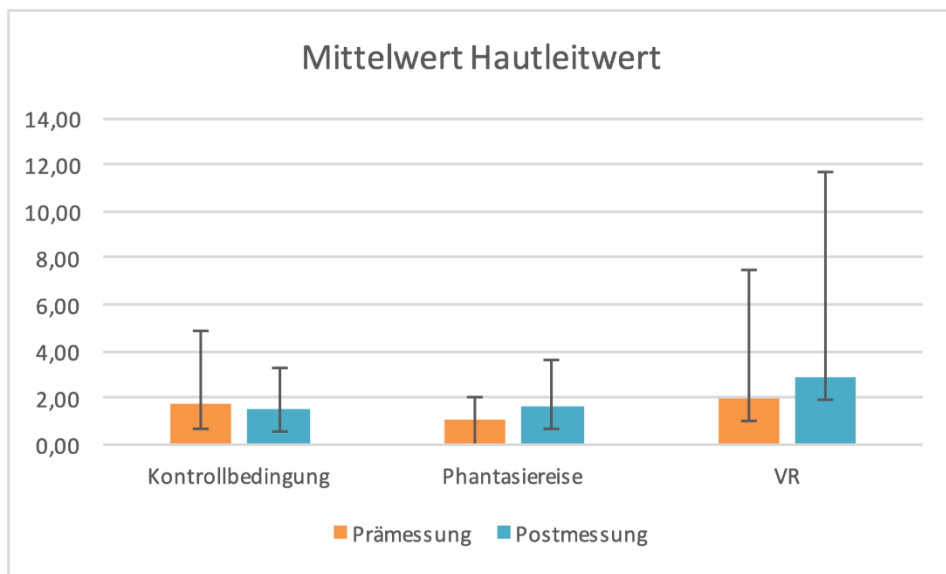


Abbildung 22: Mittelwerte des Hautleitwerts in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung

Bei der Pulsfrequenz zeigt sich in der Kontrollbedingung ein Mittelwert von  $M=70.25$  ( $SD=15.90$ ) in der Prämessung sowie ein Mittelwert von  $M=70.90$  ( $SD=11.16$ ) in der Postmessung, was eine mögliche Erhöhung der Pulsfrequenz andeutet. In der Bedingung der akustischen Phantasie ergibt sich in der Prämessung ein Mittelwert von  $M=67.05$  ( $SD=12.85$ ) sowie ein Mittelwert von  $M=68.10$  ( $SD=13.77$ ) in der Postmessung und damit die Andeutung einer möglichen Erhöhung der Pulsfrequenz. Für die VR-basierte Bedingung zeigt sich ein Mittelwert von  $M=70.45$  ( $SD=15.28$ ) für die Prämessung sowie ein

Mittelwert von  $M=69.65$  ( $SD=14.00$ ) für die Postmessung, es deutet sich eine mögliche Senkung der Pulsfrequenz an (vgl. Abbildung 23).

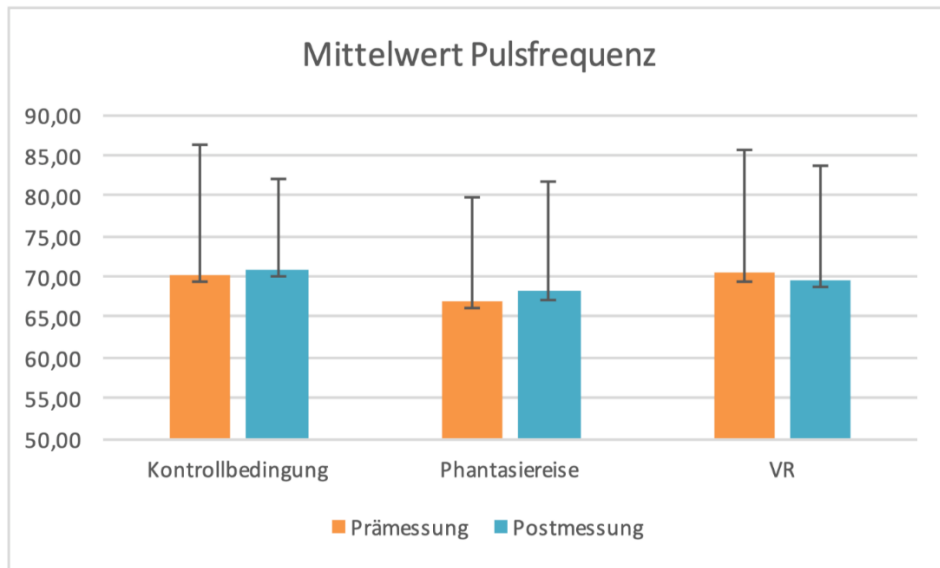


Abbildung 23: Mittelwerte der Pulsfrequenz in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung

Für den Entspannungsgrad ergibt sich in der Prämessung der Kontrollbedingung ein Mittelwert von  $M=0.80$  ( $SD=1.06$ ) sowie ein Mittelwert von  $M=1.05$  ( $SD=1.10$ ) in der Postmessung, damit lässt sich auf eine mögliche Erhöhung des Entspannungsgrads schließen. In der Bedingung der akustischen Phantasiereise zeigt sich ein Mittelwert von  $M=0.70$  ( $SD=0.98$ ) in der Prämessung sowie ein Mittelwert von  $M=1.10$  ( $SD=1.12$ ) in der Postmessung, was auf eine mögliche Erhöhung des Mittelwerts des Entspannungsgrads schließen lässt. In der VR-basierten Bedingung wird ein Mittelwert von  $M=0.55$  ( $SD=1.15$ ) in der Prämessung festgestellt sowie ein Mittelwert von  $M=1.65$  ( $SD=0.59$ ) in der Postmessung und damit ebenso eine Erhöhung (vgl. Abbildung 24).

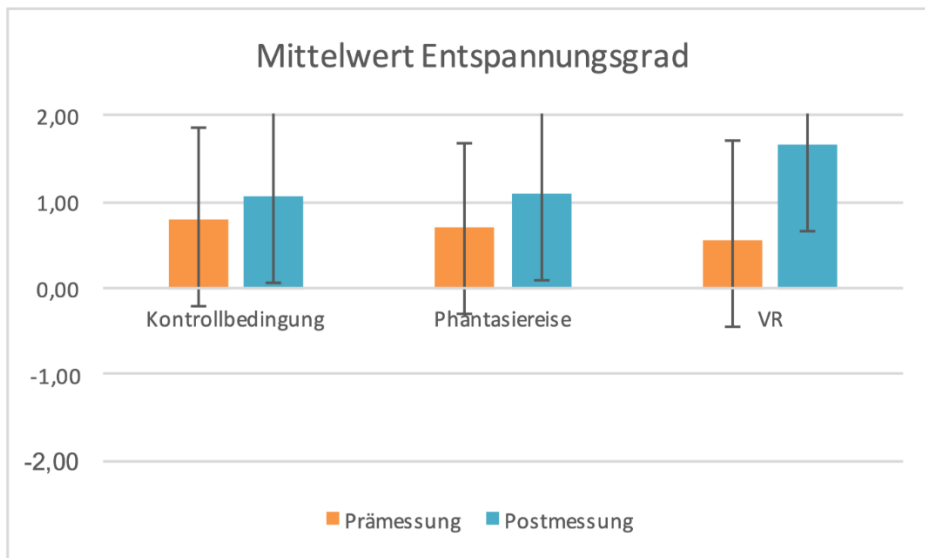


Abbildung 24: Mittelwerte des Entspannungsgrads in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung (Angabe auf der fünfstufigen Skala: -2=sehr unentspannt; 2=sehr entspannt)

Bei den Items zum Körperlichen Wohlbefinden zeigen sich gleichbleibende Mittelwerte von  $M=1.96$  ( $SD=0.13$ ) der Prä- und Postmessung für die Kontrollbedingung. In der Bedingung der akustischen Phantasiereise mit einem Mittelwert von  $M=1.96$  ( $SD=0.10$ ) in der Prämessung und einem Mittelwert von  $M=1.99$  ( $SD=0.04$ ) in der Postmessung sowie in der VR-basierten Bedingung mit einem Mittelwert von  $M=1.94$  ( $SD=0.26$ ) in der Prämessung und einem Mittelwert von  $M=1.95$  ( $SD=0.14$ ) in der Postmessung deuten sich mögliche Erhöhungen des Körperlichen Wohlbefindens an. Diese ist in der Bedingung der akustischen Phantasiereise geringer ausgeprägt als in der VR-basierten Bedingung (vgl. Abbildung 25).

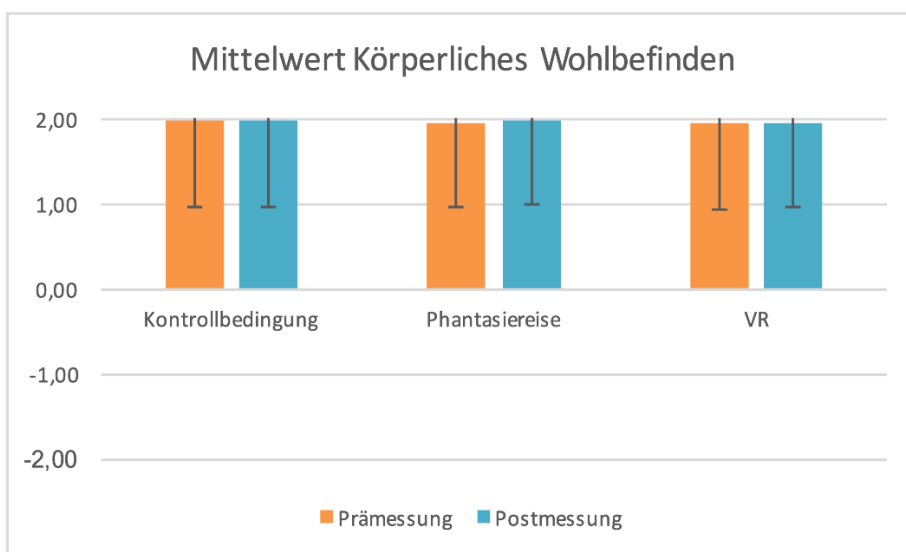


Abbildung 25: Mittelwerte des Körperlichen Wohlbefindens in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung



Bezüglich des Emotionalen Wohlbefindens werden durchwegs mögliche Erhöhungen des Mittelwerts im Prä-Post-Vergleich angedeutet: In der Kontrollbedingung zeigt sich ein Mittelwert von  $M=0.93$  ( $SD=0.98$ ) in der Prämessung sowie ein Mittelwert von  $M=1.18$  ( $SD=0.96$ ) in der Postmessung, in der Bedingung der akustischen Phantasiereise ein Mittelwert von  $M=0.75$  ( $SD=1.17$ ) in der Prämessung und ein Mittelwert von  $M=1.10$  ( $SD=0.95$ ) in der Postmessung sowie für die VR-basierte Bedingung ein Mittelwert von  $M=0.68$  ( $SD=1.05$ ) in der Prämessung und ein Mittelwert von  $M=1.37$  ( $SD=0.75$ ) in der Postmessung (vgl. Abbildung 26).

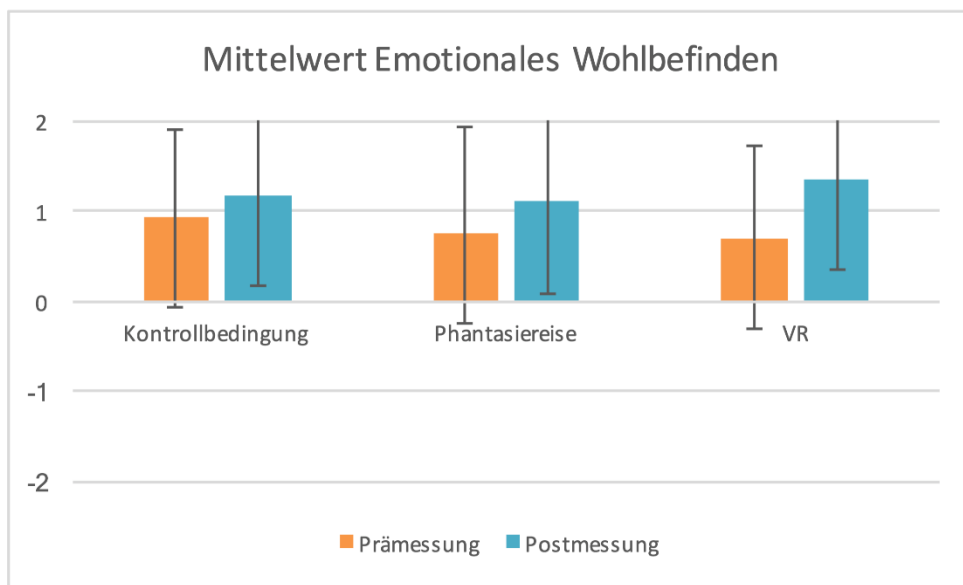


Abbildung 26: Mittelwerte des Emotionalen Wohlbefindens in den drei Untersuchungsbedingungen vor und nach der Durchführung

Für die Zusatzitems (Item 12, 13, 14) zu Nebenwirkungen in der VR-Bedingung ergibt sich ein Mittelwert von  $M=2.00$  ( $SD=.00$ ). Bezüglich der Akzeptanz des Verfahrens ergibt sich ein Mittelwert von  $M=0.90$  ( $SD=1.17$ ) (vgl. Abbildung 27).

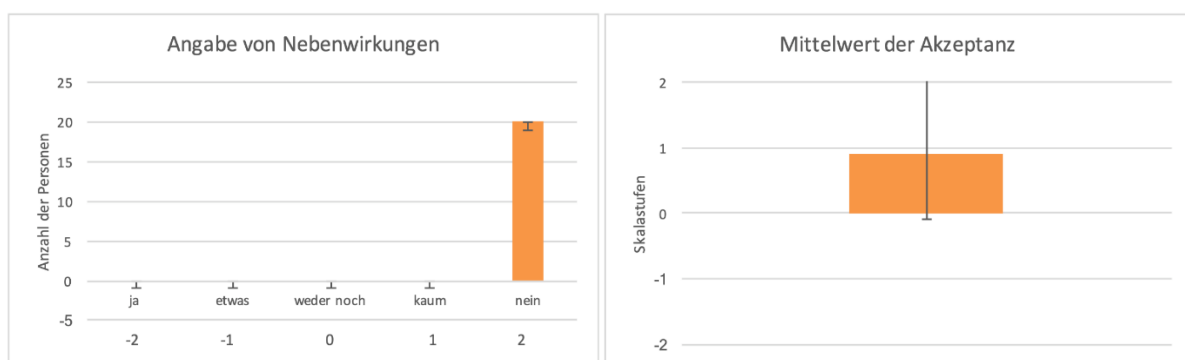


Abbildung 27: Angabe von Nebenwirkungen in den Zusatzitems der VR-Bedingung (links); Angabe zur Akzeptanz des Verfahrens auf der fünfstufigen Skala (rechts)(Angabe auf der fünfstufigen Skala: -2=starke Ablehnung des Verfahrens; 2=starke Akzeptanz des Verfahrens)

### 3.7.2 Hypothesenprüfende Auswertung

Im Folgenden wird die hypothesenprüfende Auswertung aufgeführt. Die Ergebnisse zu der jeweiligen Hypothese werden im Kapitel der betreffenden abhängigen Variable dargelegt.

**Hautleitwert:** Zur Überprüfung des Effekts der Faktoren Entspannungsmethode und Zeit sowie deren Interaktion auf die abhängige Variable Hautleitwert wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die Berechnung dient der Beantwortung der n 1.1, 2.1 sowie 3.1.

Der Mauchly-Test auf Sphärizität (vgl. Tabelle 4) wird für die Interaktion von Zeit und Entspannungsverfahren signifikant mit einem Epsilon nach Greenhouse-Geisser  $<.75$ , weshalb für die Interaktion die Korrekturberechnung nach Greenhouse-Geisser verwendet wird.

Tabelle 4: Mauchly-Test auf Sphärizität der abhängigen Variable Hautleitwert

Intersubjekteffekte	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig	Greenhouse-Geisser	Hunyh Feldt
Entspannungsverfahren	.22	27.54	2	.00**	.56	.57
Entspannungsverfahren*Zeit	.20	29.31	2	.00**	.55	.56

Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .01$

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung (vgl. Tabelle 5) zeigt, dass sich der Hautleitwert zwischen den Entspannungsbedingungen nicht signifikant unterscheidet ( $F(1,12;21,31)=.56$ ,  $p=.48$ , partielles  $\eta^2=.03$ ), jedoch unterscheidet sich dieser signifikant vor und nach den Interventionen ( $F(1,19)=10.01$ ,  $p=.01$ ,  $\eta^2=.35$ ). Die Effektstärke  $f$  nach Cohen liegt bei .73 und entspricht einem starken Effekt. Zwischen den drei Entspannungsbedingungen unterscheidet sich die Veränderung des Hautleitwerts über die Zeit nicht signifikant ( $F(1,11;21,07)=.62$ ,  $p=.46$ ,  $\eta^2=.03$ ). Abbildung 28 stellt diese Ergebnisse grafisch dar. Es ist weiterhin zu erkennen, dass der Hautleitwert in der Kontrollbedingung im Zeitverlauf sinkt, während er in der akustischen und in der VR-Bedingung von Prä- zu Postmessung steigt.

Tabelle 5: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung des Hautleitwerts

Hautleitwert	df	F	Sig	Partielles $\eta^2$
Entspannungsverfahren	2	0.56	0.58	0.03
Zeit	1	10.01	0.01**	0.35
Entspannungsverfahren*Zeit	1.11	0.62	0.46	0.03

Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .01$

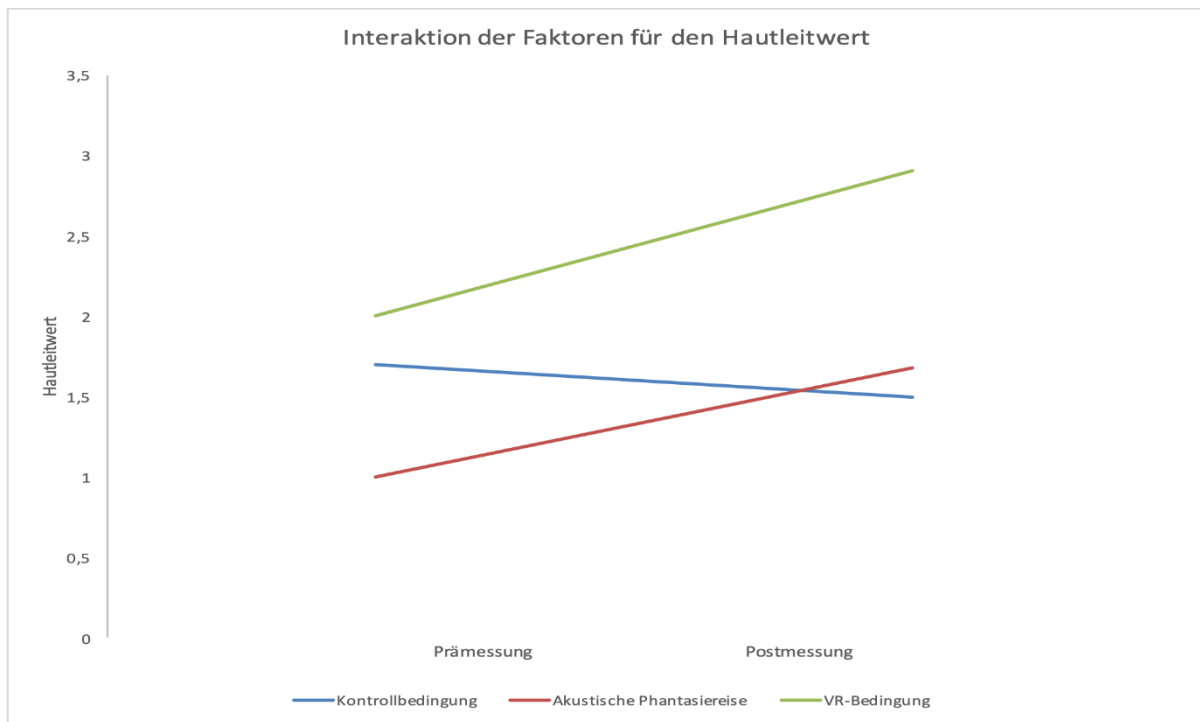


Abbildung 28: Interaktion der Faktoren Entspannungsverfahren und Zeit für den Hautleitwert

Da der Faktor Zeit in der Varianzanalyse signifikant wird, wird mit dem exakten Wilcoxon-Test nachgeprüft. Auch dieser zeigt für alle drei Bedingungen, dass sich der Hautleitwert über die Zeit signifikant verändert. Nach der Kontrollbedingung zeigt sich ein signifikant niedrigerer Hautleitwert (Median=.57,  $z=-2,09$ ,  $p=.02$ ,  $r=-0.47$ ) als zuvor (Median=.73), nach der Bedingung der akustischen Phantasiereise ein signifikant höherer Hautleitwert (Median=.87,  $z=-3,14$ ,  $p=.00$ ,  $r=-.70$ ) im Vergleich zu vor der Intervention (Median=.65). Auch in der VR-Bedingung zeigt sich postinterventiv (Median=.81,  $z=-2,60$ ,  $p=.00$ ,  $r=-.58$ ) ein signifikant höherer Hautleitwert als zuvor (Median=.53) (vgl. Tabelle 6). Somit werden die Ergebnisse der Varianzanalyse bestätigt. Die angegebenen Effektstärken  $r$  nach Cohen entsprechen durchwegs einem starken Effekt.

Tabelle 6: Testergebnisse des Wilcoxon-Tests zur Überprüfung des Zeiteffekts auf den Hautleitwert

	Kontrollbedingung	Akustische Phantasiereise	VR-Bedingung
U	-2.09	-3.14	-2.60
Exakte Signifikanz (einseitig)	.02*	.00**	.00**

Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .01$ ; \* =  $p \leq .05$

Somit besteht für den Hautleitwert ein signifikanter Unterschied innerhalb der drei Bedingungen mit einer Senkung des Hautleitwerts über die Zeit in der Kontrollbedingung und einem steigenden Hautleitwert in den übrigen Bedingungen. Es besteht kein signifikanter Unterschied des Hautleitwerts zwischen den Bedingungen. Auch zeigt sich zwischen den Bedingungen kein signifikanter Unterschied der Erhöhung des Hautleitwerts über die Zeit, damit sind Hypothesen 1.1, 2.1 und 3.1 nicht bestätigt.

**Pulsfrequenz:** Zur Überprüfung des Effekts der Faktoren Entspannungsmethode und Zeit sowie deren Interaktion auf die abhängige Variable Pulsfrequenz wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die Berechnung dient der Beantwortung der Hypothesen 1.2, 2.2 sowie 3.2.

Der Mauchly-Test auf Sphärizität (vgl. Tabelle 7) wird für den Faktor Entspannungsverfahren signifikant mit einem Epsilon nach Greenhouse-Geisser  $>.75$ , weshalb die Korrekturberechnung nach Huynh-Feldt verwendet wird. Für die Interaktion von Entspannungsverfahren und Zeit ergibt sich ein Epsilon nach Greenhouse-Geisser  $<.75$ , weshalb die Korrektur nach Greenhouse-Geisser verwendet wird.

*Tabelle 7: Mauchly-Test auf Sphärizität der abhängigen Variable Pulsfrequenz*

Intersubjekteffekte	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig	Greenhouse-Geisser	Huynh Feldt
Entspannungsverfahren	.70	6.32	2	.04*	.77	.83
Entspannungsverfahren*Zeit	.47	13.64	2	.00**	.65	.68

*Anmerkungen.* \*\* =  $p \leq .01$ ; \* =  $p \leq .05$

Die Varianzanalyse (vgl. Tabelle 8) zeigt, dass sich die Pulsfrequenz zwischen den Entspannungsbedingungen nicht signifikant unterscheidet ( $F(1,65;29,32)=1.01$ ,  $p=.36$ , partielles  $\eta^2=.05$ ). Im Zeitverlauf zeigt sich ebenso kein signifikanter Unterschied der Pulsfrequenz ( $F(1,19)=.13$ ,  $p=.73$ , partielles  $\eta^2=.01$ ). Auch zwischen den drei Entspannungsbedingungen unterscheidet sich die Veränderung der Pulsfrequenz über die Zeit nicht signifikant ( $F(1,31;24,82)=.29$ ,  $p=.66$ , partielles  $\eta^2=.01$ ), damit können die Hypothesen 1.2, 2.2 und 3.2 nicht bestätigt werden.

*Tabelle 8: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung der Pulsfrequenz*

Hautleitwert	df	F	Sig	Partielles $\eta^2$
Entspannungsverfahren	1.65	1.01	.36	.05
Zeit	1	.13	.73	.01
Entspannungsverfahren*Zeit	1.31	.29	.66	.01

Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse grafisch dargestellt. Es lässt sich weiterhin in der VR-Bedingung eine sinkende Tendenz der Pulsfrequenz von Prä- zu Postmessung erkennen, während sich in der akustischen Phantasiereise und in der Kontrollbedingung eine Erhöhung der Pulsfrequenz im Zeitverlauf zeigt.



Abbildung 29: Interaktion der Faktoren Entspannungsverfahren und Zeit für die Pulsfrequenz (n.s.)

**Entspannungsgrad:** Zur Überprüfung des Effekts der Faktoren Entspannungsmethode und Zeit sowie deren Interaktion auf die abhängige Variable Entspannungsgrad wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die Berechnung dient der Beantwortung der Hypothesen 1.3, 2.3 sowie 3.3.

Die Varianzanalyse (vgl. Tabelle 9) zeigt, dass sich der Entspannungsgrad zwischen den Entspannungsbedingungen nicht signifikant unterscheidet ( $F(2,38)=.57$ ,  $p=.57$ , partielles  $\eta^2=.03$ ), jedoch zeigt sich ein signifikanter Unterschied des Entspannungsgrads vor und nach den Interventionen ( $F(1,19)=53,51$ ,  $p=.00$ , partielles  $\eta^2=.74$ ). Die Effektstärke  $f$  nach Cohen für die Veränderung über die Zeit liegt bei 1.69, was einem starken Effekt entspricht. Auch zwischen den drei Entspannungsbedingungen zeigt sich ein Unterschied in der Veränderung des Entspannungsgrads von vor zu nach den Interventionen ( $F(2,38)=5,38$ ,  $p=.01$ , partielles  $\eta^2=.22$ ). Die Effektstärke  $f$  nach Cohen liegt hier bei .53 und entspricht einem starken Effekt.

Tabelle 9: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung des Entspannungsgrads

Hautleitwert	df	F	Sig	Partielles $\eta^2$
Entspannungsverfahren	2	.57	.57	.03
Zeit	1	53.51	.00**	.74
Entspannungsverfahren*Zeit	2	5.38	.01**	.22

Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .01$ ; \* =  $p \leq .05$

Auf Abbildung 30 sind Haupteffekte und Interaktion von Entspannungsverfahren und Zeit grafisch dargestellt. Alle Linien zeigen eine Steigung, was den Haupteffekt des Faktors Zeit angibt. Damit zeigt sich eine Erhöhung des Entspannungsgrads von vor zu nach der Intervention in allen Bedingungen. Die Kreuzung der VR-Bedingung mit den beiden anderen Bedingungen sowie die starke Steigung zeigt eine große und deutlich höhere Steigerung des Entspannungsgrads in der VR-Bedingung von vor zu nach der Intervention im Vergleich zu den anderen Bedingungen. Die nahezu parallel verlaufenden und schwach steigenden Linien der Kontrollbedingung und der Bedingung der akustischen Phantasiereise zeigen eine ähnliche und geringe Erhöhung des Entspannungsgrads von Prä- zu Postmessung. An den geringen Unterschieden der drei Mittelwerte des Entspannungsgrads in der Prämessung lässt sich der nicht vorhandene Effekt des Faktors Entspannungsverfahren erkennen, die Angaben zum Entspannungsgrad unterscheiden sich hier kaum.

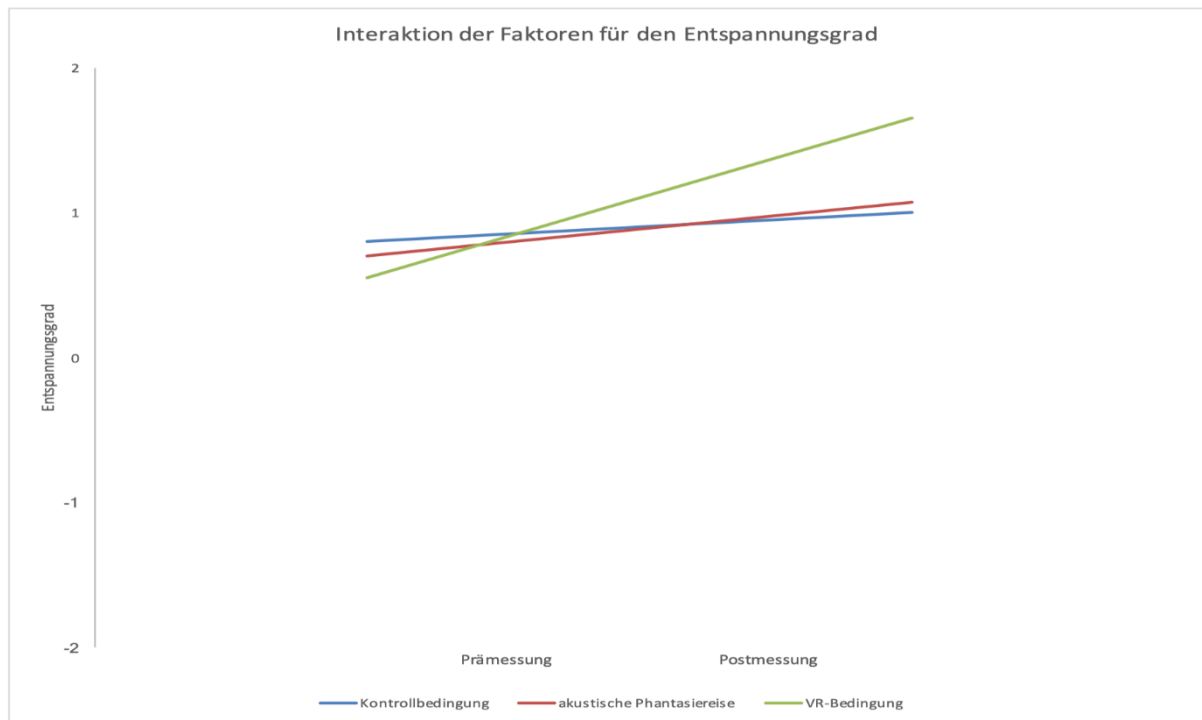


Abbildung 30: Interaktion der Faktoren Entspannungsverfahren und Zeit für den Entspannungsgrad

Da für den Faktor Zeit sowie für die Interaktion der Faktoren Entspannungsverfahren und Zeit in der Varianzanalyse signifikante Ergebnisse ermittelt werden, wird mit einem Wilcoxon-Test sowie mit dem Friedman-Test nachgeprüft.

Der Wilcoxon-Test (vgl. Tabelle 10) dient der Überprüfung der Veränderung des Entspannungsgrads von vor der Intervention zu nach der Intervention. Dieser zeigt für die Bedingung der akustischen Phantasieeise eine signifikante Erhöhung des Entspannungsgrads von vor (Median=1.00; exakter Wilcoxon-Test:  $z=-2.14$ ,  $p=.03$ ) zu nach (Median=1.50) der Intervention, ebenso wie in der VR-Bedingung von vor (Median=1.0; exakter Wilcoxon-Test:  $z=-3.57$ ,  $p=.00$ ) zu nach (Median=2.0) der Intervention. Die Ergebnisse der Varianzanalyse können hier bestätigt werden. Die Effektstärken nach Cohen liegen für die Bedingung der akustischen Phantasieeise bei  $r=-.48$ , was einem starken Effekt entspricht, sowie für die VR-Bedingung bei  $r=-.80$ , was ebenso einem starken Effekt entspricht. In der Kontrollbedingung ergibt sich hingegen im Wilcoxon-Test kein Unterschied über die Zeit von vor der Intervention (Median=1.00; exakter Wilcoxon-Test:  $z=-2.14$ ,  $p=.02$ ) zu danach (Median=1.00).

*Tabelle 10: Testergebnisse des Wilcoxon-Tests zur Überprüfung des Zeiteffekts auf den Entspannungsgrad*

	Kontrollbedingung	Akustische Phantasieeise	VR-Bedingung
U	-1.89	-2.14	-3.57
Exakte Signifikanz (einseitig)	.06	.03*	.00**

*Anmerkungen.* \*\* =  $p \leq .01$ ; \* =  $p \leq .05$

Der Friedman-Test wird als Hilfsmittel herangezogen, um die Interaktion der Faktoren nichtparametrisch zu prüfen. Dieser zeigt (vgl. Tabelle 11 und 12) zum Messzeitpunkt vor den Interventionen zwischen den Bedingungen keinen signifikanten Unterschied des Entspannungsgrads ( $\chi^2(2)=1.96$ ,  $p=.41$ ).

*Tabelle 11: Testergebnisse des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen zur Prämessung*

	Chi-Quadrat	df	Exakte Signifikanz (einseitig)
Entspannungsgrad Prämessung	1.96	2	.41

*Tabelle 12: Mittlere Ränge der Untersuchungsbedingungen des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen zur Prämessung*

	Kontrollbedingung	Akustische Phantasieeise	VR-Bedingung
Mittlerer Rang	2.20	1.90	1.90

Zum Messzeitpunkt nach den Interventionen hingegen zeigt sich ein signifikanter Unterschied ( $\chi^2(2)=7.35$ ,  $p=.03$ ) (vgl. Tabelle 13). Damit kann eine gleiche Veränderung des Entspannungsgrads über

die Zeit zwischen den Bedingungen ausgeschlossen werden. Die mittleren Ränge zeigen die größte Erhöhung des Entspannungsgrads für die VR-Bedingung an, gefolgt von der Bedingung der akustischen Phantasiereise und der Kontrollbedingung mit der geringsten und nicht signifikanten Steigerung (vgl. Tabelle 14), wie der Wilcoxon-Test aussagt. Die Ränge lassen vermuten, dass zwischen der Kontrollbedingung sowie der Bedingung der akustischen Phantasiereise kein signifikanter Unterschied in der Steigerung des Entspannungsgrads besteht, jedoch zwischen der Kontrollbedingung und der VR-Bedingung sowie zwischen der Bedingung der akustischen Phantasiereise und der VR-Bedingung.

*Tabelle 13: Testergebnisse des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen zur Postmessung*

	<b>Chi-Quadrat</b>	<b>df</b>	<b>Exakte Signifikant (einseitig)</b>
Entspannungsgrad Prämessung	7.35	2	.03*

Anmerkungen. \* =  $p \leq .05$

*Tabelle 14: Mittlere Ränge der Untersuchungsbedingungen des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen zur Postmessung*

	<b>Kontrollbedingung</b>	<b>Akustische Phantasiereise</b>	<b>VR-Bedingung</b>
Mittlerer Rang	1.83	1.80	2.38

Ein Friedman-Test zu den Veränderungswerten des Entspannungsgrads über die Zeit der Bedingungen zeigt, dass sich die Erhöhung des Entspannungsgrads zwischen den Bedingungen signifikant ( $\chi^2(2)=8.17, p=.02$ ) unterscheidet (vgl. Tabelle 15 und 16).

*Tabelle 15: Testergebnisse des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds der Veränderungswerte des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen von Prä- zu Postmessung*

	<b>Chi-Quadrat</b>	<b>df</b>	<b>Exakte Signifikant (einseitig)</b>
Entspannungsgrad Prämessung	8.17	2	.02*

Anmerkungen. \* =  $p \leq .05$

*Tabelle 16: Mittlere Ränge der Untersuchungsbedingungen des Friedman-Tests zur Überprüfung des Unterschieds der Veränderungswerte des Entspannungsgrads in den drei Entspannungsbedingungen von Prä- zu Postmessung*

	<b>Kontrollbedingung</b>	<b>Akustische Phantasiereise</b>	<b>VR-Bedingung</b>
Mittlerer Rang	1.68	1.90	2.43

Anschließend durchgeführte Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zum Einzelvergleich der Veränderungswerte des Entspannungsgrads der drei Bedingungen zeigen (vgl. Tabelle 17) zwischen der Bedingung der akustischen Phantasiereise und der VR-Bedingung sowie zwischen der Kontrollbedingung



und der Bedingung der akustischen Phantasieeise keinen signifikanten Unterschied. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied der Erhöhung des Entspannungsgrads zwischen der VR-Bedingung und der Kontrollbedingung.

*Tabelle 17: Dunn-Bonferroni-Tests zum Einzelvergleich der Veränderungswerte des Entspannungsgrads der drei Bedingungen von Prä- zu Postmessung*

	Kontrollbedingung & Akustische Phantasieeise	VR-Bedingung & Kontrollbedingung	Akustische Phantasieeise & VR-Bedingung
SD	.32	.32	.32
Angepasste Signifikanz	1.0	.05*	.29

*Anmerkungen. \* =  $p \leq .05$*

Für den Faktor Entspannungsverfahren zeigt sich also kein signifikanter Unterschied zwischen den Stufen. Für die Bedingung akustische Phantasieeise und die VR-Bedingung zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Entspannungsgrads über die Zeit. Diese Erhöhung über die Zeit zeigt zwischen den Bedingungen sowohl in der Varianzanalyse als auch im nichtparametrischen Friedman-Test einen signifikanten Unterschied mit dem größten Erhöhungswert in der VR-Bedingung. Einzelvergleiche können diese Signifikanz für die VR-Bedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung bestätigen. Aus diesem Grund werden die Hypothesen 2.3 sowie 3.3 als nicht bestätigt sowie Hypothese 1.3 als bestätigt angesehen.

**Emotionales Wohlbefinden:** Zur Überprüfung des Effekts der Faktoren Entspannungsmethode und Zeit sowie deren Interaktion auf die abhängige Variable Emotionales Wohlbefinden wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die Berechnung dient der Beantwortung der Hypothesen 1.4, 2.4 sowie 3.4.

Die Varianzanalyse zeigt (vgl. Tabelle 18), dass sich das Emotionale Wohlbefinden zwischen den Entspannungsbedingungen nicht signifikant unterscheidet ( $F(2,38)=.51, p=.60, \text{partielles } \eta^2=.03$ ), auch die Veränderung des Emotionalen Wohlbefindens über die Zeit unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Entspannungsbedingungen ( $F(2,38)=2.32, p=.11, \eta^2=.11$ ).

Es zeigt sich jedoch eine signifikante Veränderung des Emotionalen Wohlbefindens von vor zu nach den Interventionen ( $F(1,19)=34.65, p=.00, \eta^2=.65$ ). Die Effektstärke  $f$  nach Cohen liegt bei 1.36 und entspricht einem starken Effekt.

Tabelle 18: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung des emotionalen Wohlbefindens

Hautleitwert	df	F	Sig	Partielles $\eta^2$
Entspannungsverfahren	2	.51	.60	.03
Zeit	1	34.65	00**	.65
Entspannungsverfahren*Zeit	2	2.32	.11	.11

Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .01$



Abbildung 31: Veränderung des emotionalen Wohlbefindens über die Zeit innerhalb der drei Untersuchungsbedingungen

Da die Varianzanalyse für den Faktor Zeit ein signifikantes Ergebnis ergibt, wird mit einem exakten Wilcoxon-Test nachgeprüft. Dieser zeigt eine Erhöhung des Emotionalen Wohlbefindens von vor der Kontrollbedingung (Median=1.00;  $z=-2.56$ ,  $p=.00$ ) zu danach (Median=1.33), ebenso in der Bedingung der akustischen Phantasiereise von vor der Durchführung (Median=1.17;  $z=-2.72$ ,  $p=.00$ ) zu danach (Median=1.33) sowie in der VR-Bedingung von Prä- (Median=.67;  $z=-3.45$ ,  $p=.00$ ) zu Postmessung (Median=1.67) (vgl. Tabelle 19). Damit ergibt sich innerhalb der drei Bedingungen je eine signifikante Erhöhung des Emotionalen Wohlbefindens von vor der Intervention zu danach. Die Ergebnisse der Varianzanalyse werden hier bestätigt. Es ergeben sich große Effektstärken nach Cohen von  $r=-.57$  für die Kontrollbedingung,  $r=-.61$  für die Bedingung der akustischen Phantasiereise sowie  $r=-.77$  für die VR-Bedingung.

Tabelle 19: Testergebnisse des Wilcoxon-Tests zur Überprüfung des Zeiteffekts auf das emotionale Wohlbefinden

	Kontrollbedingung	Akustische Phantasiereise	VR-Bedingung
U	-2.56	-2.72	-3.45
Exakte Signifikanz (einseitig)	.00**	.00**	.00**

Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .01$

Für das emotionale Wohlbefinden zeigen sich somit signifikante Erhöhungen über die Zeit in allen Bedingungen, jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen. Es zeigt sich weiterhin kein signifikanter Unterschied der Prä- zu Postveränderung des Emotionalen Wohlbefindens zwischen den Stufen der Entspannungsbedingungen, somit können die Hypothesen 1.4, 2.4 und 3.4 nicht bestätigt werden.

**Körperliches Wohlbefinden:** Zur Überprüfung des Effekts der Faktoren Entspannungsmethode und Zeit sowie deren Interaktion auf die abhängige Variable Körperliches Wohlbefinden wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die Berechnung dient der Beantwortung von Hypothese 4.1.

Der Mauchly-Test auf Sphärizität (vgl. Tabelle 20) wird für den Faktor Entspannungsverfahren sowie für die Interaktion von Zeit und Entspannungsverfahren signifikant. Für den Faktor Entspannungsverfahren ergibt sich ein Epsilon nach Greenhouse-Geisser  $> .75$ , weshalb die Korrekturberechnung nach Huynh-Feldt verwendet wird. Für die Interaktion ergibt sich ein Epsilon nach Greenhouse-Geisser  $< .75$ , weshalb die Korrekturberechnung nach Greenhouse-Geisser verwendet wird.

Tabelle 20: Mauchly-Test auf Sphärizität der abhängigen Variable Körperliches Wohlbefinden

Intersubjekteffekte	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig	Greenhouse-Geisser	Huynh Feldt
Entspannungsverfahren	.68	6.85	2	.03*	.76	.81
Entspannungsverfahren*Zeit	.26	24.24	2	.00**	.57	.50

Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .01$ ; \* =  $p \leq .05$

Die Varianzanalyse zeigt (vgl. Tabelle 21), dass sich das körperliche Wohlbefinden zwischen den Entspannungsbedingungen nicht signifikant unterscheidet ( $F(1,62;30,85)=.35$ ,  $p=.66$ , partielles  $\eta^2=.02$ ), ebenso zeigt sich im Zeitverlauf der einzelnen Bedingungen keine signifikante Veränderung ( $F(1,19)=.36$ ,  $p=.55$ , partielles  $\eta^2=.02$ ). Auch unterscheiden sich die Bedingungen nicht signifikant in

der Veränderung des Körperlichen Wohlbefindens vor und nach der jeweiligen Intervention ( $F(1,15;21,84)=.12$ ,  $p=.77$ , partielles  $\eta^2=.01$ ), die Hypothese ist damit bestätigt.

Tabelle 21: Tafel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen über Entspannungsbedingungen und Zeit zur Prüfung des körperlichen Wohlbefindens

Hautleitwert	df	F	Sig	Partielles $\eta^2$
Entspannungsverfahren	1.62	.35	.66	.02
Zeit	1	.36	.55	.02
Entspannungsverfahren*Zeit	1.15	.12	.77	.01

Abbildung 32 zeigt die Ergebnisse grafisch dargestellt, wobei der geringe Unterschied des körperlichen Wohlbefindens über die Zeit und zwischen den Bedingungen deutlich wird. Auf der Grafik ist ausschließlich der Bereich von 1,5 bis 2 auf der fünfstufigen Skala dargestellt.

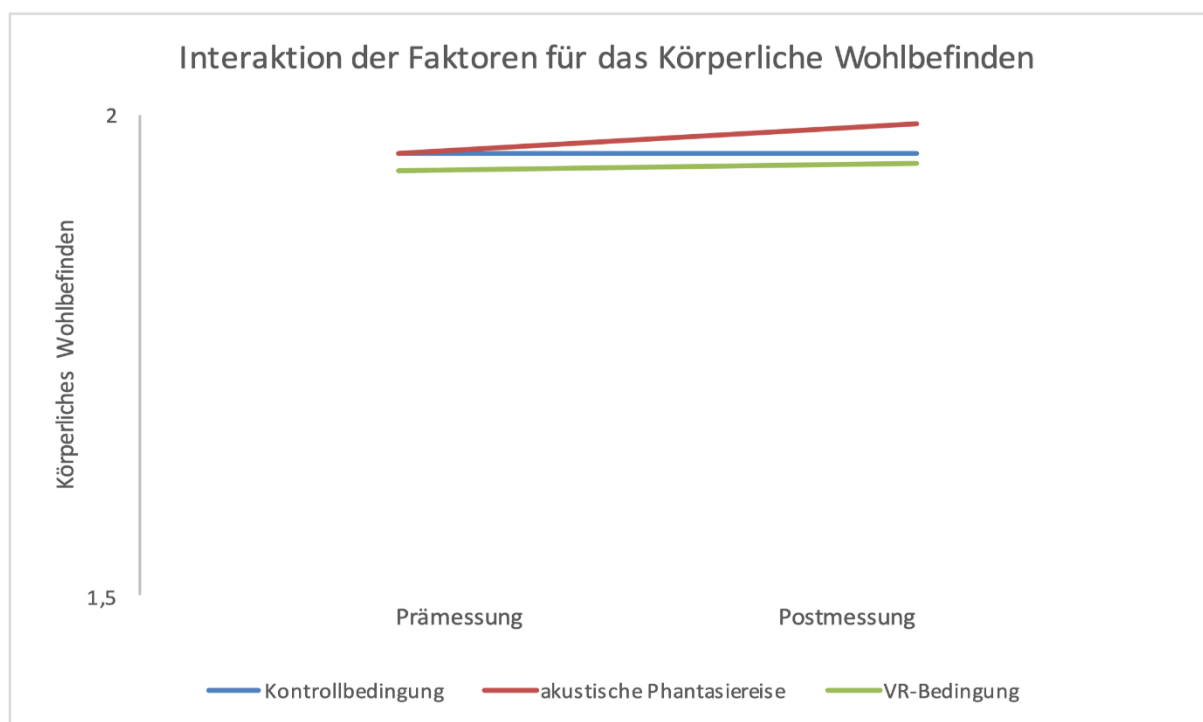


Abbildung 32: Veränderung des körperlichen Wohlbefindens über die Zeit innerhalb der drei Untersuchungsbedingungen

Bezüglich der Items 12, 13 und 14 der VR-Version des Post-Task-Questionnaires erfolgt aufgrund der einmaligen Beantwortung der Items in der Postmessung eine deskriptive Analyse sowie ein Qui-Quadrat-Anpassungstest, um zu überprüfen, ob die Beantwortung der Items von einer Zufallsverteilung abweicht.

Es zeigt sich ein Mittelwert von  $M=2.0$  ( $SD=.00$ ). Damit gaben alle Versuchspersonen bei den Items 12, 13 und 14 zu den VR-bezogenen Fragen zum körperlichen Wohlbefinden durchgängig den Wert 2 auf der Skala an (vgl. Tabelle 22).

*Tabelle 22: Deskriptive Analyse der Zusatzitems zum VR-bezogenen körperlichen Wohlbefinden in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire (Item 12, 13, 14)*

<b>Intersubjekteffekte</b>	<b>N</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>M</b>	<b>SD</b>
Nebenwirkungen	20	2	2	2	.00

Der Chi-Quadrat-Test (vgl. Tabelle 23) ermittelt, dass die beobachteten Häufigkeiten signifikant von den erwarteten Häufigkeiten abweichen ( $\chi^2(4, n=20)=80.00, p=.00$ ). Damit ist gezeigt, dass die tatsächliche Verteilung signifikant von einer Zufallsverteilung abweicht.

*Tabelle 23: Testergebnisse des Chi-Quadrat-Anpassungstests zur Prüfung der Zufallsverteilung der Zusatzitems zum VR-bezogenen körperlichen Wohlbefinden in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire*

	<b>Chi-Quadrat</b>	<b>df</b>	<b>Exakte Signifikant (einseitig)</b>
Nebenwirkungen	80	4	.00**

*Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .01$*

An der Häufigkeitstabelle ist zu erkennen, dass die Verteilung signifikant positiv von einer Zufallsverteilung abweicht (vgl. Tabelle 24). Es wird, wie bereits in der deskriptiven Statistik erkennbar ist, ausschließlich der Wert 2 angegeben. Das Item ist negativ gepolt, womit der Wert 2 keine Nebenwirkungen bedeutet.

*Tabelle 24: Berechnungen zu beobachteter und erwarteter Anzahl der Kategorienangabe des Chi-Quadrat-Anpassungstests zur Prüfung der Zufallsverteilung der Zusatzitems zum VR-bezogenen körperlichen Wohlbefinden in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire*

<b>Kategorie</b>	<b>beobachtete Anzahl</b>	<b>erwartete Anzahl</b>
-2	0	4
-1	0	4
0	0	4
1	0	4
2	20	4

**Akzeptanz:** Um zu überprüfen, ob die Werte zur Angabe der Akzeptanz des Verfahrens signifikant vom Zufall abweichen, wurde ein Chi-Quadrat-Anpassungstest durchgeführt. Der Chi-Quadrat-Test ermittelt (vgl. Tabelle 25), dass die beobachteten Häufigkeiten signifikant von den erwarteten Häufigkeiten abweichen ( $\chi^2(4, n=20)=10.50, p=.03$ ).

Tabelle 25: Testergebnisse des Chi-Quadrat-Anpassungstests zur Prüfung der Zufallsverteilung des Items zur Akzeptanz des Verfahrens in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire (Items 15)

	Chi-Quadrat	df	Exakte Signifikant (einseitig)
Nebenwirkungen Zusatzitems	10.5	4	.03

Anmerkungen. \*\* =  $p \leq .05$

Damit ist gezeigt, dass die tatsächliche Verteilung signifikant von einer Zufallsverteilung abweicht. An Tabelle 26 ist zu erkennen, dass die Verteilung signifikant positiv von einer Zufallsverteilung abweicht. 15 von 20 Teilnehmern wählten Kategorie 1 oder 2 aus, was für eine tendenzielle oder starke Akzeptanz des Verfahrens im klinischen Alltag steht. Die Hypothese 5.1 ist somit bestätigt.

Tabelle 26: Berechnungen zu beobachteter und erwarteter Anzahl der Kategorienangabe des Chi-Quadrat-Anpassungstests zur Prüfung der Zufallsverteilung des Items zur Akzeptanz des Verfahrens in der VR-Version des Post-Task-Questionnaire (Item 15)

Kategorie	beobachtete Anzahl	erwartete Anzahl
-2	1	4
-1	2	4
0	2	4
1	8	4
2	7	4

### Ökonomie des Verfahrens:

*Hypothese 6.1: Der Einsatz der VR-basierten Entspannungsmethode ist hinsichtlich der Kriterien für zeitliche Verfahrensökonomie ökonomisch.*

Definition: Das Verfahren ist hinsichtlich der zeitlichen Ressourcen für Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung ökonomisch (Moosbrugger & Kelava, 2012).

Das VR-basierte Entspannungsverfahren nimmt neben der sechsminütigen Dauer der durchgeführten Entspannungsreise eine circa je 5-minütige Vor- und Nachbereitungszeit in Anspruch, um dem Patienten die Videobrille aufzusetzen, und um das Abspielen der Entspannungsreise einzustellen, sowie für die Reinigung nach der Verfahrensdurchführung. Es wird eine einmalige Vorbereitungszeit von etwa 1

Stunde benötigt, um die technischen Voraussetzungen (Installation der Software, Befestigung der Basisstationen, Kalibrierung der Videobrille für einen Raum) zu schaffen. Das Verfahren ist somit hinsichtlich der zeitlichen Aspekte ökonomisch.

*Hypothese 6.2: Der Einsatz der VR-basierten Entspannungsmethode ist hinsichtlich der Kriterien für finanzielle Verfahrensökonomie ökonomisch.*

Definition: Das Verfahren ist hinsichtlich des finanziellen Aufwands durch Materialien einschließlich Hardware und Software ökonomisch (Moosbrugger & Kelava, 2012).

Die Kosten für eine HTC vive VR-Brille liegen derzeit bei circa 700 Euro, eine von zwei benötigten Basisstationen kostet knapp 150 Euro. Ein Notebook mit Grafikkarte die das Label „vr ready“ trägt, um die entsprechenden Hardwareanforderungen für den Gebrauch von HMDs zu erfüllen, liegt in der Anschaffung bei etwa 1600 Euro. Die Grundausstattung für das VR-basierte Entspannungsverfahren liegt somit derzeit bei circa 2600 Euro einmaligen Kosten. Da es sich um eine noch neue Technologie handelt, ist mit einer starken Preissenkung in den kommenden Jahren zu rechnen. Ebenso verbessert sich die Hardware von deutlich kostengünstigeren Standalone-HMDs stetig. Der Download der Software *Steam* einschließlich des benötigten *SourVR Video Players* ist kostenlos. Für jede Nutzung des Verfahrens fallen neben Stromkosten zum Betreiben der Geräte keine Kosten an. Trotzdem wird das Verfahren aufgrund der derzeit hohen Kosten für die Ausstattung hinsichtlich des finanziellen Aspekts als nicht ökonomisch betrachtet.

*Hypothese 6.3: Der Einsatz der VR-basierten Entspannungsmethode ist hinsichtlich der Verfahrenskriterien für die Einfachheit der Handhabung ökonomisch.*

Definition: Das Verfahren ist in kurzer Zeit und mit wenig Aufwand erlernbar und durchführbar.

Die Ersteinstellungen (Installation der Software, Befestigung der Basisstationen, Kalibrierung der Videobrille für einen Raum) ist ein Prozess mit einem Zeitaufwand von circa 2 Stunden und ist ohne Expertise zu bewältigen. Die Durchführung des VR-basierten Entspannungsverfahrens ist besonders unter Zuhilfenahme des Leitfadens (siehe Anhang) ohne Expertise und mit einmaliger Einarbeitung einfach zu erlernen. Das Verfahren ist hinsichtlich der Einfachheit der Handhabung ökonomisch.

Tabelle 27 fasst Ergebnisse der hypothesenprüfenden Auswertung zusammen.

Tabelle 27: Überblick der bestätigten und nicht bestätigten Hypothesen

Hypothese	bestätigt	nicht bestätigt	Tendenz
<b>Hautleitwert</b>			
1.1 Hautleitwert (VR > Mandala)		X	
2.1 Hautleitwert (VR > Phantasie- reise)		X	
3.1 Hautleitwert (Phantasie- reise > Mandala)		X	
<b>Pulsfrequenz</b>			
1.2 Pulsfrequenz (VR > Mandala)		X	X
2.2 Pulsfrequenz (VR > Phantasie- reise)		X	X
3.2 Pulsfrequenz (Phantasie- reise > Mandala)		X	
<b>Entspannungsgrad</b>			
1.3 Entspannungsgrad (VR > Mandala)	X		
2.3 Entspannungsgrad (VR > Phantasie- reise)		X	X
3.3 Entspannungsgrad (Phantasie- reise > Mandala)		X	X
<b>Emotionales Wohlbefinden</b>			
1.4 Emotionales Wohlbefinden (VR > Mandala)		X	
2.4 Emotionales Wohlbefinden (VR > Phantasie- reise)		X	
3.4 Emotionales Wohlbefinden (Phantasie- reise > Mandala)		X	
<b>Körperliches Wohlbefinden</b>			
4.1 keine Reduktion des Körperlichen Wohlbefin- dens bei VR	X		
<b>Akzeptanz des Verfahrens</b>			
5.1 Akzeptanz – positive Abweichung von Zufalls- verteilung	X		
<b>Ökonomie des Verfahrens</b>			
6.1 zeitliche Verfahrensökonomie	X		
6.2 finanzielle Verfahrensökonomie		X	
6.3 Ökonomie bezüglich Einfachheit der Handha- bung	X		



## 3.8 Diskussion

Im Folgenden werden die vorliegende Studie sowie die zentralen Annahmen und Ergebnisse kurz zusammengefasst. Anschließend werden diese Ergebnisse vor dem Hintergrund der bisherigen empirischen Befunde sowie vor dem Hintergrund der methodischen Vorgehensweise diskutiert. Zudem erfolgen eine Einordnung in die aktuelle Forschungslage sowie die Ableitung weiterführender Forschungsfragen.

### 3.8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden Studie wurde die Wirksamkeit eines VR-basierten Entspannungsverfahrens sowie die Verträglichkeit der VR-Technologie bei der Anwendung an Patienten mit (zentral)neurologischem Krankheitsbild untersucht. Die finale Stichprobe bestand aus 20 Patienten mit der Diagnose Hirninfarkt ( $n=12$ ), Hirnblutung ( $n=3$ ), Schädel-Hirn-Trauma ( $n=2$ ) und Critical Illness Polyneuropathie ( $n=3$ ). Es nahmen 13 Männer und 7 Frauen im Alter von 30 bis 85 Jahren teil. Als Ausschlusskriterien galten Werte über 10 bei der GDS sowie Werte unter 24 beim Mini Mental Status Test (MMST) von Folstein & McHugh (1990). In der krankheitsdiagnostischen Vorgeschichte der Patienten durften keine Doppelbilder, Schwindel oder epileptische Zustände aufgetreten sein. Die Probanden durchliefen an je drei Testterminen drei Bedingungen in randomisierter Reihenfolge: Kontrollbedingung, akustische Phantasie und VR-basiertes Entspannungsverfahren. Vor und nach jeder Bedingung wurde ein Fragebogen in Form eines standardisierten Interviews zum Entspannungsgrad sowie zum emotionalen und körperlichen Wohlbefinden durchgeführt. In der VR-Bedingung wurden postinterventiv zusätzlich Items zu Nebenwirkungen und zur Akzeptanz des Verfahrens gefragt. Des Weiteren wurden je in der ersten und letzten Minute der Bedingungen die Pulsfrequenz und der Hautleitwert der Patienten mit einem Biofeedbackgerät erhoben. Die Studie ermittelte anhand der genannten Parameter, ob Unterschiede hinsichtlich der Wirksamkeit zwischen dem VR-basierten Entspannungsverfahren und der Kontrollbedingung Mandala bestanden. Weiterhin sollten mögliche Wirksamkeitsunterschiede zwischen dem VR-basierten Verfahren und der rein akustischen Phantasie sowie zwischen der rein akustischen Phantasie und der Kontrollbedingung ermittelt werden. Zudem war es Ziel der Studie aufzudecken, ob sich das körperliche Wohlbefinden durch die Nutzung der VR-Technologie verändert. Auch wurde überprüft, ob das VR-basierte Verfahren im klinischen Alltag von den Patienten genutzt und angenommen werden würde. Ferner untersuchte die Studie die zeitliche, finanzielle und handhabungsbezogene Ökonomie des VR-basierten Entspannungsverfahrens.

Bezüglich der Pulsfrequenz war eine Tendenz erkennbar, dass diese in der VR-Bedingung über die Zeit sinkt. Des Weiteren zeigte sich eine signifikante Erhöhung des Entspannungsgrads über die Zeit in der

VR-Bedingung und in der Bedingung der akustischen Phantasie- reise. Im Vergleich der VR-Bedingung zur Kontrollbedingung zeigte sich eine signifikant größere Erhöhung des Entspannungsgrads von Prä- zu Postmessung in der VR-Bedingung. Erwartungskonform zeigte sich in der Kontrollbedingung keine signifikante Veränderung des Entspannungsgrads über die Zeit. Hinsichtlich des emotionalen Wohlbefindens zeigte sich für alle Entspannungsbedingungen eine signifikante Erhöhung über die Zeit, für die VR-Bedingung kam es tendenziell zur stärksten Erhöhung des emotionalen Wohlbefindens. Das körperliche Wohlbefinden zeigte in der VR-Bedingung im Vergleich zu den anderen Bedingungen keinen signifikanten Unterschied in der Veränderung. Auch die Erhebung VR-spezifischer Nebenwirkungen ergab durchwegs keine Beeinträchtigungen. Die Akzeptanz des Verfahrens zeigte eine signifikant positive Abweichung von einer Zufallsverteilung: ein Großteil der Probanden gab an, das Verfahren im klinischen Alltag eher oder auf jeden Fall zu nutzen, wenn das Angebot bestünde. Eine qualitative Auswertung zur Ökonomie des Verfahrens zeigte, dass das Verfahren in zeitlicher Hinsicht nach einer einmaligen Vorbereitungszeit einen geringen Aufwand benötigt. Auch zeigte sich das Verfahren mit einer einmaligen Einarbeitungszeit einfach in der Handhabung.

Hinsichtlich des Hautleitwerts zeigte sich, entgegen den Erwartungen, für die Bedingung der akustischen Phantasie- reise und für die VR-Bedingung eine signifikante Erhöhung über die Zeit. In der Kontrollbedingung ergab sich eine signifikante Senkung. Hinsichtlich der Pulsfrequenz zeigte sich die Veränderung von Prä- zu Postmessung für keine der Bedingungen signifikant. Auch der Unterschied der Pulsfrequenz zwischen den Bedingungen erwies sich als nicht signifikant. Die Veränderung der Pulsfrequenz über die Zeit zwischen den Bedingungen ergab ebenso keinen signifikanten Unterschied. Bezüglich des Entspannungsgrads zeigte sich die Veränderung über die Zeit zwischen der Kontrollbedingung und der Bedingung der akustischen Phantasie- reise sowie zwischen akustischer Phantasie- reise und VR-Bedingung als nicht signifikant unterschiedlich. Die Erhöhungen des emotionalen Wohlbefindens von Prä- zu Postmessung innerhalb der Bedingungen unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant zwischen den Bedingungen. Das VR-basierte Verfahren wurde bis dato als finanziell nicht ökonomisch eingestuft, da es in finanzieller Hinsicht durch die Nutzung eines HMDs und zugehöriger Hardware noch hohe Kosten verursacht.

### 3.8.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der subjektiven Parameter unterstützen bereits festgestellte Befunde zur Wirksamkeit von Entspannungsverfahren und deuten überlegene Aspekte des VR-basierten Verfahrens gegenüber Standardverfahren an. So bestätigt die Erhöhung des Entspannungsgrads als auch die Erhöhung des emotionalen Wohlbefindens in der Bedingung der akustischen Phantasie- reise beschriebene

empirische Befunde, wonach Entspannungsverfahren bei Schlaganfall-Patienten positive emotionale Effekte mit sich bringen (Hampson et al., 2019; Kneebone et al., 2014; Petermann, 2020).

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse eine größere Erhöhung des Entspannungsgrads für die VR-Bedingung als in der Bedingung der akustischen Phantasiereise, welche eine häufige Form des Entspannungstrainings im neurorehabilitativen Alltag darstellt. Auch konnte bezüglich des emotionalen Wohlbefindens eine signifikante und tendenziell größte Erhöhung in der VR-Bedingung gegenüber den Vergleichsbedingungen festgestellt werden. Dies lässt die Vermutung zu, dass, wie einleitend beschrieben (vgl. [3.4.2](#)), die immersive virtuelle Realität neurologischen Patienten eine Hilfestellung bietet, eine möglicherweise reduzierte Imaginationsfähigkeit zu kompensieren. So konnten die Patienten subjektiv eine höhere Entspanntheit und ein größeres emotionales Wohlbefinden erreichen, als dies mit einem bisherigen Standardverfahren, dem der akustischen Phantasiereise, möglich war.

Des Weiteren fügen sich die Ergebnisse zur Erhöhung der Entspannung in bisher veröffentlichte Erkenntnisse ein. Venuturupalli et al. (2019) untersuchten in einer rheumatologischen Klinik eine VR-basierte, geleitete Meditation an Patienten ( $n=17$ ) mit Autoimmunerkrankungen hinsichtlich einer möglichen Reduktion von chronischen Schmerzen und Angstsymptomen. Sie konnten zeigen, dass sich nach der VR-basierten Meditation sowohl die Schmerzen als auch die subjektiv empfundene Angst signifikant reduzierten. Knapp 65% der Teilnehmer gaben darüber hinaus einen erhöhten Grad von subjektiv empfundener Entspannung oder innerer Ruhe an. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung an neurologisch erkrankten Patienten. Im Gegensatz zu Venuturupalli et al. (2019) wurde in der vorliegenden Studie mit realem Video-Bildmaterial anstelle von computeranimierten Landschaften gearbeitet. Auch in einer weiteren Untersuchung an gesunden Probanden zeigte sich der Einsatz von HMDs, gegenüber der Präsentation der gleichen Inhalte auf einem Bildschirm als überlegen in den Punkten Tiefe der Entspannung, Gefühl der Präsenz und Erleben einer tieferen Ebene der Meditation (Kosunen et al., 2016).

Festzustellen ist weiterhin, dass sich die Befunde der subjektiven Parameter nur gering in den Befunden der objektiven Parameter widerspiegeln. So sinkt die Pulsfrequenz in der VR-Bedingung ab, jedoch zeigt sich für die Vergleichsbedingungen eine steigende Tendenz der Pulsfrequenz. Da das Ausgangsniveau der Pulsfrequenz in allen Gruppen vor und nach der Testbedingung innerhalb der Ruhepulsnorm lag, ist es fraglich, inwiefern der Puls Aussagekraft für den objektiven Grad der Entspannung liefert (vgl. [6.1](#)). Auch bei Wiederhold und Wiederhold (2000) zeigte sich die Herzrate, im Gegensatz zu Hautleitwert als nicht sehr sensitives Maß zur Messung von objektiver Angst in einer VR-Exposition.

Der Hautleitwert steigt signifikant in der Bedingung der akustischen Phantasiereise und in der VR-Bedingung. Dieses Ergebnis lässt unterschiedliche Schlüsse zu. Zum einen befinden sich die Teilnehmer

in einer für sie neuen und eventuell aufregenden Testsituation und sind mit verschiedenen unbekannt-ten Technologien in Kontakt. Sowohl das HMD als auch das Biofeedbackgerät könnten ein leichtes Arousal ausgelöst haben. Eine Erhöhung des Hautleitwerts in der VR-Bedingung kann auf eine zunächst aktivierende Wirkung der neuen Technologie bei erstmaliger Anwendung zurückgehen. So konnten auch Estupiñán, Rebelo, Noriega, Ferreira und Duarte (2014) in der VR via HMDs eine Erhöhung der emotionalen Reaktionen verzeichnen.

Im Kontext mit der subjektiv empfundenen Entspannung während der VR-Bedingung erscheint das objektiv gemessene Arousal wie ein Widerspruch. Eine mögliche Erklärung könnten die Ergebnisse von Macedonio, Parsons, DiGiuseppe, Weiderhold und Rizzo (2007) liefern. Sie zeigten Probanden eine 360-Grad-Panorama-videobasierte virtuelle Realität, präsentiert auf einem HMD, um subjektiven Ärger zu erzeugen und konnten eine Erhöhung von Herzfrequenz, Blutdruck, galvanischer Hautreaktion, Atmung und Hauttemperatur beobachten. Es stellte sich heraus, dass die physiologische Erregung durch die Hypnotisierbarkeit der Teilnehmer moderiert wurde. Auch Wiederhold und Wiederhold (2000) konnten diesen Effekt der Auswirkung von Hypnotisierbarkeit nachweisen und vermuten einen Zusammenhang mit erlebter Präsenz (vgl. [2.3.4](#)), also dem subjektiven Empfinden des Anwenders, sich tatsächlich in der virtuellen Welt zu befinden. Im Unterschied zur vorliegenden Studie wollten Macedonio et al. (2007) aber absichtlich das Gefühl von Ärger erzeugen. Doch zeigten Wiederhold und Wiederhold (2000) bei einer virtuellen Expositionstherapie, dass auch nicht-phobische Teilnehmer ein erhöhtes objektiv gemessenes Arousal hatten, welches erst nach 20 Minuten wieder sank. Dieser Effekt könnte auch bei den Teilnehmern der vorliegenden Studie eingetreten sein. Da ebenfalls eine 360-Grad-Panorama-videobasierte virtuelle Realität präsentiert wurde, ist anzunehmen, dass dadurch ein hoher Grad an Präsenzgefühl erzeugt wurde, welches sich auf ein erhöhtes körperliches Arousal auswirkte. Die Patienten interpretierten dieses positive Arousal als angenehm und entspannend. Es ist vorstellbar, dass ein subjektiv erlebtes Gefühl, sich nicht mehr in der Klinik, sondern an einem sonnigen Tag in einem ruhigen Waldstück zu befinden und die Natur zu erleben, eine angenehme Erregung erzeugt haben könnte. Dies könnte auch die Erhöhung des emotionalen Wohlbefindens erklären. Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass VR positive Emotionen und Gefühle von Entspannung erzeugen kann, während sich negative Emotionen reduzieren (Baños et al., 2013; Villani & Riva, 2012). Dies könnte den Widerspruch zwischen einer als subjektiv angenehm und entspannend empfundenen Anwendung und dem objektiv gemessenen erhöhten Arousal erklären.

Der Widerspruch könnte aber auch durch ein Antwortverhalten der Teilnehmer in Richtung soziale Erwünschtheit erklärt werden. Die Teilnehmer saßen dem Untersucher im standardisierten Interview gegenüber. Sie wurden auch durch den Untersucher über die Studie aufgeklärt. Eine weitere Limitation der Arbeit könnte auch darin liegen, dass Probanden, die sich für die Studienteilnahme entschieden,

der VR-Technologie überwiegend bereits interessiert und positiv gegenüberstanden. Unbewusst hat die Voreinstellung der Probanden möglicherweise ihre subjektiven Angaben im Fragebogen im Sinne der kognitiven Dissonanzreduktion (Festinger, 2001) in Richtung einer positiven Entspannungswirkung des VR-basierten Verfahrens beeinflusst. Weiterhin wurden die Probanden ausführlich in einer schriftlichen Patientenaufklärung über die Studie informiert, sodass Hintergrund und Ziele der Untersuchung bekannt waren. Wieder im Sinne der sozialen Erwünschtheit oder einer selbsterfüllenden Prophezeiung könnte diese Information die Angaben zu den subjektiven Parametern beeinflusst haben. So konnten aus der Patientenaufklärung eventuell Erwartungen an das VR-basierte Verfahren geschlossen werden.

Die Ergebnisse zu Toleranz und Akzeptanz decken sich mit den Befunden zu Untersuchungen zum Einsatz von VR-basierten Meditationsverfahren präsentiert über ein HMD an Schmerzpatienten (Su, Yeh, Lee, & Huang, 2015; Venuturupalli et al., 2019) und Mediationsexperten (Navarro-Haro et al., 2017). Allerdings ist die ursprüngliche Bereitschaft zur Teilnahme an der vorliegenden Studie als eher gering einzustufen. So nahmen von 54 aufgeklärten Patienten nur 22 teil (Angaben zu Alter und Geschlecht der absagenden Patienten konnten aus Datenschutzgründen nicht erhoben werden). Ein Grund könnte in der erst kurzen Verfügbarkeit der VR-Technologie auf dem frei zugänglichen Markt zu finden sein. So haben vermutlich erst wenige Menschen Erfahrung in der Nutzung dieser Technologie. Dies könnte insbesondere bei älteren Personen der Fall sein. Allerdings konnten Roberts, Schutter, Franks und Radina (2019) zeigen, dass 41 Bewohner einer Seniorengemeinschaft sich nach einmaliger Benutzung eines HMDs Inhalte für die Bereiche Reisen, Fortbildung, Erinnerungen und Selbsttherapie wünschen würden. Besonders geeignet sahen die Bewohner auch den Einsatz bei gesundheitlicher Einschränkung, um eine Teilnahme an sonst nicht-machbaren Aktivitäten oder Erfahrungen zu gewährleisten und zu ermöglichen. Somit lässt sich vermuten, dass aufgrund des höheren Alters der Patienten in einer neurologischen Rehabilitationseinrichtung zunächst Skepsis gegenüber der Technologie bestand, jedoch die damit gemachten Erfahrungen diese schnell abbauen konnten. Die hohe Akzeptanz nach der Anwendung des Verfahrens wurde möglicherweise auch dadurch bedingt, dass die Probanden langsam an die VR-Technologie herangeführt wurden. Das Aufsetzen des HMDs durch den Testleiter an den Patienten wurde langsam und mit vielen Rückfragen zum Wohlbefinden durchgeführt. Außerdem wurde vor Start des Entspannungsvideos ein Standbild der Waldumgebung gezeigt, die durch den Patienten beschrieben werden sollte. Auch wurde mit jedem Teilnehmer ein Zeichen vereinbart, das zum sofortigen Abbruch der Testsituation geführt hätte. Dies ermöglichte den Probanden, mögliche anfängliche Bedenken langsam abzubauen und Vertrauen in die Testumgebung zu fassen. Durch diese Gewöhnungsphase wurde die Akzeptanz des Verfahrens gestärkt und Nebenwirkungen möglicherweise vorgebeugt.

Die finanzielle Ökonomie des VR-basierten Verfahrens ist zeitlich einzuordnen. Derzeit hohe einmalige Kosten für die Technologie sind mit dem hohen Nutzen für das subjektive Wohlbefinden der Anwender zu rechtfertigen. Gerade vor dem Hintergrund eines immer größer werdenden Fachkräftemangels wird der Einsatz von technologischen Hilfsmitteln in Zukunft alternativlos sein. Aus therapeutischer Sicht erscheint es jedoch sehr wahrscheinlich, dass eine Einzeltherapie am Patienten und eine gezielte und individualisierte Entspannungsübung, die Therapeut und Patient zusammen durchführen, die beste und wirkungsvollste Weise der Art von rehabilitativen Maßnahmen darstellt. Sowohl dem Fachkräftemangel als auch dem finanziellen Druck innerhalb des Gesundheitswesens könnte aber mithilfe der VR-Technologie begegnet werden. Ziel dieser Art der Forschung sollte es nicht sein, den Therapeuten zu ersetzen, sondern Hilfestellung zur Unterstützung und Entlastung zu bieten, um Patienten bestmöglich zu versorgen.

Es ist anzumerken, dass neben der noch zu erwartenden Preissenkung für stationäre HMDs bereits günstigere Alternativen vorhanden sind. So können HMDs, die mithilfe des Smartphones funktionieren, bereits kostengünstig erworben werden. Aufgrund der immer besser werdenden Technologie der Smartphones und ansteigenden Verbreitung dieser Geräte auch bei älteren Patienten könnte hier Potenzial für zukünftige therapeutische VR-Technologien liegen. Die Nutzung von patienteneigenen HMDs wäre darüber hinaus auch hygienischer als die Nutzung eines stationären HMDs für alle Patienten und zudem finanziell deutlich attraktiver.

Eine der wichtigsten Erkenntnisse dieser Arbeit dürfte in den Befunden zu Verträglichkeit und Nebenwirkungen zu finden sein. Die Ergebnisse stehen zunächst im Widerspruch zu einigen Untersuchungen. Bei Munafo et al. (2017) berichten in einer gesunde Stichprobe 56% der Teilnehmer im SiSQ nach dem Tragen des HMDs an SiS-Symptomen zu leiden. Das Auftreten von SiS ist eine häufige Herausforderung, mit der Forscher und Ersteller von VR-Inhalten zu kämpfen haben (Derrick J., 2016; Lewis, 2015). Ein Grund für das geringe Auftreten von SiS in der vorliegenden Arbeit könnte an den implementierten Vorüberlegungen zur Reduzierung von SiS bei neurologischen Patienten zu finden sein (vgl. 2.3.2.4). Durch die kurze Expositionszeit, die Verwendung von Bildstabilisierungssoftware und einem Stativ beim Aufnehmen der Videos, durch die Nutzung eines HMDs mit sehr kurzer Latenzzeit, durch Vermeidung von Diskrepanz zwischen Fremd- und Eigenbewegung und der Schaffung einer angenehmen Umgebung mit guter Belüftung berichteten nur zwei Teilnehmer von Unwohlsein, nachdem sie zum ersten Mal mit dem HMD in Kontakt gekommen sind.

### 3.8.3 Implikationen für klinische Praxis, Forschung und nachfolgende Studien

Im klinischen Alltag werden überwiegend Gruppenentspannungsverfahren durchgeführt. Die VR-Technologie bietet die Möglichkeit, den Patienten eine virtuelle private Umgebung zu schaffen, was einen entscheidenden Vorteil in der subjektiven Wirksamkeit von Entspannungsverfahren bieten kann. So entfallen in der virtuellen Entspannungsübung etwa Geräusche und bewegungsbezogene Störvariablen anderer Teilnehmer völlig. Dass sich bezüglich des emotionalen Wohlbefindens kein signifikantes Ergebnis zeigt, kann der kleinen Stichprobengröße geschuldet sein. Die Tendenz der größten Erhöhung bei der VR-Bedingung lässt auf ein möglicherweise signifikantes Ergebnis bei einer größeren Stichprobenzahl schließen. Daher ist eine Testung mit einer höheren Probandenzahl anzuraten.

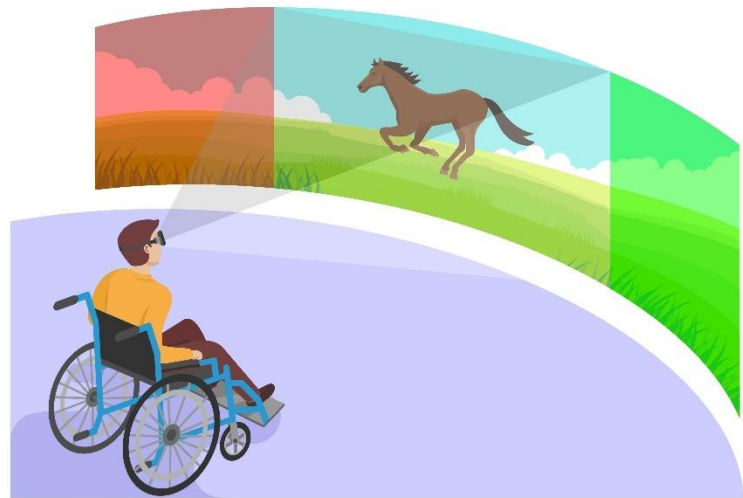
Die hohe Akzeptanz nach einmaliger Anwendung deutet darauf hin, dass eine anfangs ablehnende Einstellung durch Erfahrung abgebaut werden kann. Es besteht also eine große Hürde zur erstmaligen Anwendung des Verfahrens, die durch Erfahrung überwunden werden kann. Durch Einsatz von mobilen Geräten wie etwa der Oculus Go (vgl. [2.2.2](#)) könnte ein erstes Ausprobieren bereits bei der Akquise von Probanden erfolgen und so etwaige Bedenken abgebaut werden. Dadurch könnten auch die Kosten für die benötigte Hardware deutlich gesenkt werden. Die Anschaffung eines leistungsstarken Notebooks oder PCs sowie die hohen Kosten für ein stationäres VR-Headset würden wegfallen. Gleichzeitig wäre die Mobilität deutlich erhöht. Zum Zeitpunkt der Durchführung von Studie 1 war es mit einem mobilen Gerät noch nicht möglich, auf einem externen Bildschirm darzustellen, was der Proband sieht. Dies ist vor allem für die Kalibrierung und die Überprüfung des Instruktionsverständnisses von großer Bedeutung. Inzwischen ist eine drahtlose Spiegelung der Inhalte des HMDs auf einen externen Bildschirm oder ein Tablet problemlos möglich. Bevor sich aber für eine entsprechende Hardwarelösung entschieden wird, muss immer erst die benötigte Rechenleistung abgeklärt werden. 360-Grad-Videos stellen jedoch auch für mobile HMDs inzwischen keinerlei Probleme mehr dar. Somit kann es sinnvoll sein, bei entsprechenden Voraussetzungen die mobilen Geräte zu bevorzugen, zumal der Tragekomfort aufgrund des deutlich geringeren Gewichts in der Regel höher ist.

Für die nachfolgende Studie kann abgeleitet werden, dass die in der vorliegenden Studie implementierten Überlegungen zur Vermeidung von MS-Symptomen auch dort als Vorsichtsmaßnahme sinnvoll einzusetzen sind.

Eine weitere wichtige Erkenntnis besteht darin, dass sich keine Hinweise zeigten, neurologische Patienten hätten generell Probleme, sich auf die virtuelle Realität einzulassen. Somit könnte auch für diese Patientengruppe viel Potenzial in der neuen Technologie der HMDs stecken. Dies ermöglicht und ermutigt in Zukunft gezielt nach Einsatzmöglichkeiten bei speziellen neuropsychologischen Krankheitsbildern zu forschen. Die nachfolgende Studie kommt dieser Erkenntnis nach.

## Studie 2

4. Die Effektivität einer virtuellen Therapie unter Anwendung eines Head-mounted Displays bei Patienten mit Neglect





## 4.1 Zusammenfassung

**Hintergrund:** Das neurologische Störungsbild des Neglects ist ein häufiges Syndrom nach einer Schädigung der rechten Hemisphäre. Es geht mit schwerwiegenden dysfunktionalen Beeinträchtigungen einher, die sich typischerweise durch eine fehlende Reaktion auf Stimuli auf der linken Seite kennzeichnen. Unterschiedliche Therapieverfahren zur Behandlung eines Neglects, wie die optokinetische Stimulationstherapie mit aktiver Blickfolgebewegung (OKS), werden in der Neurorehabilitation bereits angewendet. Therapieverfahren, welche VR, präsentiert auf einem HMD, nutzen, haben sich in der klinischen Praxis noch nicht etabliert, bekommen in der Forschung mit zunehmender Technisierung und kommerzieller Verfügbarkeit der Geräte jedoch vermehrt Aufmerksamkeit.

**Zielsetzung:** Die vorliegende Studie exploriert die Verträglichkeit und Wirksamkeit einer VR-Therapieintervention unter Anwendung eines HMDs bei Patienten mit linksseitigem, visuellem Neglect. Untersucht werden soll, ob eine VR-Therapieintervention bei Neglect-Patienten nebenwirkungsfrei durchgeführt werden kann, ob sie als Add-on einer konventionellen Neglect-Therapie überlegen ist sowie die Exploration möglicher Wirkweisen des Verfahrens.

**Methode:** Die Wirksamkeit der VR-Therapieintervention wurde mittels eines Within-Subjects-Designs überprüft. Dabei erhielten 28 Neglect-Patienten zwischen 54 und 84 Jahren der VAMED Klinik Kipfenberg eine VR-Therapieeinheit mittels HMD. Dabei sollten die Patienten visuell ein Pferd verfolgen, welches virtuell im Kreis um sie herum trabt. Eine Teilstichprobe ( $n=14$ ) erhielt in einem Untersuchungszeitraum von zwei Wochen eine Woche je eine konventionelle Therapie und eine Woche eine konventionelle Therapie mit VR-Therapie als Add-on (an drei Tagen jeweils 10 Minuten). Die Neglect-Symptomatik wurde mehrmals im Untersuchungsverlauf mit vier Testverfahren erhoben (Linienhalbierungstest, Zahlendurchstreichtest, Lesetest und Uhren-Zeichen-Test). Ebenso wurde die Explorationsleistung während der VR-Therapie mittels Aufzeichnung der Kopfdrehbewegung erfasst.

**Ergebnisse:** Die VR-Therapie mittels HMD löste keinerlei Nebenwirkungen bei den Neglect-Patienten aus. Die Ergebnisse zeigten für Linienhalbierung und Zahlendurchstreichtest einen unmittelbaren signifikanten Effekt nach einer VR-Therapieeinheit, der nach zwei bis drei Tagen wieder verschwand. Nach dreimaliger VR-Therapieintervention zeigte sich in der Linienhalbierung, dem Zahlendurchstreichtest und in den Saarbrücker Lesetexten ein signifikanter Unterschied zugunsten der zusätzlichen VR-Therapieintervention, der zwei bis drei Tage nach der dritten Anwendung noch nachweisbar war. Ebenso konnte ein umgekehrter U-förmiger Verlauf der Explorationsleistung während der Aufgabe nachgewiesen werden. So explorierten die Patienten im Verlauf der Aufgabe nach circa der Hälfte der Zeit am besten zur vernachlässigten Seite hin. Danach nahm die Explorationsleistung wieder allmählich ab.

**Diskussion:** Spätestens seit der COVID-19-Pandemie ist deutlich geworden, dass die Erforschung von alternativen, mobilen und effektiven Therapiemaßnahmen von großer Bedeutung ist. Eine detaillierte Datenanalyse der signifikanten Verbesserung zugunsten der VR-Therapieintervention zeigt, dass dieser Unterschied durch eine mögliche Verschiebung der subjektiven Mitte zur kontraläsionalen Seite zu erklären ist. Die Mehrheit der Teilnehmer äußerte spontan, dass die VR-Therapie Spaß gemacht habe und interessant sei. Die vorliegende Studie zeigt das Potential von HMDs als Medium für VR-Therapieverfahren bei Neglect auf und ermutigt zu weiterer Forschung. Zukünftig könnten ähnliche VR-Anwendungen mithilfe von mobilen Standalone-HMDs sowohl im stationären und ambulanten Setting als auch als Therapiegerät zur heimischen Anwendung mehr und mehr Bedeutung erlangen.

## 4.2 Abstract

**Background:** The neurological disorder neglect is a common syndrome following damage to the right hemisphere. It is associated with severe dysfunctional impairments, typically characterized by a lack of response to stimuli on the left side. Different therapeutic procedures for the treatment of a neglect, such as optokinetic stimulation therapy with active gaze following (OKS), are already used in neurorehabilitation. Therapeutic procedures using VR presented on an HMD have not yet established themselves in clinical practice, but are receiving increased attention in research as the devices become more technologically advanced and commercially available.

**Purpose:** The present study explores the tolerability and efficacy of a VR therapy intervention using an HMD in patients with left visual neglect. The aim is to investigate whether a VR therapy intervention can be performed in neglect patients without side effects, whether it is superior to conventional neglect therapy as an add-on, and to explore possible modes of action of the procedure.

**Methods:** The efficacy of the VR therapy intervention was tested using a within-subjects design. Twenty-eight neglect patients between 54 and 84 years of age of the VAMED Klinik Kipfenberg received a VR therapy session via HMD. The patients were asked to visually follow a horse that virtually trotted around them in a circle. A subsample (n=14) received one week of conventional therapy and one week of conventional therapy with VR therapy as an add-on (10 minutes on each of three days) during a study period of two weeks. Neglect symptoms were assessed several times during the course of the study using four test procedures (line half-reading test, number crossing test, reading test, and clock-sign test). Similarly, exploration performance was recorded during VR therapy by recording head turning movement.

**Results:** VR therapy using HMD did not elicit any side effects in the neglect patients. The results showed an immediate significant effect for line bisection and number crossing test after one VR therapy

session, which disappeared after two to three days. After three sessions of VR therapy intervention, a significant difference in favor of the additional VR therapy intervention was found in the line bisection, number crossing test, and Saarbrücken reading texts, which was still detectable two to three days after the third application. Similarly, an inverted U-shaped progression of exploration performance during the task was demonstrated. Thus, during the task, patients explored best toward the neglected side after approximately half the time. After that, the exploration performance gradually decreased again.

**Discussion:** At least since the COVID-19 pandemic, it has become clear that research into alternative, mobile and effective therapeutic measures is of great importance. A detailed data analysis of the significant improvement in favor of the VR therapy intervention shows that this difference can be explained by a possible shift of the subjective center to the contralesional side. The majority of participants spontaneously expressed that VR therapy was fun and interesting. The present study demonstrates the potential of HMDs as a medium for VR therapy procedures for neglect and encourages further research. In the future, similar VR applications using mobile standalone HMDs could become more and more important in both inpatient and outpatient settings as well as a therapy device for home use.

## 4.3 Einleitung

Schon vor der COVID-19-Pandemie war nach Ansicht der psychologischen und medizinischen Verbände die ambulante Versorgungssituation in Deutschland nicht ausreichend gegeben (Payk, 2017). Vor allem die Versorgung von Patienten in weniger dicht besiedelten, ländlichen Gebieten erfordert eine intensive Beschäftigung mit neuen Behandlungskonzepten. Mit der COVID-19-Pandemie wurden die Engstellen und Grenzen des Gesundheitssystems aufgedeckt und gleichzeitig die Notwendigkeit für neue Denkansätze im Bereich der Telemedizin und der Bereitstellung von digitalen medizinischen und psychologischen Dienstleistungen und Informationen deutlich. Der Telemedizin und der computergestützten Therapie wird in Zukunft eine hohe Bedeutung zukommen. Entsprechend wichtig ist es, konkrete und wirksame Ansätze zu entwickeln, welche konventionelle Behandlungsansätze assistieren und erweitern können.

Ziel der zweiten Studie dieser Arbeit ist es, die Erkenntnisse aus Studie 1 an einem konkreten neuropsychologischen Krankheitsbild anzuwenden und zu erproben. Jedes Jahr erkranken circa drei bis fünf Millionen Menschen nach einem Schlaganfall an Neglect (Corbetta, Kincade, Lewis, Snyder, & Sapir, 2005). Bei einem Drittel der Betroffenen ist eine Chronifizierung von Neglect-Symptomen beobachtbar (Karnath, Rennig, Johannsen, & Rorden, 2011). Aufgrund der Komplexität dieser Erkrankung sind die Herausforderungen für Patienten, Behandler, Kliniken sowie das Gesundheitssystem enorm.

## 4.4 Theoretische Grundlagen

Im Folgenden wird eine Zusammenstellung, über die für Studie 2 relevanten theoretischen Grundannahmen zur vielschichtigen Störung des Neglects mit ihren weitreichenden Beeinträchtigungen verfasst. Für eine umfassende Darstellung des Störungsbilds sei auf entsprechende Lehrbücher verwiesen (Karnath, 2012; Kerkhoff & Schmidt, 2018).

### 4.4.1 Das Störungsbild Neglect

Das Syndrom eines unilateralen räumlichen Neglects tauchte in der medizinischen Literatur erstmalig in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auf (Bisiach & Vallar, 2000). Neglect (Synonyme: Hemineglect, halbseitige Vernachlässigung, halbseitige Aufmerksamkeitsstörung) bezeichnet dabei die beeinträchtigte oder verloren gegangene Fähigkeit, Reize in der der geschädigten Gehirnhälfte gegenüberliegenden Körper- oder Raumhälfte zu beachten und die verminderte Nutzung der kontraläsionalen Gliedmaßen. Eine primär sensorische Ursache, wie etwa eine Hemianopsie oder eine

Sensibilitätsstörung sowie eine motorische Störung, wie beispielsweise eine Hemiparese, reichen dabei nicht als alleinige Erklärung für die Symptome aus (Kerkhoff & Schmidt, 2018).

Das klinische Erscheinungsbild eines Patienten mit Neglect ist in der akuten Phase häufig dadurch geprägt, dass der Kopf und die Augen des Patienten in Richtung der Läsion (meist in der rechten Hirnhälfte) orientiert sind. Gegenstände oder Personen auf der kontraläsionalen Hälfte werden kaum oder nicht beachtet (Karnath, 2012). Die Probleme im Alltag sind häufig von großer Tragweite. So putzen Betroffene nur die rechtsgelegenen Zähne, kämmen sich nur die Haare auf der rechten Kopfhälfte, schminken oder rasieren nur die rechte Gesichtshälfte. Beim Fahren mit dem Rollstuhl stoßen Neglect-Patienten häufig linksseitig an, beim Essen wird nur von der rechten Seite des Tellers gegessen und Gegenstände auf der linken Seite eines Tisches werden nicht beachtet. Auch Lesen, Schreiben und Zeichnen bereiten Betroffenen Schwierigkeiten. So ist das Lese-Sinn-Verständnis oft nicht gegeben und beim Zeichnen oder Nachzeichnen eines Bildes wird meist nur die rechte Seite abgebildet, die linke Hälfte wird gar nicht, nur wenig detailliert oder verzerrt dargestellt.

Gleichzeitig liegen häufig Symptome von Unawareness (Anosognosie) vor. Die Betroffenen haben dabei kein Bewusstsein über ihre Defizite und entsprechend keine oder eine sehr eingeschränkte Krankheitseinsicht. Eine Störung der Awareness tritt bei nahezu allen Neglect-Patienten auf. Der Zustand der Unawareness ist jedoch nicht statisch und kann sich stufenweise von einer gänzlichen Verleugnung des eigenen Krankheitsbilds bis zur adäquaten Einsicht der Krankheitssymptomatik weiterentwickeln (Kerkhoff & Schmidt, 2018). Dies stellt auch eine der größten Herausforderungen bei Behandlungsansätzen und Therapie dar. Des Weiteren führt ein Neglect oft zu Schwierigkeiten im sozialen Umgang, einem prognostisch ungünstigen Rehabilitationsoutcome sowie zu Problemen bei der Teilnahme und Teilhabe an weiteren Rehabilitationsmaßnahmen (Fink & Heide, 2004). Gleichzeitig ist die Aufenthaltsdauer in rehabilitativen Einrichtungen bei Schlaganfallpatienten mit Neglect deutlich länger als bei Schlaganfallpatienten ohne Neglect (Gillen, Tennen, & McKee, 2005). Auch werden Neglect-Patienten nach der Rehabilitation öfter in ein Pflegeheim als nach Hause entlassen (Chen, Hreha, Kong, & Barrett, 2015).

#### 4.4.2 Ätiologie und Epidemiologie

Das Störungsbild des Neglects kommt häufiger nach einer Läsion der rechten, nicht sprachdominanten Hirnhälfte als der linken vor und beeinträchtigt die linke Seite des Patienten (Karnath, 2012). In der Akutphase tritt bei 43% aller Patienten mit einer rechtshemisphärischen Läsion und bei 20% aller Patienten mit einer linkshemisphärischen Läsion ein Neglect auf. Nach drei Monaten besteht bei 17% der rechtsseitig betroffenen Patienten noch eine Vernachlässigung der linken Hälfte und bei 5% der

linksseitig betroffenen Patienten noch ein Vernachlässigung der rechten Hälfte (Ringman, Saver, Woolson, Clarke, & Adams, 2004).

Ein Neglect tritt am häufigsten nach Mediainfarkten im zentralen und posterioren Teil der arteria cerebri media sowie nach ausgedehnten Posteriorinfarkten auf. Eine typische Läsion umfasst den rechten oberen und mittleren temporalen Kortex sowie die rechte Inselregion (Karnath, 2012). Ebenso sind superiorer posteriorer Temporallappen, inferiorer Parietallappen und der dorsolateral frontale Bereich mit Neglect assoziiert (Kerkhoff, 2004). Auch subkortikale Schädigungen im Bereich des Kleinhirns, der Basalganglien (Putamen, Nucleus caudatus) und des Thalamus (Pulvinar) können bei 30% der Betroffenen zu Neglect führen (Kerkhoff & Schmidt, 2018). Wenn auch seltener zu beobachten, so können ebenso Schädigungen in den gleichen Hirnbereichen durch Tumore, traumatische Verletzungen oder degenerative Erkrankungen (Heilman, Valenstein, & Watson, 2000) sowie epileptische Anfälle (Prilipko, Seeck, Mermillod, Landis, & Pegna, 2006) einen Neglect verursachen.

Früher meinte der Begriff Neglect vor allem die Vernachlässigung der visuellen Sinnesmodalität. Inzwischen gibt es eine deutlich differenziertere Betrachtung. So kann sich ein Neglect in verschiedenen Sinnesmodalitäten (visuell, akustisch, olfaktorisch, taktil), in unterschiedlichen Raumsektoren (extrapersonaler Fernraum, peripersonaler Greifraum, Ultranaum, personaler Körperraum, vorgestellter repräsentationaler Raum), verschiedenen Bezugsrahmen (egozentrisch, allozentrisch, objektzentriert) und Aufgaben manifestieren (Gammeri, Iacono, Ricci, & Salatino, 2020).

#### 4.4.3 Formen des Neglects

Da sich die vorliegende Studie vor allem mit der Vernachlässigung der visuellen Modalität beschäftigt, sollen diese Form und zugehörige diagnostische Ansätze im Folgenden genauer beschrieben werden.

##### *4.4.3.1 Visueller Neglect – Überblick und Diagnostik*

Der visuelle Neglect ist meist der mit den offensichtlichsten Symptomen und den größten Einschränkungen für Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL = engl. Activities of Daily Life) (Zebhauser, Vernet, Unterburger, & Brem, 2019). Bei einem visuellen Neglect zeigen die Patienten eine visuelle Vernachlässigung der kontraläsionalen Raumhälfte und eine überwiegende Exploration der ipsiläsionalen Raumhälfte. Betroffene zeigen eine Reduktion ihres visuellen Überblicks (Neumann, Kerkhoff, & Neu, 2007). Sie haben Schwierigkeiten ihre Aufmerksamkeit auf relevante Gegenstände der anderen Raumhälfte zu richten. Eine visuelle kontralaterale Vernachlässigung kann jedoch nicht nur als raumbezogener Neglect auftreten, sondern auch als objektbezogener Neglect. Allerdings treten beide Neglect-Phänomene häufig zusammen auf, wie zum Beispiel beim Lesen. Die durch einen Neglect hervorgerufene Beeinträchtigung beim Lesen wird Neglectdyslexie genannt und zeichnet sich in der Regel durch das

Weglassen und auch das Ersetzen von Wörtern, Silben, Buchstaben und Ziffern aus. Betroffene beginnen erst in der Mitte des Textes zu lesen oder schaffen es nach einem Zeilensprung nicht den Anfang der nächsten Zeile zu finden. Teilweise werden Neologismen oder andere Bedeutungen kreiert, da die ersten Buchstaben eines Wortes beim Lesen ausgelassen werden (Ellis, Flude, & Young, 1987).

### **Papier-Bleistift-Tests**

Ein visueller Neglect wird in der Regel durch Explorationsaufgaben wie Durchstreichtests oder Linienhalbierungstests und (Ab-)zeichentests diagnostiziert (Robertson, Tegnér, Tham, Lo, & Nimmo-Smith, 1995). Häufig verwendete Durchstreichaufgaben sind Aufgaben ohne Distraktorreize wie der *Albert's Test* (Fullerton, Mcsherry, & Stout, 1986) oder mit Distraktoren, wie der *Star Cancellation Test* (Friedman, 1992) oder der *Bells Test* (Gauthier, Dehaut, & Joannette, 1989). Es liegt eine gute Evidenz vor, dass diese Art von Tests, vor allem jene mit Distraktoren, die beste Sensitivität bei Papier-Bleistift-Aufgaben vorweisen (Halligan & Marshall, 1998; Halligan, Wilson, & Cockburn, 1990; Kinsella, Packer, Ng, Olver, & Stark, 1995; Marsh & Kersel, 1993). Bei der Auswertung wird meist auf die Anzahl der Auslassungen geachtet. Diese können noch nach Halbseite oder Quadrant auf dem Aufgabenblatt untergliedert werden oder es werden Differenzwerte gebildet oder der Startpunkt der Exploration betrachtet (Azouvi et al., 2006).

### **Linienhalbierungs-Tests**

Bei einem Linienhalbierungstest muss der Patient die Mitte einer oder mehrerer vorgegebener Linien markieren. Als Anzeichen für einen linksseitigen Neglect wird eine zu weit rechtsseitige Abweichung von der objektiven Mitte gewertet. Die Konstruktvalidität solcher Tests wird immer wieder hinterfragt (Marsh & Kersel, 1993), weshalb Linienhalbierungsaufgaben nicht als alleiniges Werkzeug zur Neglectdiagnose herangezogen werden sollten. Fehlerhafte Mittenabweichungen können auch bei Störungsbildern wie beispielsweise einer Hemianopsie auftreten (Kerkhoff & Schmidt, 2018), dann ist die Abweichung der Linienmitte meist nach kontraläsional, während sie beim Neglect meist nach ipsiläsional verlagert ist. Im klinischen Einsatz sind Linienhalbierungstests aber wegen ihrer einfachen und schnellen Durchführbarkeit als Screeninginstrument nicht wegzudenken.

### **(Ab-)zeichenaufgaben**

Bei diesen Verfahren sollen die Patienten entweder aus dem Gedächtnis ein Bild malen, wie beispielsweise einen Schmetterling oder eine Uhr (Ishiai, Sugishita, Ichikawa, Gono, & Watabiki, 1993) oder haben zur Aufgabe ein Bild abzuzeichnen, wie etwa eine Raute, einen Stern oder eine Blume (Danckert & Ferber, 2006). Bailey, Riddoch und Crome (2000) weisen auf die geringe Sensitivität, Reliabilität und

Validität von solchen Aufgaben hin. Dennoch können sie im Forschungskontext zur Untersuchung von Pathomechanismen und im klinischen Alltag zur Verlaufsbestimmung sinnvolle ergänzende Erkenntnisse liefern.

### **Weitere Diagnostikverfahren**

Weitere Möglichkeiten zur Diagnostik eines visuellen Neglects bieten Fremdbeurteilungsverfahren wie der Beobachtungsbogen für räumliche Störungen (Neumann et al., 2007) oder *die Catherine Bergego Scale* (GBS) (Schädler & Aviv, 2012), computergestützte Verfahren, wie die Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) (Zimmermann & Fimm, 2009) sowie Testbatterien wie Neglect-Test (NET) (Fels & Geissner, 1997). Sowohl die TAP als auch die NET haben den Nachteil, dass sie mit einem relativ hohem zeitlichen Aufwand verbunden sind und oft erst in späteren Phasen der Rehabilitation eingesetzt werden können, da akut betroffene Patienten durch die Komplexität häufig überfordert sind. Möglichkeiten zur Untersuchung von Beeinträchtigungen beim Lesen bieten unter anderem die Saarbrücker Lesetexte (Kerkhoff, Wimbauer, & Reinhart, 2012).

#### *4.4.3.2 Weitere Neglectformen*

Kerkhoff und Schmidt (2018) beschreiben weitere Neglectformen, die die multimodalen Beeinträchtigungen des Störungsbilds aufzeigen. Diese werden im Folgenden zusammengefasst dargestellt:

Der **auditorische Neglect** äußert sich durch eine geringe Reaktivität auf akustische Reize aus der kontraläsionalen Raumhälfte. Die Patienten haben Schwierigkeiten akustische Signale einer Richtung zuzuordnen und zeigen in Bezug auf die akustische Geradeausrichtung eine ipsiläsionale Abweichung.

Beim **somatosensiblen Neglect** zeigen Patienten eine geringe Reaktivität auf Schmerz und Berührungseize (zum Beispiel Einquetschen der Hand, Verbrennungen/Kälte).

Der **körperbezogene Neglect** äußert sich in einer gestörten Wahrnehmung des Körpers, vorwiegend der kontraläsionalen Körperhälfte. Patienten haben Schwierigkeiten bei der Ortung ihrer linksseitigen Extremitäten und bei der Wahrnehmung von Gegenständen, die sich nah am Körper befinden. Sie zeigen eine linksseitige Vernachlässigung der Körperpflege, wie zum Beispiel beim Waschen, Frisieren oder Rasieren sowie eine Vernachlässigung von Speiseresten in der kontraläsionalen Mundhöhle.

Beim **olfaktorischen Neglect** werden Gerüche in der kontraläsionalen Nasenhöhle nicht wahrgenommen. Da sich Gerüche schnell im Raum ausbreiten und mit der ipsiläsionalen Nasenhöhle erfasst werden, geht diese Form des Neglects mit einer nicht schwerwiegenden Funktionseinschränkung einher.



Der **motorische Neglect** äußert sich im geringen Einsatz von kontraläsionalen Gliedmaßen, vorwiegend von Bein und Arm. Patienten benutzen seltener ihren kontraläsionalen Arm während Aktivitäten, die in der Regel beidhändig ausgeführt werden (zum Beispiel Hose anziehen) und haben Schwierigkeiten eine richtige Fußstellung einzunehmen.

Der **repräsentationale Neglect** beeinträchtigt die mentale Repräsentation. Patienten haben hier Schwierigkeiten, Details der kontraläsionalen Seite aus einer vorgestellten Szenerie (zum Beispiel eigener Garten, Arbeitsplatz, Länder auf einer Weltkarte) wiederzugeben.

#### 4.4.4 Erklärungsmodelle für Neglect

Unterschiedliche Theorien versuchen die Entstehung eines Neglects infolge eines Hirninfarkts zu beschreiben. Im Folgenden werden ausgewählte Erklärungsmodelle eines Neglects (Aufmerksamkeits-theorien, Repräsentationstheorien, Transformationstheorien und Cerebrale Imbalance-Theorien) zusammengefasst vorgestellt.

##### *4.4.4.1 Aufmerksamkeitstheorien*

Die Aufmerksamkeitstheorien erklären Neglect durch eine rechts lateralisierte Verzerrung der räumlichen Aufmerksamkeit. An der räumlichen Aufmerksamkeit sind mehrere Teilprozesse beteiligt. Bei einem Neglect ist mindestens ein Teilprozess gestört. Eine der einflussreichsten Theorien ist die Annahme über die Verschiebung der Aufmerksamkeit von Posner, Walker, Friedrich und Rafal (1984). Sie postulieren, dass verdeckte Aufmerksamkeitsverschiebungen (d.h. ohne muskuläre Beteiligung) von drei internen mentalen Operationen abhängen: Lösen der Aufmerksamkeit von einem aktuellen Reiz, Verlagerung der Aufmerksamkeit auf das neue Ziel und Aktivierung/Fokussierung des neuen Ziels. Parietale Läsionen führen zu einem Versagen oder zu Latenzen bei der kontraläsionalen Verschiebung der Aufmerksamkeit (Karnath, 2015). Heilman und van den Abell (1980) beobachteten im EEG nach der Präsentation von rechts-lateralisierten Stimuli eine Desynchronisation des linken Parietallappens. Der rechte Parietallappen desynchronisierte sich dagegen gleichermaßen nach rechts- oder links-lateralisierten Stimuli. So schlossen die Autoren auf eine rechtshemisphärische Dominanz der räumlichen Aufmerksamkeit. Mesulam (1998) postulierte, dass visuell-räumliche Vernachlässigung nach einer Schädigung der rechten Hirnhälfte häufiger auftritt, weil die linke Hemisphäre die Aufmerksamkeit nur in Richtung des rechten Halbraums kontrolliert. Die rechte Hemisphäre dagegen kontrolliert die Aufmerksamkeit sowohl in Richtung des linken als auch in die des rechten Halbraums. Nach Karnath (2012) kann im Falle eines linksseitigen Neglects die kontraläsionale Vernachlässigung durch den Betroffenen mithilfe von Hinweisreizen gemindert beziehungsweise situativ vollständig kompensiert werden.

Dieser Effekt kann *bottom up* (abrupte Darbietung eines Hinweisreizes) oder *top down* (verbale Instruktion durch Versuchsleiter) erfolgen. Die Tatsache, dass dieser Effekt auf unterschiedliche Art erzeugt werden kann, gilt als Hinweis auf eine vorliegende Aufmerksamkeitsstörung beim Störungsbild des Neglects.

#### 4.4.4.2 Repräsentationshypothese

Die Repräsentationshypothese geht davon aus, dass bei einem Neglect die mentale räumliche Repräsentation der Umgebung, die der bewussten Wahrnehmung vorausgeht, beeinträchtigt ist. Diese Vorstellung entstammt dem klassischen Experiment von Bisiach und Luzzatti (1978). Sie untersuchten zwei Patienten mit visuellem Neglect und ließen sie einen ihnen gut bekannten zentralen Platz beim Mailänder Dom beschreiben. Stellten die Patienten sich vor, den Platz aus der Perspektive von der Kathedrale aus beschreiben, ließen sie die Gebäude auf der linken Seite weg. Sollten sie dagegen aus der Perspektive gegenüber dem Dom den Platz beschreiben, ließen sie die Gebäude auf der linken Hälfte weg, also diejenigen, welche vorher auf der rechten Seite waren.

#### 4.4.4.3 Cerebrale Imbalance-Theorien

Die cerebralen Imbalance-Theorien begründen sich unter anderem aus fMRI-Studien von Neglect-Betroffenen und gesunden Probanden. Corbetta und Shulman (2002) unterscheiden zwischen zwei Systemen, dem dorsalen System und dem ventralen System. Das dorsale System ist für die zielgerichtete Top-down-Selektion der Reiz-Reaktion von oben nach unten verantwortlich. Das ventrale System ist für die reizgesteuerte Erkennung von verhaltensrelevanten Reizen zuständig. In fMRI-Studien konnte gezeigt werden, dass das dorsale System auf die Fokussierung der Aufmerksamkeit und die Kontrolle der Augenbewegungen spezialisiert ist, während das ventrale System eine Neuorientierung der Aufmerksamkeit ermöglicht, um sich auf neue, relevante Stimuli zu konzentrieren (Wilke, Dechent, & Schmidt-Samoa, 2012). Der Imbalance-Theorie zufolge entsteht Neglect aufgrund einer Imbalance zwischen der relativen Gehirnaktivität in beiden Hirnhälften und eines Ungleichgewichts zwischen den kortikalen und subkortikalen Hirnstrukturen. Die gesunde Hirnhälfte ist hyperaktiv und inhibiert die geschädigte Hirnhälfte in ihrer Funktionalität mittels der interhemisphärisch verlaufenden Kommissurenbahnen, wodurch die Remission erschwert wird (Kerkhoff & Schmidt, 2018). Ein Neglect entsteht demzufolge aus einem läsionsabhängigen, hemisphärischen Ungleichgewicht zwischen dem dorsalen Aufmerksamkeitsnetzwerk und der durch Läsionen im ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerk verursachten Störungen in der Orientierung hin zu Stimuli, die außerhalb des Aufmerksamkeitsfocus liegen (Wilke et al., 2012).

#### 4.4.4.4 Transformationstheorien

Bei den Transformationstheorien wird davon ausgegangen, dass das egozentrische Koordinatensystem der Patienten durch die Schädigung zur ipsiläsionalen Seite hin rotiert. Die Repräsentation des Körpers in Bezug zur Umgebung ist aufgrund einer fehlerhaften Verrechnung der afferenten sensorischen Informationen aus den Sinnesorganen entsprechend verschoben (Kerkhoff, 2004). Karnath (1994; Karnath, 1997) geht dabei von einer Rotation des Raumes aus. Das bedeutet, der subjektive Raum um den Patienten verdreht sich um seine Körpermittelachse. Vallar (1997) nimmt dagegen eine Translation an. Er geht davon aus, dass sich die subjektive Mitte sowohl vor als auch hinter dem Betroffenen in Richtung der ipsiläsionalen Seite verschiebt. Kerkhoff, Schindler et al. (2006) fanden Hinweise, dass es sich bei einem auditiven Neglect eher um eine Rotation der subjektiven Mitte handelt. Es liegen empirische Befunde und daraus abgeleitete Therapieverfahren vor, die für die Transformationstheorien sprechen. Dazu zählen Verfahren wie die Vibration der kontraläsionalen posterioren Nackenmuskulatur (Schindler, Kerkhoff, Karnath, Keller, & Goldenberg, 2002), das Aufsetzen einer Prismenbrille (Frassinetti, Angeli, Meneghello, Avanzi, & Làdavas, 2002) und vor allem gut belegten Wirksamkeitsstudien über OKS (Karnath, 1996; Kerkhoff, Keller et al., 2012; Kerkhoff, Keller, Ritter, & Marquardt, 2006; Pitteri, Kerkhoff, Keller, Meneghello, & Priftis, 2015; Reinhart et al., 2016; Reinhart, Schindler, & Kerkhoff, 2011; Schaadt et al., 2016; Vallar, Guariglia, Nico, & Pizzamiglio, 1997).

Aufgrund der Komplexität und Vielschichtigkeit des Störungsbilds ist derzeit keine Theorie geeignet um alle Facetten des Neglects hinreichend zu erklären. Für die in Studie 2 untersuchten Verfahren scheint jedoch die Transformationshypothese als Grundlage am geeignetsten.

#### 4.4.5 Therapieansätze

In der stationären neuropsychologischen Rehabilitation ist die Neglect-Therapie von großer Bedeutung, da Neglect das Reha-Outcome, die Aufenthaltsdauer, die Teilhabe am Therapieangebot, die Entlassungsplanung (Pflegeheim oder nach Hause) und die soziale Interaktion negativ beeinflusst. Aber auch in der ambulanten und teilstationären Versorgung spielt die Neglect-Therapie eine wichtige Rolle.

Bei den Therapieverfahren gegen Neglect unterscheiden Bowen, Hazelton, Pollock und Lincoln (2013) zwei verschiedene Ansätze, den Top-down-Ansatz und den Bottom-up-Ansatz. Bei Top-down-Therapien wird der Rehabilitand aktiv mit einbezogen. Er wird dazu aufgefordert seine Aufmerksamkeit auf Reize aus der vernachlässigten Seite zu richten und nach ihnen zu suchen. Das Ziel von Top-down-Ansätzen ist es die Person so zu trainieren, dass sie ihre Vernachlässigung aus eigenem Willen versucht zu kompensieren. Solche Ansätze erfordern ein Bewusstsein für die Erkrankung und ein hohes Maß an aktiver Beteiligung der Patienten (Azouvi, Jacquin-Courtois, & Luauté, 2017). Als Beispiele wären

Explorationstraining, Alltagstraining oder Hinweisreiztherapie zu nennen. Der Bottom-up-Ansatz dagegen zielt auf die Manipulation der sensorischen Umgebung der Patienten. Diese benötigen daher weniger Bewusstsein (*Awareness*) für die Erkrankung. Die Manipulation der sensorischen Stimulation hat das Ziel das Referenzsystem der Patienten zu modulieren. Beispiele für diese Art der Therapie wären vestibuläre und galvanische Stimulation, OKS, elektrische Stimulation der Nackenmuskulatur (Azouvi et al., 2017), repetitive transkranielle Magnetstimulation (rTMS) und Thetaburst-Stimulation sowie transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS). Für einen umfangreichen Überblick auf die Therapieverfahren und deren Wirksamkeit sei auf Kerkhoff und Schmidt (2018) verwiesen.

#### 4.4.5.1 *Optokinetische Stimulation und Smooth Pursuit Eye Movement Training*

Zwei der grundlegenden theoretischen Konzepte in Studie 2 sind die OKS und das Smooth Pursuit Eye Movement Training (SPT), weswegen diese Therapieverfahren im Folgenden genauer betrachtet werden.

Das grundsätzliche Prinzip der OKS besteht darin, dass ein Muster aus beispielsweise Punkten oder auch einzelne Objekte sich auf einem Bildschirm kontinuierlich von rechts nach links (bei der Therapie eines linksseitigen Neglects) bewegen. Der Patient hat meist die Aufgabe, diese mit den Augen zu verfolgen. Die Reize sollten sich dabei mit einer Geschwindigkeit von fünf bis zehn Grad pro Sekunde bewegen. Dabei ist zu beachten, dass der Trainierende seine Aufmerksamkeit vollständig auf die sich bewegenden Objekte lenkt und entsprechend die Augenbewegungen durchführt (Keller, 2016). Mehrere Studien konnten die Wirksamkeit von OKS bei Neglect vor allem in der visuellen und auditiven Modalität nachweisen (Keller, Beer, & Kerkhoff, 2003; Kerkhoff et al., 2013; Kerkhoff et al., 2014; Kerkhoff, Keller et al., 2006; Kerkhoff, Keller et al., 2012).

„*Smooth pursuit eye movements*“ sind langsame Augenfolgebewegungen, die es erlauben, ein Objekt genau zu verfolgen. Augenbewegungen sind eine hochkomplexe motorische Leistung und werden in der Regel immer konjugiert, also mit beiden Augen synchron ausgeführt. Sie werden, anders als Bewegungen der Gliedmaßen, nicht über das erste und zweite Motorneuron, sondern über zusätzliche, übergeordnete Neuronenverbände manipuliert (Strupp et al., 2011). Verschiedene neuronale Regelkreise verarbeiten unterschiedliche Aspekte der Okulomotoriksteuerung wie Sakkaden, langsame Augenfolgebewegungen, den vestibulo okulären Reflex und dessen Unterdrückung durch Fixation, Konvergenz und Divergenz, den optokinetischen Nystagmus und die Blickhaltefunktion (Müller, 2020). Neuronal geschieht die motorische Steuerung der langsamen Augenfolgebewegungen im Flocullus und Paraflocullus des Kleinhirns (Kheradmand & Zee, 2011). SPT welches OKS nutzt, konnte eine

Überlegenheit zu anderen Verfahren bei der Therapie des Neglects in der visuellen, auditorischen und haptischen Modalität zeigen (Kerkhoff et al., 2014).

Die OKS wirkt auf unterschiedliche Gehirnbereiche ein, welche bei der räumlichen Kodierung des visuellen und auditorischen Systems beteiligt sind, wie der temporo-parietalen Kortex, die Basalganglien, der Hirnstamm und das Kleinhirn (Kerkhoff, Keller et al., 2012). Ein typisches Training der OKS wird auf einem PC-Bildschirm mittels Software wie dem OK-Neglecttraining von Psycware (Beer, 2018) oder Eyemove (Kerkhoff & Marquardt, 2009) durchgeführt. Nach bestem Wissen des Autors der vorliegenden Arbeit sind zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit noch keine Verfahren untersucht worden, welche mit OKS und VR präsentiert über ein HMD arbeiten.

#### *4.4.5.2 VR-Ansätze zur Neglect-Therapie und Diagnostik*

In der Neurorehabilitation entwickeln sich durch den Einsatz von VR neue Therapie- und Diagnostikmöglichkeiten. Die Verwendung eines HMDs ist jedoch noch nicht in den klinischen Alltag integriert, da noch keine ausreichende Befundlage existiert. Daher sollen die in dieser Arbeit durchgeführten Studien mögliche Evidenz für diesen Bereich der neuropsychologischen Therapie untersuchen. Nun folgt eine kurze Übersicht zu aktuellen Studien und Ergebnissen zum Thema VR und Neglect, die sich auf die Anwendung von HMDs zur Therapie und Diagnostik von Neglect konzentrieren.

Knobel et al. (2020) untersuchten eine immersive 3D-VR-Durchstreichaufgabe für visuellen Neglect. Dabei mussten Neglect-Patienten und eine Kontrollgruppe im dreidimensionalen Raum in einer um sie aufgespannten halben Kugel Objekte markieren. Zum einen zeigte sich eine gute Durchführbarkeit und Akzeptanzrate bei der Neglect- und der Kontrollgruppe. Zum anderen ergab sich eine hohe Korrelation zu Ergebnissen mit Papier-Bleistift-Durchstreichaufgaben. Yasuda, Muroi, Ohira und Iwata (2017) ließen Neglect-Patienten in einem dreidimensionalen Raum, dargestellt auf einem HMD, nach Gegenständen suchen. Sie konnten positive Effekte auf Neglect im Fernraum nachweisen, nicht jedoch im Greifraum. Ronchi et al. (2018) versuchten mithilfe eines HMDs einen Neglect diagnostisch zu erfassen. Dazu präsentierten sie zwölf Schlaganfallpatienten einen virtuellen Raum. In diesem mussten die Patienten, je nach Level, entweder statische oder sich bewegende Objekte wie beispielsweise einen Hasen finden. Bei vier Patienten zeigten sich sowohl in gängigen Papier-Bleistift-Tests als auch in der VR-Bedingung Hinweise auf Neglect. Zwei der Patienten waren in den Items der CBS, welche Neglect im extrapersonalen Raum erfassen, unauffällig, während sie in der VR-Bedingung auffallend waren. Wagner, Preim, Saalfeld und Belger (2019) stellten die VR-Anwendung iVRoad vor. Mit deren Hilfe können Untersuchungen zur Diagnostik von extrapersonalem Neglect durchgeführt werden. Die Proband müssen dafür eine virtuelle Straße überqueren. Das Ergebnis der klinischen Pilotstudie steht bis dato noch aus.

Araikawa, Sugano, Takabatake und Naitoh (2018) untersuchten ein einfaches System zur Messung visueller kognitiver Funktionen bei Neglect mittels eines Smartphones, das in eine Smartphone-Halterung für ein HMD-System eingespannt wurde. Die Probanden mussten dazu Zahlen vorlesen, welche ihnen in unterschiedlicher Anordnung auf jeweils dem linken oder rechten Auge präsentiert wurden. Da das System die Kopfdrehbewegung nicht miterfasste, konnte der visuelle Erfassungsbereich der Augen quantifiziert werden. Kim, Kim, Choi, Lee und Shin (2021) untersuchten eine auf VR basierende Technik zur Beurteilung des Wahrnehmungs- und Sichtfeldes bei hemisphärischem Neglect (FOPR-Test). Sie verglichen 19 Schlaganfallpatienten mit einer Läsion in der rechten Hemisphäre und Neglect, 22 Patienten mit einer Läsion in der rechten Hemisphäre ohne Neglect und 22 Personen als Kontrollgruppe. Die Teilnehmer mussten zunächst den Kopf auf ein Fixationskreuz ausrichten. Von dort aus mussten sie Ziele, die rote oder blaue Kugeln waren, an vordefinierten Stellen in der VR-Umgebung erfassen. Zur Messung der Wahrnehmungsfeldes (*field of perception*) wurde die Kopfbewegung dabei nicht miterfasst. Zu Messung des Gesichtsfeldes (*field of regard*) wurde die Kopfbewegung miterfasst. Gemessen wurden die Erfolgsrate, definiert als der Prozentsatz der richtigen Antworten (Klicken der linken oder rechten Maustaste als Reaktion auf ein blaues bzw. rotes Ziel innerhalb des Zeitlimits), und die Reaktionszeit. Die Ergebnisse zeigten den FOPR-Test als valides Diagnoseinstrument, welches entsprechend mit konventionellen Neglect-Tests übereinstimmte. Die Miterfassung der Reaktionszeit zeigte sich bei der Erfassung von Neglect als wichtiger Faktor Neglect genauer zu identifizieren. Ebenso zeigte sich eine schnelle und einfache Durchführbarkeit in der klinischen Umgebung.

Choi, Shin und Bang (2021) versuchten VR präsentiert über ein HMD therapeutisch einzusetzen. Sie untersuchten die Anwendung digitaler Übungen zur Verbesserung der Kopfbewegung, der visuellen Wahrnehmung und der Aktivitäten des täglichen Lebens bei subakuten Schlaganfallpatienten mit Neglect. Die genutzten Übungsprogramme waren allerdings keine speziell für Neglect-Patienten erstellten Therapieverfahren. Es wurden Programme benutzt, welche mit der zur Erfassung der Handbewegung eingesetzten Leap Motion Geräte kompatibel waren. Dennoch zeigten sich im Vergleich zur Kontrollgruppe bei der digitalen Übungsgruppe signifikant größere Verbesserungen bei der Linienhalterung und bei visuellen Wahrnehmungsaufgaben. Die Autoren schlussfolgerten, dass VR-basierte Trainingsprogramme via HMD demnach ein erschwinglicher Ansatz zur Wiederherstellung der visuellen Wahrnehmung und der Kopfbewegung bei Neglect-Patienten sein könnten.

Ein Vorteil der Darstellung des Therapiematerials auf HMDs könnte auch darin liegen, dass ein räumlicher, dreidimensionaler Eindruck entsteht und entsprechend ein größerer Einfluss auf die räumliche Kodierung ausgeübt wird. Im Gegensatz zur Darstellung von OKS oder SPT-Reizen auf einem flachen Bildschirm, bewegt sich das Bezugsobjekt (in Studie 2 das Pferd) im dreidimensionalen Raum um die Patienten herum und nicht nur vor ihm von rechts nach links. Es ist vorstellbar, dass das egozentrische

Koordinatensystem (vgl. Transformationstheorien) der Patienten auch eine räumliche Komponente aufweist und somit auf eine „natürlichere“ Weise stimuliert wird. Weiterhin zeigen Bohil, Alicea und Biocca (2011), dass sich eine visuell aufwendige Darstellung motivationsfördernd auswirken kann. Motivation spielt eine wichtige Rolle für den Therapieerfolg einer neurorehabilitativen Maßnahme (Hosp, Triem, & Luft, 2010; Johannes & Hellweg, 2010). Ebenso ermöglichen VR-Umgebungen die Manipulation multmodaler Stimulationseingaben. Dadurch kann die sensomotorische Illusion, sich tatsächlich in der dargestellten Umwelt zu befinden, verstärkt werden. Somit können realistische Stimuli im Gegensatz zu einfachen Reizen zu einer höheren Aktivierung des sensomotorischen Systems führen. Dies kann das Potenzial für realistische Verhaltensreaktionen steigern (Bohil et al., 2011). Bei Neglect-Patienten mit eingeschränkten Aufmerksamkeitsleistungen wäre aber auch eine Überforderung aufgrund dieser Multimodalität des Verfahrens denkbar.

Wegen der zahlreichen positiven Befunde über den Einsatz von OKS und SPT (vgl. 7.4.5.1) erscheint es sinnvoll, bei dem Pilotversuch ein VR-Neglecttraining für HMDs zu untersuchen, einen Therapieansatz zu entwickeln, welcher auf Grundlagen von OKS und SPT beruht. Therapiemethoden, die mit Suchaufgaben arbeiten wie beispielsweise visuellem Scanning werden im klinischen Alltag zwar häufig eingesetzt, es fehlt aber der Nachweis eines Übertrags auf lebensnahe Aufgaben (Pizzamiglio et al., 1992; Robertson, 1999) sowie ein Wirken auf weitere Sinnesmodalitäten außerhalb der visuellen (Kerkhoff & Schenk, 2012). Die vorliegende Arbeit soll nun die Implementierung eines SPTs, also langsamer Augenfolgebewegungen, in eine VR-Aufgabe untersuchen, welche den Patienten auf einem HMD präsentiert wird. Studie 2 setzt dabei am Model von Birkhead et al. (2019) „Virtual Reality Clinical Outcomes Research Experts“ zwischen Stufe VR2 und VR3 an. VR2 Studien führen frühe Testphasen mit dem Fokus auf Machbarkeit, Akzeptanz, Toleranz und initialer klinischer Wirksamkeit durch (vgl. 2.4) während VR3 Studien klinisch bedeutsame Outcomes zwischen Interventions- und Kontrollgruppe in randomisierten, kontrollierten Studien untersuchen.

## 4.5 Fragestellung und Variablenwahl

### 4.5.1 Fragestellungen und Forschungshypothesen

Nach Vorstellung der theoretischen Konzepte und empirischen Befunde können für die durchgeführte Untersuchung folgende Forschungsfragen abgeleitet werden.

In Anlehnung an die Überlegungen in der Einleitung dieser Arbeit zu möglichen Maßnahmen gegen Simulator Sickness (vgl. [2.3.2.4](#)) und aufgrund der Ergebnisse aus Studie 1 ist anzunehmen, dass entsprechend aufgenommene und dargestellte 360-Grad-Videos unter Berücksichtigung der genannten Rahmenbedingungen keine oder nur geringe Nebenwirkungen hervorrufen sollten. Dennoch gibt es aktuell noch keinerlei Untersuchungen, die zeigen, ob dies auch auf Patienten mit Neglect zutrifft. Daraus kann Hypothese 1 abgeleitet werden:

***H1: Der Einsatz von virtueller Realität führt zu keinen Nebenwirkungen wie Schwindel oder Übelkeit bei Patienten mit Neglect.***

OKS-Verfahren, welche mit dem Einsatz von HMDs und VR arbeiten, sind nach bestem Wissen des Verfassers dieser Arbeit zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit nicht bekannt. Pizzamiglio, Frasca, Guariglia, Incoccia und Antonucci (1990) konnten zeigen, dass eine OKS auf einem großen Display zu einer vorübergehenden Reduktion der Neglect-Symptome führte. Da ein HMD eine Displaygröße abbildet, welche den gesamten Explorationsraum des Patienten abbildet, ist ein ähnlicher Effekt denkbar. Ein ebenso vergleichbarer Trainingsreiz könnte jedoch konventionelle OKS mit SPT (vgl. [7.4.5.1](#)) sein. Im in dieser Studie dargestellten Video bewegt sich nur ein kleiner Ausschnitt auf dem Display, nämlich das Pferd, das um den Patienten herum im Kreis trabt. Kerkhoff, Keller et al. (2012) konnten zeigen, dass unmittelbar nach einer OKS nach links eine kontraläsionale Verschiebung der subjektiven auditiven Mittellinie erfolgte, welche bis zu 30 Minuten nach der OKS anhielt. Es ist also vorstellbar, dass unmittelbar nach der Anwendung des hier untersuchten Verfahrens ein ähnlicher temporärer, aber messbarer Effekt auf die Neglect-Symptomatik nachweisbar ist. Daraus ergibt sich Hypothese 2:

***H2: Die Patienten zeigen unmittelbar nach Anwendung der VR-Therapieintervention eine signifikante Verbesserung der visuellen Neglect-Symptomatik.***



Vor der Annahme, dass die VR-Therapieintervention einen positiven Effekt auf die Neglect-Symptomatik hat, stellt sich die Frage, ob der angenommene Effekt anhält oder eventuell verzögert auftritt. Es lässt sich daraus Hypothese 3 ableiten:

***H3: Die Leistungen in der Neglect-Diagnostik zeigen sich auch nach zwei bis drei Tagen nach der ersten VR-Therapieeinheit als Add-on signifikant besser als vor der VR-Intervention.***

Empirische Befunde zeigen, dass eine wiederholt durchgeführte OKS Neglect-Symptome sowohl kurzfristig, als auch dauerhaft verbessern kann (Kerkhoff & Schmidt, 2018). Aufgrund der vermuteten, sich überlappenden Wirkmechanismen der Therapieformen (OKS und VR-Therapieintervention) lässt sich für die repetitive VR-Therapieintervention in der hier durchgeführten Studie Hypothese 4 ableiten:

***H4: Die Patienten zeigen nach einer Woche VR-Therapieintervention (dreimal als Add-on eingesetzt), eine signifikant größere Reduktion der visuellen Neglect-Symptomatik als nach einer Woche der konventionellen Therapie ohne dieses Add-on.***

Die Augen der Patienten sind während der Anwendung von dem HMD vollständig verdeckt. Entsprechend ist für den Versuchsleiter nicht erkennbar, wohin sich die Augen während der Anwendung bewegen. Zum Zeitpunkt der Untersuchung war noch kein passendes Eye-Tracking-System für die verwendete VR-Brille verfügbar. Entsprechend konnte von außen nur die Kopfbewegung der Patienten gesehen werden sowie der gespiegelte Bildschirminhalt des HMDs. Wenn die Patienten das um sie herum trabende Pferd jedoch mit dem Blick verfolgen, so sollte sich dies in der Kopfdrehbewegung widerspiegeln. Wenn sich das Explorationsfeld weiter nach links (kontraläsional) hin vergrößert, so sollte sich auch die Amplitude der Kopfdrehbewegung nach links vergrößern. Es ist denkbar, dass die Patienten nach einer Phase der Eingewöhnung immer weiter nach links suchen und dass dies mit größeren Winkeln der Kopfrotation nach links einhergeht. Entsprechend kann Hypothese 5 abgeleitet werden:

***H5: Die Kopfrotation der Patienten ist am Ende einer VR-Therapieeinheit signifikant weiter nach links gerichtet als zu Beginn einer VR-Therapieeinheit.***

## 4.5.2 Vorstellung der Variablenwahl

### 4.5.2.1 Prädiktorvariablen (UV)

Bei den Prädiktorvariablen wurde zwischen zwei Therapieinterventionen (zusätzliche VR-Therapieintervention versus konventionelle Therapieintervention) unterschieden, wobei die Probanden gemäß eines Within-Subjects-Designs beide Interventionsformen durchlaufen haben. Aus ethischen Gründen erhielten die Probanden die konventionelle Therapieform auch während der Phase der VR-Therapieintervention weiterhin.

### 4.5.2.2 Kriteriumsvariablen (AV)

Als Kriteriumsvariable wurde in der vorliegenden Studie die visuelle Neglect-Symptomatik mittels vier Testverfahren erfasst, wobei es sich um den Line Bisection Test nach Bailey, Mears und Riddoch (2000), einem nicht veröffentlichten Zahlendurchstreichtest von Kerkhoff et al. (2014 NNR-Arbeit), den Saarbrücker Lesetexten von Kerkhoff, Wimbauer und Reinhart (2012) und den von Bailey et al. (2000) modifizierten Clock-Drawing-Test nach Wilson, Cockburn und Halligan (1987) handelte. Mittels einer in das Aufnahme­feld der 360-Grad-Kamera graphisch eingefügten Winkelscheibe und eines an die VR-Brille angebrachten Stabs war es möglich den Winkel der Kopffrotation der Patienten zu messen, wodurch Aussagen zur Sensitivität gegenüber des linken Aufmerksamkeitsbereichs gemacht werden konnten. Nach Analyse der Videoaufnahmen wurden für die Winkelgrößen Durchschnittswerte gebildet.

### 4.5.2.3 Kontrollvariablen

Als Kontrollvariablen zur Erhebung weiterer möglicher Einflussvariablen wurden vor der Untersuchung zusätzlich Geschlecht, Alter sowie Art des Hirninfarkts (ischämisch oder hämorrhagisch) der Patienten erhoben.

## 4.6 Material und Methode

### 4.6.1 Probanden und Aufnahmevoraussetzungen

Die Aufnahme der Patienten erfolgte nach dem in Abbildung 33 dargestellten Aufnahmeschema. Die Untersuchungsteilnehmer waren 28 Patienten der Vamed Klinik Kipfenberg, welche erstmalig einen ischämischen oder hämorrhagischen Hirninfarkt erlitten hatten und darauf die Diagnose eines linksseitigen visuellen Neglects erhielten. Es wurden 16 Frauen und 12 Männer in die Untersuchung aufgenommen. Das Durchschnittsalter betrug 64,71 Jahre ( $SD= 6.95$ ), die Altersspanne erstreckte sich von 54 bis 84 Jahre. Es wurde nach der Diagnose neurologischer Neglect (ICD-10, R29.5) gefiltert. Ausgedehnte Mediainfarkte der parietalen und zentralen Astgruppe sowie Posteriorinfarkte mediotemporal gelten als die häufigste Ursache von Neglect (Mort et al., 2003). Als weiterer Suchfilter wurde ein Mediainfarkt rechts (ICD-10, I63.5) hinzugenommen und darunter Patienten mit aufgenommen, welche von den in der Klinik arbeitenden Neuropsychologen einen Neglect diagnostiziert bekommen hatten. Patienten mit unzureichendem Instruktionsverständnis aufgrund weiterer neurologischer Schädigungen, Patienten mit Epilepsie oder mit vorbestehenden psychiatrischen Störungen (zum Beispiel Substanzabhängigkeit, Schizophrenie, Wahnvorstellungen, etc.) und Patienten mit Demenz in der Vorgeschichte wurden aus der Studie ausgeschlossen (vgl. Tabelle 28).

Tabelle 28: Übersicht über Ein- und Ausschlusskriterien für Probanden zur Studienteilnahme in Studie 2

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alter zwischen 18 und 90 Jahren</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• GDS* &lt; 10 (keine klinisch relevante Depression)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ausreichend sprachliche, visuelle, kognitive Fähigkeiten</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• MMST &lt; 18</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mediainfarkte der parietalen und zentralen Astgruppe sowie Posteriorinfarkte medio-temporal</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Epilepsie, visuelle Symptomatik Doppelbilder, Schwindel</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• schriftliche Einwilligung (des Patienten und ggf. des gesetzlichen Betreuers) sowie Aufklärung durch Prüfarzt</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• multiresistente isolierungspflichtige Keime</li></ul>

\*GDS: Geriatric Depression Scale

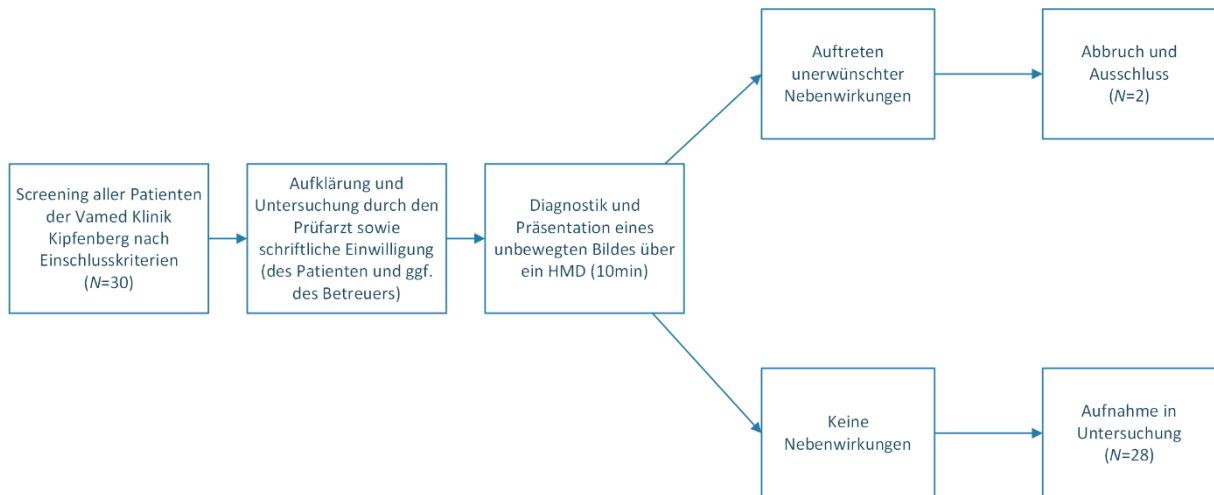


Abbildung 33: Aufnahmeablaufschema der Patientenrekrutierung nach CONSERT-Kriterien

## 4.6.2 Mess- und Untersuchungsinstrumente

Nachfolgend werden alle Mess- und Untersuchungsinstrumente beschrieben. Des Weiteren wird auch das Auswertungsvorgehen dargestellt. Zum Schluss wird auf die verwendeten technischen Instrumente und den Versuchsaufbau eingegangen.

### 4.6.2.1 Messinstrumente

Die Messinstrumente zur Erfassung der visuellen Neglect-Symptomatik waren der Line Bisection Test nach Bailey et al. (2000), ein Zahlendurchstreichetest von Kerkhoff et al. (2014, NNR) die Saarbrücker Lesetexte (Kerkhoff, Wimbauer, & Reinhart, 2012) und eine von Bailey et al. (2000) modifizierte Version des Clock-Drawing-Tests (Wilson, Cockburn, & Halligan, 1987).

#### Line Bisection Test

Beim Line Bisection Test (Bailey et al., 2000) haben die Patienten die Aufgabe, drei auf einem DIN-A4-Blatt abgebildete Linien (Länge: 20 cm) möglichst genau in der Mitte zu halbieren. Dabei ist die erste Linie weit rechts am Arbeitsblatt abgedruckt, die zweite Linie mittig und die unterste Linie weit links. Die Abweichung von der Mitte wird in Zentimetern und Millimetern angegeben. Aus allen drei Linien wird anschließend ein mittlerer Fehlerwert berechnet. Die Höhe dieses Fehlerwertes gibt dabei die mittlere Abweichung an. Bailey et al. (2000) schlagen einen Cut-Off-Wert von 1 Zentimeter nach links beziehungsweise rechts vor.

## Zahlendurchstreichtest

Beim Zahlendurchstreichtest nach Kerkhoff et al. (2014, NNR) müssen die Patienten auf einem DIN A4 Aufgabenblatt, auf welchem die Ziffern von 0 bis 9 jeweils zwanzigmal verstreut abgebildet sind (also insgesamt 200 einstellige Zahlen), die vom Versuchsleiter genannte Ziffer durchstreichen. Das Blatt liegt dabei mittig vor dem Patienten. Jede einzelne Zahl kommt genau zehnmal in der linken Blatthälfte vor und zehnmal in der rechten. Zu jedem Messzeitpunkt soll eine andere Zahl so rasch wie möglich ausgestrichen werden. Also etwa im ersten Durchgang die Fünf, im zweiten die Sieben und so weiter. Im Gegensatz zu den anderen Durchstreichaufgaben kommt bei diesem Test also ein wechselndes Zielobjekt vor, sodass Gedächtniseffekte bei wiederholter Testdurchführung minimiert werden. Ein Lateralitysindex (LI) aus dem Verhältnis der durchgestrichenen Ziffern auf der linken Seite des Aufgabenblatts in Bezug zur Gesamtzahl der korrekt durchgestrichenen Ziffern kann als zentraler Kennwert für das Testverfahren herangezogen werden (Friedman, 1992). Der LI berechnet sich wie folgt:

$$LI = \frac{\text{durchgestrichene Zahlen links}}{\text{Gesamtzahl korrekter Durchstreichungen}} = \frac{\text{links}}{\text{korrekt total}}$$

So ergeben sich Werte zwischen [0;0,46], welche auf einen linksseitigen Neglect hindeuten und für einen rechtsseitigen Neglect Werte zwischen [0,54;1]. Mit einer Sensitivität von 76,4% ist der Test zwar als sehr gut anzusehen, dennoch muss dieses Ergebnis relativiert werden, da die Antworten intervallskaliert sind und somit nicht dem Format für statistisch korrekte Angaben für die Test-Sensitivität entsprechen (Bailey et al., 2000). Als zusätzliche Unterstützung wird deshalb die zuerst angestrichene Zahl markiert und danach überprüft, wie weit rechts sie sich befindet. Dies kann einen weiteren Hinweis auf einen rechtsgerichteten Aufmerksamkeits-Bias geben, der typisch für Neglect-Patienten ist. Dazu wird das Blatt von links nach rechts in sieben Spalten unterteilt (Azouvi et al., 2002).

## Saarbrücker Lesetexte

Bei den Saarbrücker Lesetexten von Kerkhoff, Wimbauer und Reinhart (2012) bekommen die Probanden einen kurzen Lesetext vorgelegt, welchen sie laut und so schnell und genau wie möglich vorlesen sollen. Die sechs möglichen Prosa-Texte haben jeweils genau 180 Wörter und sind als Paralleltests für Messwiederholungen konzipiert (Kerkhoff et al. 2012). Den Teilnehmern wurden daraus kürzere Texte mit 50 bis 54 Wörtern vorgelegt, da Patienten in der Frührehabilitation nicht so lange belastbar sind. Die Lesezeit wurde mittels Stoppuhr erfasst und in Sekunden gemessen. In der vorliegenden Studie wurde nach 120 Sekunden der Lesetest beendet. Zusätzlich wurden die Lesefehler der Patienten durch den Versuchsleiter erfasst. Als Lesefehler galt jede Falschnennung eines Wortes oder einzelner Silben

sowie Auslassungen und Ersetzungen. Alle Fehler wurden gezählt, auch wenn sie von den Patienten später korrigiert wurden.

### **Modifizierter Clock-Drawing-Test**

Der Clock-Drawing-Test ist vielfältig einsetzbar. Meist wird er in der Demenztestung verwendet, aber auch zum Überprüfen von visuell-räumlichen, visuell-konstruktiven und exekutiven Schwierigkeiten (Spreen, 2006). Beim modifizierten Clock-Drawing-Test (Bailey et al., 2000) haben die Probanden die Aufgabe, eine Uhr mit ihren Ziffern zu zeichnen und die Uhrzeit 23:10 Uhr („zehn nach elf“) einzutragen. Der Versuchsleiter beurteilt auf einer Ratingskala von 1 bis 4 die Qualität der gezeichneten Uhr. Bailey et al. (2000) gehen ab einer Punktezahl von weniger als 3 von einem sehr auffälligen Wert aus (vgl. Tabelle 29). Die Anleitung der Probanden für die diagnostische Untersuchung sowie für die Durchführung einer VR-Therapieeinheit erfolgte mittels Instruktionsheft (siehe Anhang).

*Tabelle 29: Punktekriterien des Clock-Drawing-Tests (nach Bailey et al., 2000)*

<b>erreichte Punktezahl</b>	<b>Merkmale der Uhr</b>
4 Punkte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• normal gezeichnete Uhr</li> </ul>
3 Punkte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• symmetrische Zeichnung mit Auslassungen oder ausgelassenen oder verdrehten Zahlen</li> </ul>
2 Punkte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unvollständige Zeichnung mit mehr Zahlen auf einer Seite als auf der anderen Seite</li> </ul>
1 Punkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahlen sind nur auf einer Seite der Uhr eingezeichnet</li> </ul>

### **Erfassung des Wohlbefindens**

Aufgrund der Neglect-Symptomatik konnte der in Studie 1 eingesetzte Fragebogen nicht unmittelbar verwendet werden, da das Anstreichen oder Zeigen auf einen Smiley wahrscheinlich die Ergebnisse durch den typischen rechtsseitigen Aufmerksamkeits-Bias verfälscht hätte. Es wurde vor der VR-Anwendung darauf hingewiesen, dass Unwohlsein und jede andere Form von Nebenwirkungen und Missempfindungen sofort an den Untersuchungsleiter gemeldet werden sollen. Die freien Antworten wurden notiert und qualitativ untersucht.

### **Messung der Kopffrotation**

Bei einem Teil der Versuchspersonen ( $n=14$ ) wurde die Kopffrotation mitgemessen. Dazu zeichnete eine 360-Kamera aus einer Position von 10 cm über der Körpermitte des Patienten diesen während der Untersuchung auf. Ein an der VR-Brille angebrachter Stab diente als Orientierungspunkt (vgl. Abbildungen 34 und 37). Eine digital in das Aufnahmegebiet der 360-Grad-Kamera graphisch eingefügte Winkelscheibe ermöglichte es, bei der Sichtung des Videomaterials der 360-Grad-Kamera, für jede Explorationsbewegung den Winkel der Kopffrotation der Probanden zu messen. So konnten Aussagen zur Sensitivität der Probanden gegenüber ihres linken Aufmerksamkeitsbereichs gemacht werden. Es handelt sich um ein Messinstrument, welches vom Autor dieser Arbeit entworfen wurde und nach Literaturrecherche in keiner vergleichbaren Studie zu finden ist. Der Endpunkt der visuellen Verfolgung des trabenden Pferdes nach links ergibt den maximalen Bereich der Kopfdrehung. Während der zehnmütigen Untersuchung wurden jeweils ein Durchschnittswert für die erreichten Winkelgrade der Probanden für die ersten 4,5 Minuten und ein Durchschnittswert für die letzten 4,5 Minuten gebildet. Es wurden nur Winkelmessungen miteinbezogen, wenn aus der Videoaufnahme ersichtlich wurde, dass bei Drehung des Kopfes eine Verfolgung des trabenden Pferdes stattgefunden hat. Maximal 19 Winkelmessungen waren in je 4,5 Minuten möglich. Vor jeder VR-Therapieeinheit erfolgte die Einstellung und Kalibrierung der 360-Grad-Kamera sowie die Ausrichtung der Versuchsperson manuell.

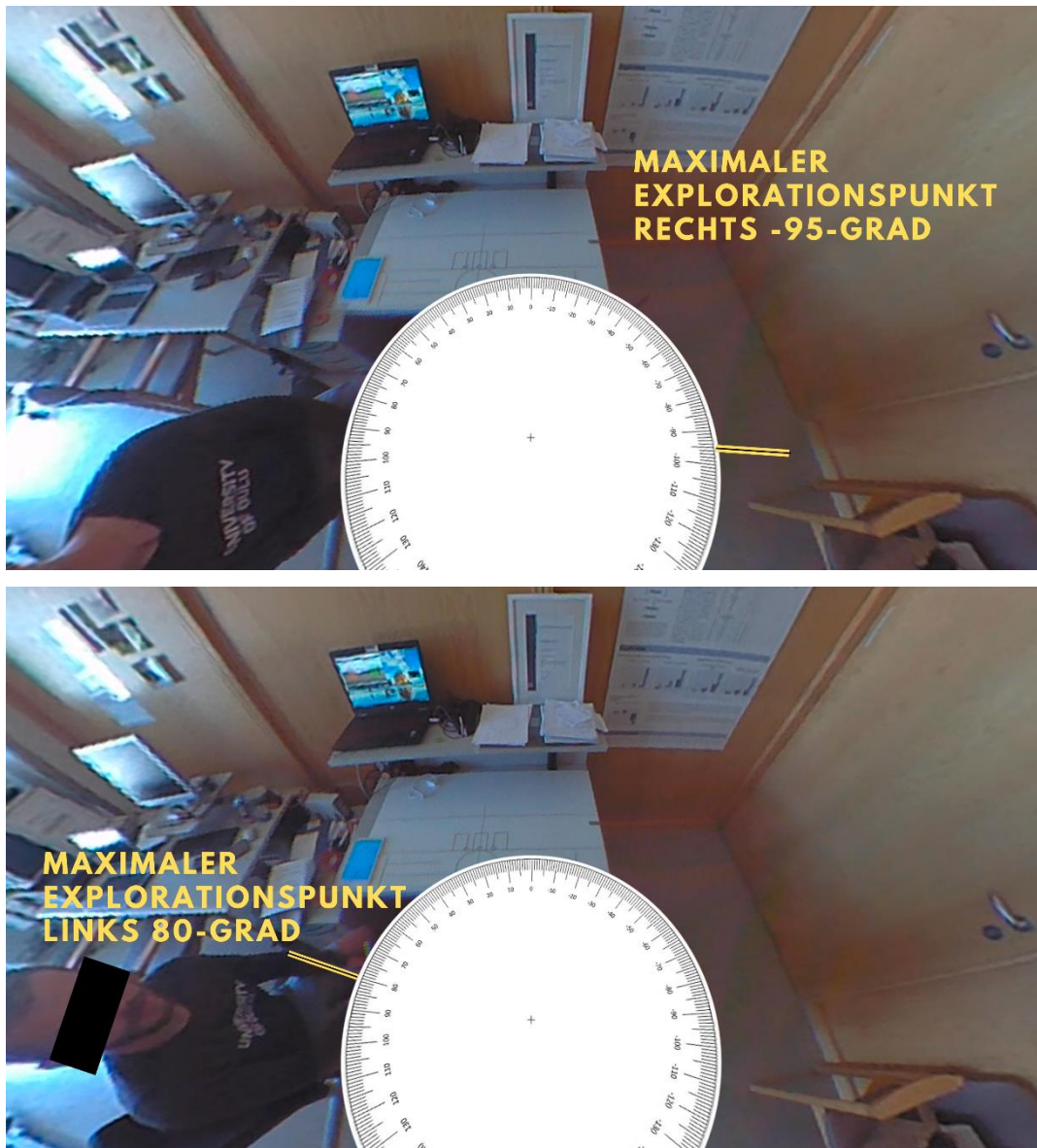


Abbildung 34: Erfassung des visuellen Explorationsbereiches nach links und rechts mithilfe der Messung der Kopffrotation

#### 4.6.3 Beschreibung der Versuchsmaterialien

Die Untersuchung wurde im Forschungslabor der Vamed Klinik Kipfenberg durchgeführt. Während der Durchführung hielten sich nur der Versuchsleiter und der Versuchsteilnehmer im Raum auf. Alle Probanden saßen krankheitsbedingt in einem Rollstuhl. Der Versuchsleiter platzierte sich sitzend links neben dem Probanden. Vor dem Versuchsteilnehmer stand ein Schreibtisch, auf dem das abgespielte Video aus Sicht des Probanden für den Versuchsleiter sichtbar war. Dazu wurde das Bild, das im HMD angezeigt wurde, auf den Bildschirm des Notebooks gespiegelt (vgl. Abbildung 37).

Der Versuchsleiter hielt zudem ein Tablet, auf welchem er die Videoaufnahme der 360-Grad-Kamera (Giroptic 360cam) steuerte. Als VR-Brille wurde eine schwarze HTC Vive VR-Brille mit einer HTC Basis



Station als Trackingsystem verwendet. Als virtuelle Umgebung wurde ein Video gezeigt, welches ein im Kreis trabendes Pferd auf einer Pferdekoppel zeigt. Mittels Augen- und Kopfbewegung war es dem Probanden möglich, die Umgebung in alle Richtungen (360-Grad) zu explorieren und das Pferd auf der Pferdekoppel zu verfolgen. Das Video wurde vom Autor dieser Arbeit erstellt. Die virtuelle Umgebung aus Sicht des Probanden während der VR-Therapieeinheit wurde dem Versuchsleiter auf den Laptop übertragen. So konnte dieser einschätzen, wohin der Proband gerade blickte und ob die Instruktion verstanden wurde. Die Probanden erhielten als Hilfestellung an beiden Rändern ihres Sichtfeldes in der virtuellen Umgebung einen Anker in Form einer transparenten roten Säule links und einer transparenten grünen Säule rechts. Die Anker dienten somit als Orientierungsreize, welche die Kopffrotation fördern sollten. Diese Anker wurden nach Aufnahme des Videos digital mittels der Software FinalCut eingefügt.

Die zur Aufnahme des verwendeten Video-Stimulationsmaterials genutzte Kamera Giroptic 360 zeichnet durch die Verwendung von drei Mikrofonen einen dreidimensionalen, auditiven Eindruck auf. Entsprechend wird das Traben des Pferdes dem Patienten auf dem Kopfhörer auditiv so dargestellt, dass sich das Geräusch 360-Grad um den Patienten herumbewegt.



*Abbildung 35: Standbild des 360-Grad-Videos im Rechteckformat mit den eingeblendeten roten und grünen Ankern.*

In Abbildung 35 wird die Sicht des Patienten, entsprechend einem menschlichen Gesichtsfeld (vgl. [2.2.3](#)), angedeutet. Allerdings umgibt das dargestellte Video den Patienten vollständig. Würde er beispielsweise den Kopf nach oben drehen, würde er Wolken sehen.



Abbildung 36: Giroptic 360 (Quelle: <https://www.werd.com/wp-content/uploads/2015/12/Giroptic-360cam.jpg>, Zugriff: 26.12.2020)

Bei 14 der Teilnehmer wurde eine 360-Grad-Kamera (Giroptic 360, vgl. Abbildung 36) 10 cm über der zentralen Körperachse der Probanden angebracht, um den Rotationswinkel des Kopfes und dessen Veränderungen während einer VR-Therapieeinheit zu erfassen. Mithilfe einer in das Aufnahme­feld der 360-Grad-Kamera graphisch eingefügten Gradscheibe und eines auf der Brille des Probanden angebrachten Stabs, welcher über die Gradscheibe hinausragt, war es möglich, den Explorationswinkel (in Grad) abzulesen (vgl. Abbildungen 34,37).

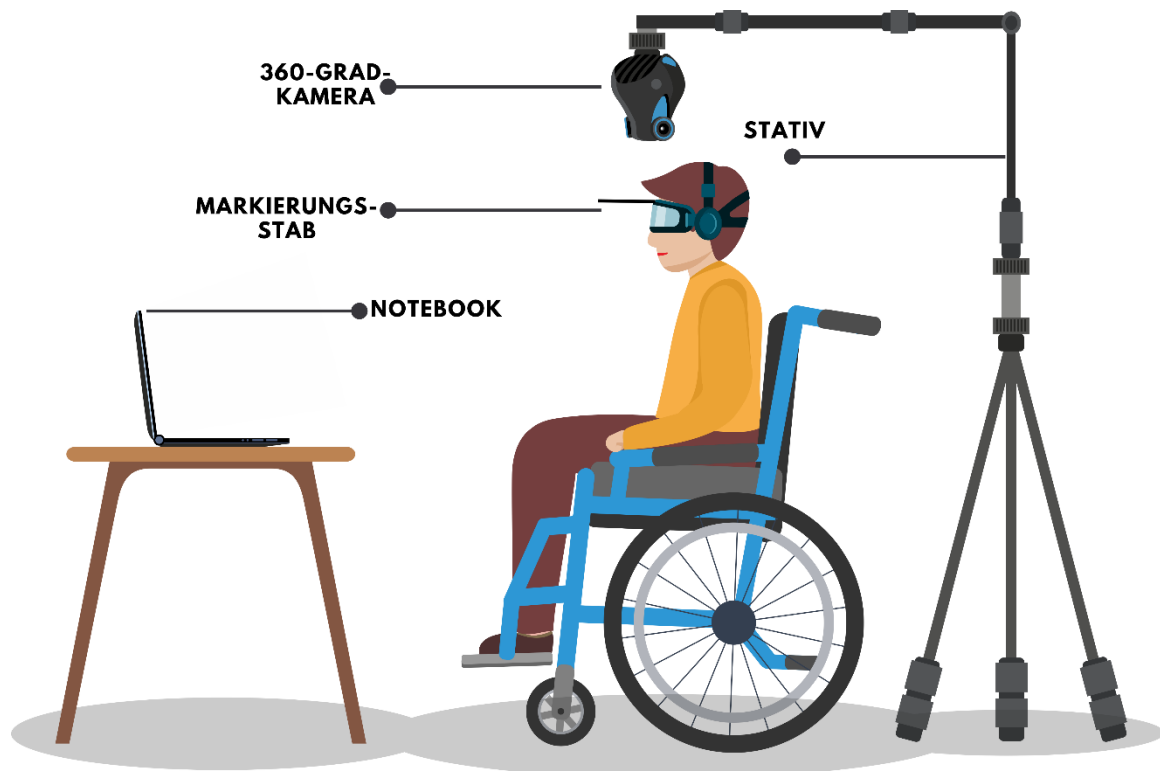


Abbildung 37: Skizzierter Aufbau der Therapiesituation (Quelle: eigene Darstellung)

#### 4.6.4 Untersuchungsdesign

In Studie 2 wurde der Erfolg einer VR-Therapieintervention als Add-on unter Anwendung eines HMDs bei Patienten mit einem linksseitigen visuellen Neglect im Vergleich zur konventionellen Therapie der Klinik untersucht. Als Studiendesign wurde ein Within-Subjects-Design gewählt, in welchem die Probanden beide Therapieformen durchlaufen haben. Die Probanden erhielten entweder in der ersten Woche (Gruppe 1) oder in der zweiten Woche (Gruppe 2) die VR-Therapieintervention. Zur Erfassung der visuellen Neglect-Symptomatik wurden vier diagnostische Testverfahren herangezogen. Bei allen Patienten ( $N=28$ ) wurde vor und nach der ersten VR-Intervention sowie zwei bis drei Tage nach der ersten VR-Intervention die Neglect-Symptomatik erfasst. Bei einem Teil der Patienten ( $n=14$ ) wurde innerhalb der gleichen Woche an zwei weiteren Zeitpunkten eine VR-Intervention durchgeführt. Der hohe Dropout nach der ersten VR-Anwendung ist aufgrund klinikinterner Veränderungen und nicht aufgrund der Intervention geschehen. Bei den 14 verbleibenden Teilnehmern wurde zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapieintervention erneut die Neglect-Symptomatik erfasst. Aus ethischen Gründen wurden die Probanden in der Woche der VR-Therapieintervention weiterhin mit konventionellen Therapiemaßnahmen behandelt. Der genaue Ablauf ist in Abbildung 38 skizziert.

Die Baseline stellte dabei die konventionelle Neglect-Therapie der Klinik dar, welche sich an den Standards der Gesellschaft für Neuropsychologie (GNP) und der Deutschen Gesellschaft für Neurologie (DGN) orientiert. Um Reihenfolge- und Zeiteffekte zu kontrollieren, wurden die Probanden randomisiert einer Bedingung zugeteilt (Gruppe 1 - erste Woche: VR-Therapieintervention, zweite Woche: Baseline; Gruppe 2 - erste Woche: Baseline, zweite Woche: VR-Therapieintervention, vgl. Abbildung 38).

Die Messzeitpunkte verteilten sich in beiden Bedingungen wie folgt auf den Untersuchungszeitraum:

##### **Gruppe 1:**

Messzeitpunkt 1: vor der ersten VR-Therapieeinheit; Messzeitpunkt 2: nach der ersten VR-Therapieeinheit; Messzeitpunkt 3: zwei bis drei Tage nach der ersten VR-Therapieeinheit; Messzeitpunkt 4: zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapieeinheit, Messzeitpunkt 5: vor der konventionellen Therapie, Messzeitpunkt 6: zwei bis drei Tage nach einer Woche konventioneller Therapie.

##### **Gruppe 2:**

Messzeitpunkt 1: vor der konventionellen Therapie; Messzeitpunkt 2: zwei bis drei Tage nach der konventionellen Therapie; Messzeitpunkt 3: vor der ersten VR-Therapieeinheit; Messzeitpunkt 4: nach der ersten VR-Therapieeinheit, Messzeitpunkt 5: zwei bis drei Tage nach der ersten VR-Therapieeinheit; Messzeitpunkt 6: zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapieeinheit.

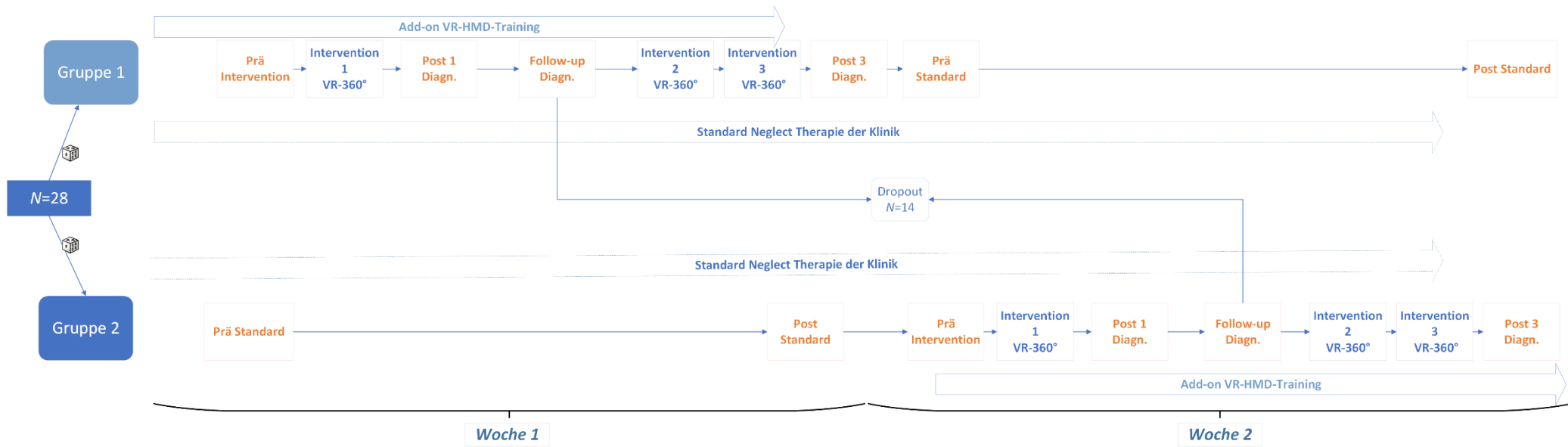


Abbildung 38: Untersuchungsdesign Studie 2

#### 4.6.5 Testablauf

Die Teilnehmer wurden vor Beginn der Untersuchungen an einem gesonderten Termin über die Studie aufgeklärt und unter anderem darauf hingewiesen, dass die Testung freiwillig ist, ihre Daten anonym sowie streng vertraulich behandelt werden und ein Abbruch jederzeit ohne Angabe von Gründen möglich ist. Hierzu unterschrieb alle Patienten eine Einverständnis- sowie eine Schweigepflichtserklärung (siehe Anhang), welche der Versuchsleiter mit dem Patienten gemeinsam besprochen hatte. Die Aufklärung und Einwilligung der Patienten wurde in Übereinstimmung mit der 18. Fassung der Deklaration von Helsinki II (World Medical Association, 2020) vorgenommen. Vor der Patientenaufklärung kontrollierte der Prüfarzt die medizinische Eignung der Patienten für die Untersuchung. Nach der Patientenaufklärung erfolgte eine abschließende Aufklärung über die Studie durch den Prüfarzt.

Zu Beginn der Untersuchung wurden die Probanden vom Versuchsleiter in das Forschungslabor auf ihren Platz begleitet. Dem Probanden wurde die Videobrille aufgesetzt und überprüft, ob er alles Dargestellte gut sehen konnte. Dabei sollte der Proband das Gesehene möglichst genau beschreiben. Es handelte sich dabei um ein Standbild des Videos, welches in der späteren Untersuchung präsentiert wurde. Bei dessen Beschreibung sollten die Stichworte Pferd, Sand und Reitplatz genannt werden und keine Nebenwirkungen auftreten. Erst dann wurde mit der Untersuchung begonnen.

Vor jeder Einheit wurde den Probanden mitgeteilt, dass sie Nebenwirkungen (zum Beispiel Übelkeit, Schwindel, Kopfschmerzen, allgemeines Unwohlsein etc.) unverzüglich dem Versuchsleiter melden sollen, um die Untersuchung abzubrechen. Es folgte die standardisierte Instruktion durch den Versuchsleiter mittels Instruktionssheft (siehe Anhang). Nach der zehnmütigen Therapieeinheit wurden das Video und die Therapieeinheit beendet. Die VR-Therapieeinheit bekamen alle 28 Teilnehmer einmal und 14 der Teilnehmer weitere zweimal während der Interventionswoche.

#### 4.6.6 Statistische Analyse

Für die statistische Analyse wurden t-Tests für verbundene Stichproben verwendet. Zeigte sich im Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung, wurden die Ergebnisse mittels Wilcoxon-Test überprüft.

Aufgrund der ordinalskalierten Daten im Clock-Drawing-Test wurde für dieses Testverfahren ausschließlich der nichtparametrische Wilcoxon-Test verwendet.

## 4.7 Ergebnisse

### 4.7.1 Deskriptive Befunde

Von den ursprünglich 30 aufgenommenen Patienten wurden innerhalb des Erhebungszeitraums insgesamt 28 Patienten getestet. Zwei Probanden wurden von der Studie ausgeschlossen. Einer Probandin bereitete das Aufsetzen des HMDs starke Unannehmlichkeiten, sodass sie den Vorgang abbrechen wollte. Ein weiterer Proband brach nach der Voruntersuchung ohne Angabe von Gründen die Teilnahme ab. Somit ergab sich:  $N=28$  (vgl. Abbildung 33). Es nahmen 12 Männer und 16 Frauen an der Untersuchung teil. Die Teilnehmer waren zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen 54 und 84 Jahre alt. Der Altersdurchschnitt betrug 64,71 Jahre ( $SD= 6.95$ ). 21 der Patienten der vorliegenden Stichprobe erlitten die Störung infolge eines rechtsseitigen Mediainfarkts (ischämischer Hirninfarkt) und sieben Patienten infolge innerer Hirnblutungen (hämorrhagischer Hirninfarkt).

### 4.7.2 Hypothesenprüfende Auswertung

***H1: Der Einsatz von virtueller Realität führt zu keinen Nebenwirkungen wie Schwindel oder Übelkeit bei Patienten mit Neglect.***

Keiner der Patienten musste die Untersuchung während der Betrachtung der Videos abbrechen. Ebenso äußerte kein Patient Schwindel, Übelkeit oder andere starke körperliche Symptome.

Eine Patientin wurde, wie oben erwähnt, ausgeschlossen, da ihr das Aufsetzen der Brille bereits starkes Unbehagen bereitete. Dies kann jedoch nicht direkt auf den Einsatz der virtuellen Realität zurückgeführt werden, da das Gerät zum Zeitpunkt des Aufsetzens noch nicht eingeschaltet war. Ein weiterer Patient brach die Studie ohne Angabe von Gründen nach der Voruntersuchung ab.

In Tabelle 30 und Tabelle 31 werden weitere spontane freie Äußerungen der Patienten nach der jeweiligen VR-Therapieeinheit aufgeführt.

*Tabelle 30: Freie Äußerungen der Patienten nach der ersten VR-Einheit (N=28)*

<b>Freie Äußerung (sinngemäß)</b>	<b>Anzahl (%)</b>
Das Bild war unscharf	5 (17.86%)
Die Übung ist zu lange und anstrengend	4 (14.29%)
Das Gewicht des HMDs empfinde ich als schwer	9 (32.14%)
Die Übung hat mir Spaß gemacht/war interessant	15 (53.58%)
Die Übung war langweilig	4 (14.29%)

Tabelle 31: Freie Äußerungen der Patienten nach der dritten VR-Einheit (n=14)

Freie Äußerung (sinngemäß)	Anzahl (%)
Das Bild war unscharf	1 (7.14%)
Die Übung ist zu lange und anstrengend	4 (28.57%)
Das Gewicht des HMDs empfinde ich als schwer	5 (35.71%)
Die Übung hat mir Spaß gemacht/war interessant	7 (50%)
Die Übung war langweilig	3 (21.43%)

**H2: Die Patienten zeigen unmittelbar nach Anwendung der VR-Therapieintervention eine signifikante Verbesserung der visuellen Neglect-Symptomatik.**

Um der Frage nachzugehen, ob die VR-Therapieintervention eine unmittelbare Auswirkung auf die Neglect-Symptomatik hat, wurden die Werte der aufgeführten Diagnoseinstrumente vor und nach der Intervention verglichen. Dazu wurden mittels einer Reihe von t-Tests für verbundene Stichproben die Testwerte vor und nach der Therapieintervention gegenübergestellt (vgl. Tabelle 32). Das alpha-Niveau wurde mittels der Holm-Methode (Holm, 1979) an die Anzahl der durchgeführten Paarvergleiche adjustiert. Dabei wird der erste Paarvergleich mit alpha (.05) gerechnet, der zweite Paarvergleich mit alpha/2, der dritte mit alpha/3 usw.

Es zeigte sich bei der Linienhalbierungsaufgabe ( $t(27)=6.27, p=.000, d=-0.94$ ) sowie beim Zahlendurchstreichtest ( $t(27)=-2.75, p=.04, d=-0.94$ ) ein signifikanter Unterschied zwischen der Voruntersuchung und unmittelbar nach der ersten VR-Therapieeinheit (vgl. Tabelle 31).

Bei Verletzung der Normalverteilungsannahme wurde als nichtparametrisches Äquivalent zum t-Test für verbundene Stichproben der Wilcoxon-Test herangezogen.

Tabelle 32: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor der VR-Therapieintervention und unmittelbar danach

Testverfahren	Messzeitpunkt	N=28					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Line Bisection Test	Prä-VR	2.73	1.61	6.27	27	1.185	.000***
	Post-VR1	2.34	1.60				
Zahlendurchstreichtest (Auslassungen gesamt)	Prä-VR	9.32	5.70	-2.75	27	.520	.04*
	Post-VR1	10.36	5.91				
Zahlendurchstreichtest (Lateralitätsindex)	Prä-VR	.20	.19	-.51	27	.968	1.00
	Post-VR1	.23	.20				
Saarbrücker Lesetexte (Fehler)	Prä-VR	11.21	9.88	1.07	27	.201	.885
	Post-VR1	10.75	9.90				
Saarbrücker Lesetexte (Zeit in Sekunden)	Prä-VR	43.71	29.51	.00	27	.000	1.00
	Post-VR1	43.71	24.64				

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^+$ : adjustiert nach Holm (1979)

Fast alle Testwerte waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt ( $p \leq .05$ ). Daher wurde für alle Variablen noch einmal der Wilcoxon-Test herangezogen. Im Folgenden werden nur die relevanten Abweichungen berichtet.

Bezüglich der Signifikanz ergab sich eine Abweichung gegenüber dem t-Test für abhängige Stichproben bei der benötigten Zeit für die Saarbrücker Lesetexte ( $z=-2.73$ ,  $p=.03$ ,  $n=28$ ) mit einem höheren Median nach der VR-Therapieeinheit (*Median* = 16.17) als vor der VR-Therapieeinheit (*Median* = 11.38).

Für den Clock-Drawing-Test wurde ebenfalls mit dem Wilcoxon-Test gerechnet, da die Daten ordinalskaliert sind. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen vor und nach der VR-Therapieeinheit ( $z=-1.63$ ,  $p=.102$ ,  $n=28$ ).



**H3: Die Leistungen in der Neglect-Diagnostik zeigen sich auch nach zwei bis drei Tagen nach der ersten VR-Therapieeinheit als Add-on signifikant besser als vor der VR-Intervention.**

Um der Frage nachzugehen, inwiefern die VR-Therapieintervention einen länger anhaltenden Effekt auf die Neglect-Symptomatik hat, wurden die Messwerte der Neglect-Diagnostik unmittelbar vor der ersten VR-Therapie-Einheit mit den Werten der Neglect-Diagnostik zwei bis drei Tage nach der ersten VR-Therapie-Einheit mittels einer Reihe von t-Tests für verbundene Stichproben gegenübergestellt (vgl. Tabelle 33). Auch hier wurde das alpha-Niveau nach Holm (1979) adjustiert. Bei Verletzung der Normalverteilungsannahme wurde als nichtparametrisches Äquivalent zum t-Test für verbundene Stichproben der Wilcoxon-Test herangezogen.

Tabelle 33: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor der VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage danach

Testverfahren	Messzeitpunkte	N=28					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Line Bisection Test	Prä-VR1	2.73	1.61	2.08	27	.393	.047*
	Follow-up-VR1	2.54	1.52				
Zahlendurchstreich-test (Auslassungen gesamt)	Prä-VR1	9.32	5.70	-1.83	27	.345	.079
	Follow-up-VR1	9.86	5.40				
Zahlendurchstreich-test (Lateralitätsindex)	Prä-VR1	.20	.19	-.81	27	1.527	.426
	Follow-up-VR1	.23	.16				
Saarbrücker Lese-texte (Fehler)	Prä-VR1	11.21	9.88	.50	27	.093	.624
	Follow-up-VR1	11.04	9.33				
Saarbrücker Lese-texte (Zeit in Sekunden)	Prä-VR1	43.71	29.51	.28	27	.053	.779
	Follow-up-VR1	43.54	30.04				

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^+$ : adjustiert nach Holm (1979)

Fast alle Testwerte waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt ( $p \leq .05$ ). Daher wurde für alle Variablen noch einmal der Wilcoxon-Test herangezogen.

Bezüglich der Signifikanz ergaben sich Abweichungen gegenüber dem t-Test für abhängige Stichproben. So zeigte sich im Vergleich der durchschnittlichen Abweichung von der Mitte bei der Linienhalterungsaufgabe kein signifikanter Unterschied mehr ( $z=-1.924$ ,  $p=.054$ ,  $n=28$ ) (vgl. Tabelle 32).

Für den Clock-Drawing-Test wurde ebenfalls mit dem Wilcoxon-Test gerechnet, da die Daten ordinalskaliert sind. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen vor und nach der VR-Therapieeinheit ( $z=-1.00$ ,  $p=.317$ ,  $n=28$ ). Abbildung 39 illustriert die Ergebnisse grafisch.

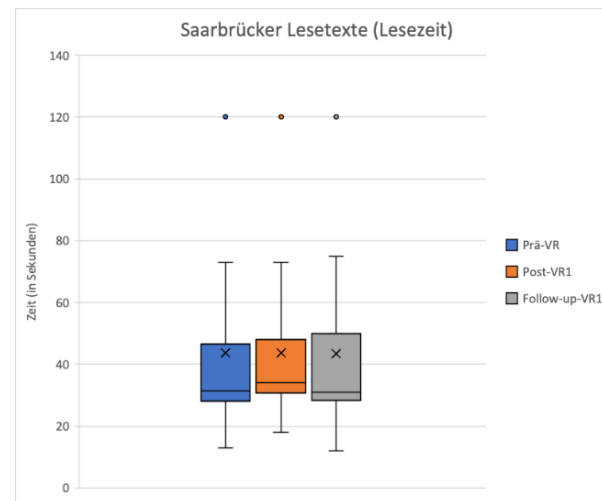
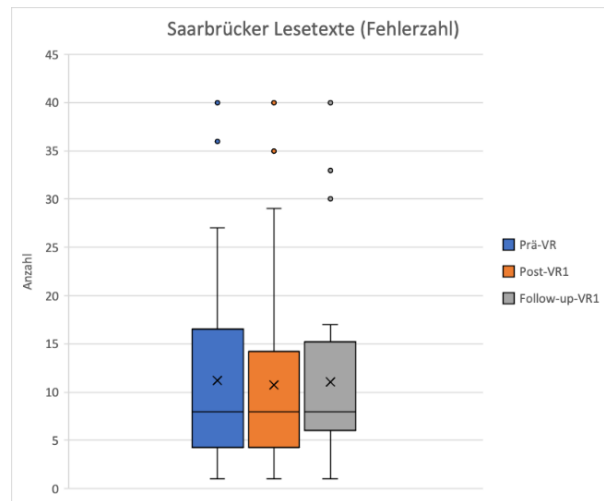
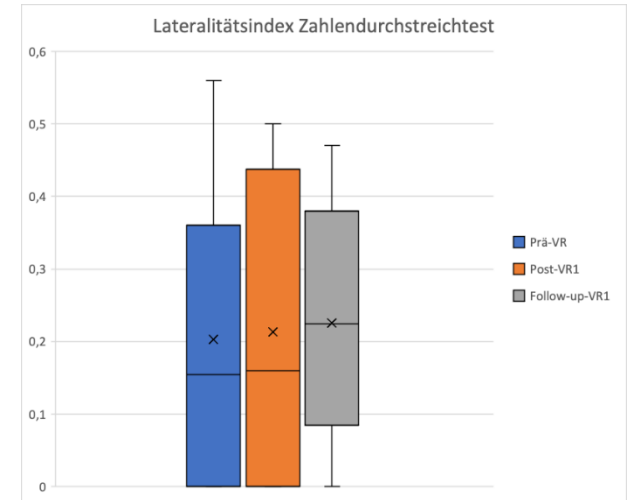
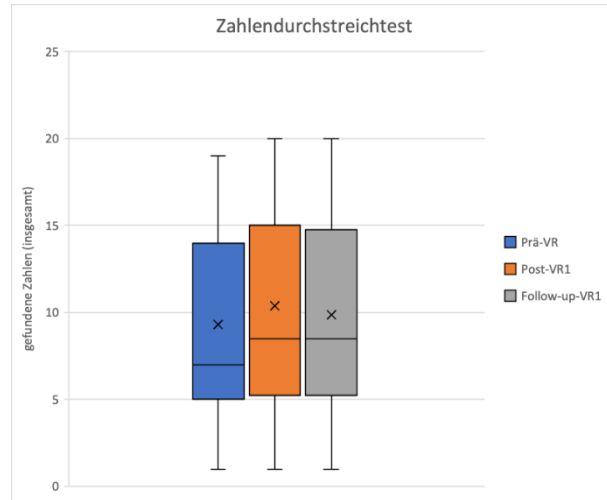
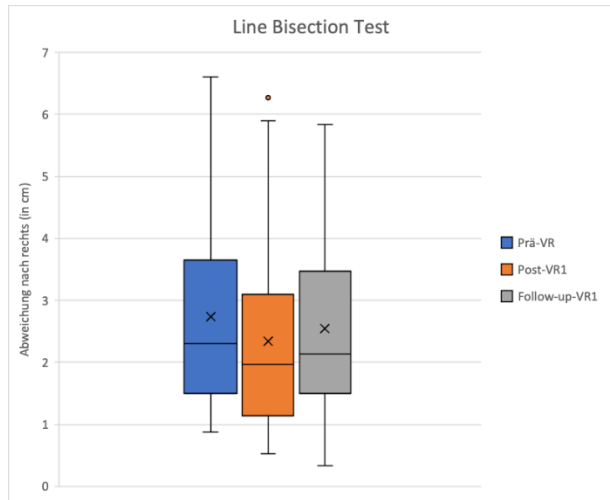


Abbildung 39: Mittelwerte vor der VR-Therapieintervention (Prä-VR) unmittelbar danach (Post-VR1) und zwei bis drei Tage danach (Follow-Up-VR1)

**H4: Die Patienten zeigen nach einer Woche VR-Therapieintervention (dreimal als Add-on eingesetzt), eine signifikant größere Reduktion der visuellen Neglect-Symptomatik als nach einer Woche der konventionellen Therapie ohne dieses Add-on.**

Zur Überprüfung inwiefern drei VR-Therapieinterventionen als Add-on im Vergleich zur rein konventionellen Therapieintervention einen signifikanten Einfluss auf die Neglect-Symptomatik hat, wurden mittels einer Reihe von t-Tests für verbundene Stichproben die gebildeten Testwertdifferenzen beider Therapieinterventionen, welche sich als neue Variablen aus den Differenzen der Post- und Prä-Interventionswerte jeder Therapieintervention berechnen ließen, gegenübergestellt (vgl. Tabelle 34). Die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie sowie die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor der ersten VR-Therapieintervention und nach der dritten VR-Therapieintervention lassen sich in den Tabellen 35 und 36 ablesen.

Fast alle Testwerte waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt ( $p \leq .05$ ). Daher wurde für alle Variablen noch einmal der Wilcoxon-Test herangezogen. Bezüglich der Signifikanz ergaben sich hier jedoch keine Unterschiede. Die Abbildungen 40, 41 und 42 illustrieren die Ergebnisse grafisch.

*Tabelle 34: Vergleiche der Differenzwerte zwischen, vor und nach einer Woche konventioneller Therapie und der Differenzwerte zwischen, vor und nach einer Woche mit drei VR-Therapieeinheiten als Add-on*

Testverfahren	Intervention	n=14					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Line Bisection Test	VR	.021	.19	4.78	13	.31	.000***
	konventionell	-.61	.52				
Zahlendurchstreich- test (Auslassungen gesamt)	VR	-.21	1.48	-4.07	13	1.09	.004**
	konventionell	2.64	2.02				
Zahlendurchstreich- test (Lateralitätsindex)	VR	.05	.11	-1.11	13	.30	.576
	konventionell	.09	.10				
Saarbrücker Lese- texte (Fehler)	VR	.21	2.01	3.23	13	.86	.021*
	konventionell	-2.14	2.51				
Saarbrücker Lese- texte (Zeit in Sekunden)	VR	-.28	5.89	1.01	13	.27	.576
	konventionell	-5.43	16.68				

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ; p<sup>+</sup>: adjustiert nach Holm (1979)

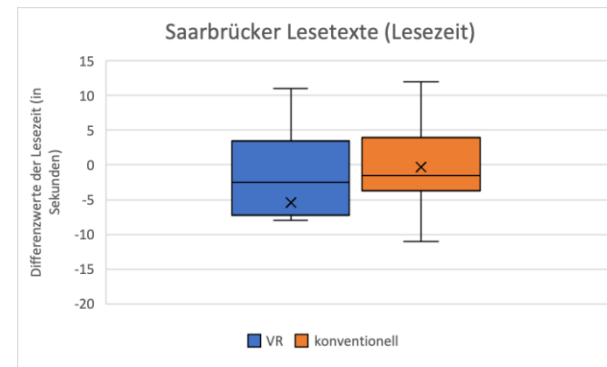
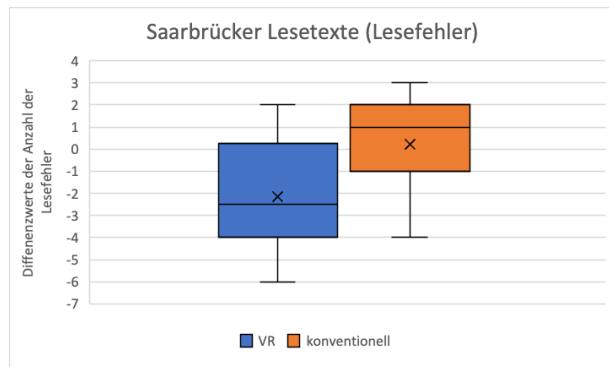
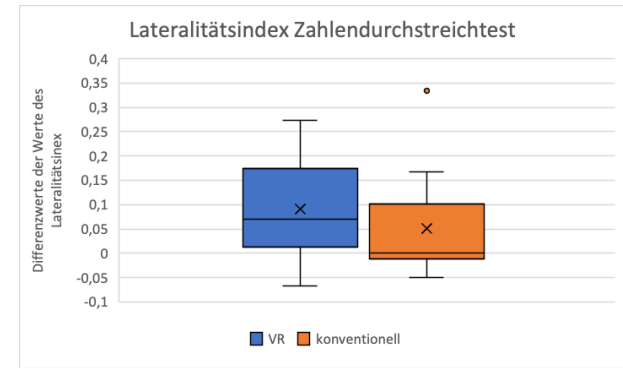
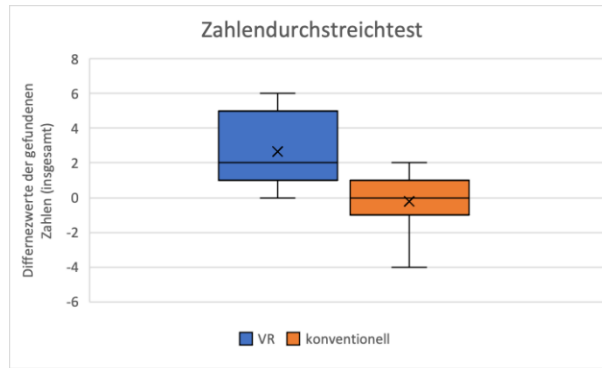
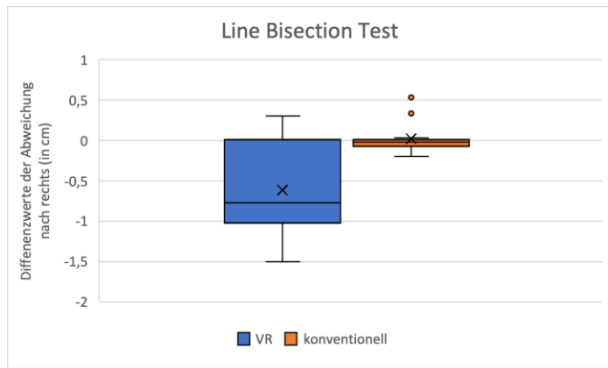


Abbildung 40: Mittelwerte der Differenzwerte zwischen, vor und nach einer Woche konventioneller Therapie und Mittelwerte der Differenzwerte zwischen, vor und nach einer Woche mit drei VR-Therapieeinheiten als Add-on

Tabelle 35: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie

Testverfahren	Intervention	n=14					
		M	SD	t	df	d	p
Line Bisection Test	Prä-konventionell	2.52	1.44	-.42	27	.11	.68
	Post-konventionell	2.55	1.40				
Zahlendurchstreich-test (Auslassungen gesamt)	Prä-konventionell	11.07	5.78	.54	27	.15	.60
	Post-konventionell	10.90	6.14				
Zahlendurchstreich-test (Lateralitätsindex)	Prä-konventionell	.22	.20	-.16	27	.04	.88
	Post-konventionell	.22	.18				
Saarbrücker Lesetexte (Fehler)	Prä-konventionell	10.29	8.8	-.40	27	.11	.70
	Post-konventionell	10.50	8.6				
Saarbrücker Lesetexte (Zeit)	Prä-konventionell	40.93	24.16	.18	27	.05	.90
	Post-konventionell	40.46	25.08				

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;

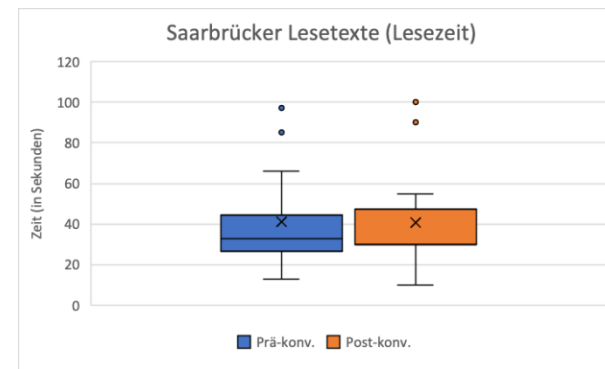
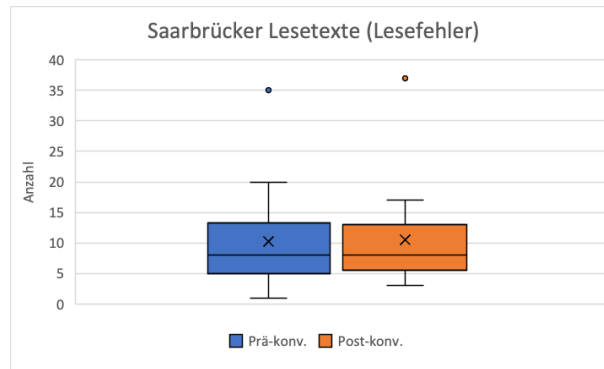
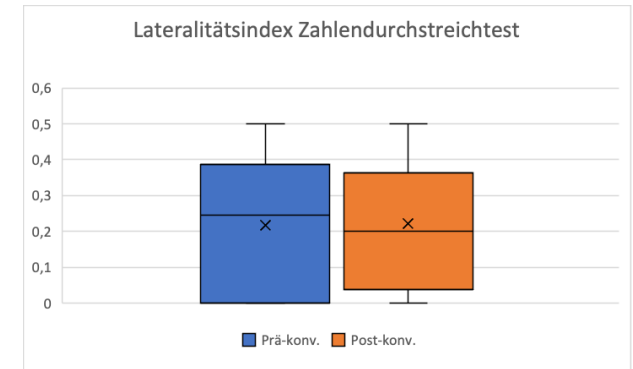
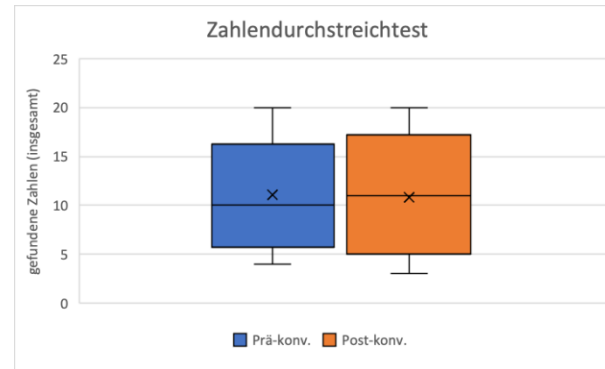
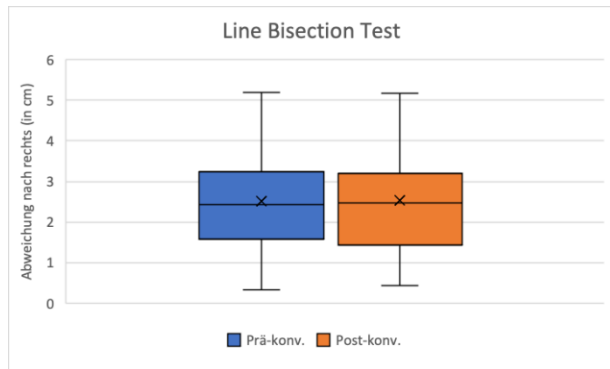


Abbildung 41: Mittelwerte der eingesetzten Diagnoseinstrumente vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie

Tabelle 36: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der erhobenen Testverfahren vor der ersten VR-Therapieintervention und nach der dritten VR-Therapieintervention

Testverfahren	Intervention	n=14					
		M	SD	t	df	d	p <sup>†</sup>
Line Bisection Test	Prä-VR	2.85	1.53	5.36	13	1.43	.001***
	Post-VR3	2.16	1,76				
Zahlendurchstreich- test (Auslassungen gesamt)	Prä-VR	9.43	5.76	-4.88	13	1.30	.001***
	Post-VR3	12.07	5.73				
Zahlendurchstreich- test (Lateralitätsindex)	Prä-VR	.20	.19	-.97	13	.26	.490
	Post-VR3	.23	.22				
Saarbrücker Lese- texte (Fehler)	Prä-VR	11.71	9.68	3.20	13	.85	.021*
	Post-VR3	9.57	9.44				
Saarbrücker Lese- texte (Zeit)	Prä-VR	44.64	33.86	1.22	13	.33	.490
	Post-VR3	39.21	26.51				

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^{\dagger}$ : adjustiert nach Holm (1979)

Für den Clock-Drawing-Test wurde ebenfalls mit dem Wilcoxon-Test gerechnet, da die Daten ordinalskaliert waren. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen vor und nach der VR-Therapieeinheit ( $z=-.447$ ,  $p=.655$ ,  $n=28$ ).



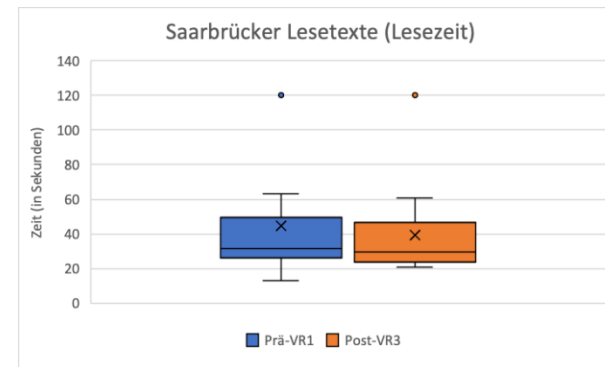
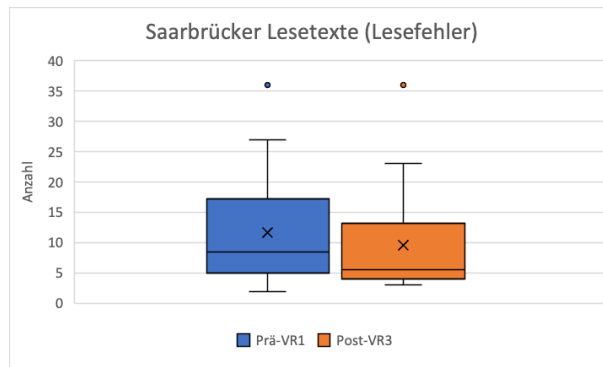
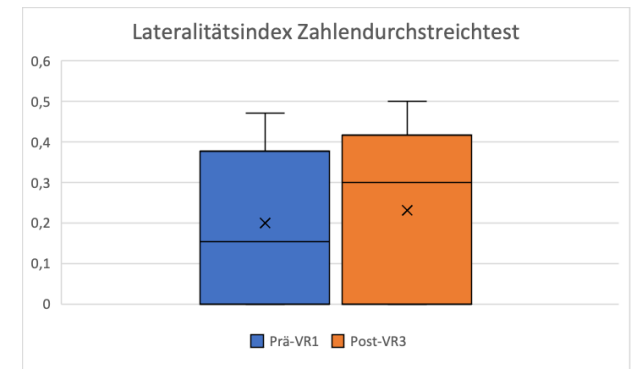
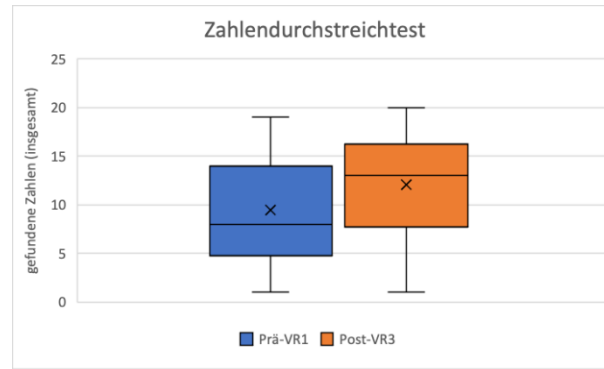
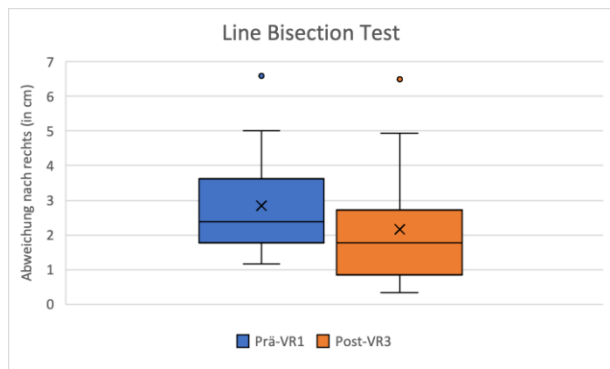


Abbildung 42: Mittelwerte der eingesetzten Diagnoseinstrumente vor der ersten VR-Therapie (Prä-VR1) und zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapie (Post-VR3)

***H5: Die Kopffrotation der Patienten ist am Ende einer VR-Therapieeinheit signifikant weiter nach links gerichtet als zu Beginn einer VR-Therapieeinheit.***

Um zu untersuchen, ob der Grad der Exploration mittels Kopffrotation am Ende einer VR-Therapieeinheit weiter nach links gerichtet ist als Anfang der VR-Therapieeinheit ist, wurden mittels t-Tests für verbundene Stichproben die beiden gebildeten Durchschnittswinkel der Winkelgrade der Kopffrotation (erste 4,5 Minuten versus letzte 4,5 Minuten) einer Therapieeinheit miteinander verglichen.

Die Durchschnittswinkel für die letzten 4,5 Minuten nach der ersten VR-Therapieeinheit waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt ( $p=.007$ ). Aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme wurde der Wilcoxon-Test herangezogen. Bezüglich der Signifikanz ergab sich hierbei allerdings kein nennenswerter Unterschied ( $z=-.973$ ,  $p=.331$ ,  $n=14$ ).

Auch bei der dritten VR-Therapieeinheit zeigte sich im Shapiro-Wilk-Test für die letzten 4,5 Minuten keine Normalverteilung ( $p=.004$ ). Entsprechend wurde der Wilcoxon-Test verwendet. Auch hier zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen erster und zweiter Hälfte der VR-Intervention ( $z=-.973$ ,  $p=.330$ ,  $n=14$ ).

#### 4.7.3 Post-hoc-Untersuchungen

Um genauere Einblick in eine mögliche Wirkweise der VR-Therapieintervention zu bekommen, wurden im Anschluss an die hypothesenprüfende Auswertung noch Post-hoc-Untersuchungen gerechnet. Dazu wurden die Unterschiede der drei Linien in der Linienhalbierungsaufgabe zu den jeweiligen Messzeitpunkten sowie die korrekten Zahlen bei der Zahlendurchstreichaufgabe jeweils auf der linken und rechten Seite verglichen. Ebenso wurde die Kopfdrehbewegung mittels Kurvenanpassung untersucht. Im Folgenden werden die Ergebnisse genauer berichtet. Zuletzt wurde überprüft, ob sich die durchschnittliche Anzahl der Therapieminuten pro Woche ohne VR als Add-on und mit VR als Add-on signifikant voneinander unterscheidet.

Für die statistische Analyse wurden t-Tests für verbundene Stichproben verwendet. Zeigte sich im Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung, wurden die Ergebnisse mittels Wilcoxon-Tests überprüft. Im Folgenden werden nur die relevanten Abweichungen berichtet.

#### 4.7.3.1 Post-hoc-Untersuchungen zur Linienhalbierungsaufgabe

In den Vergleichen der einzelnen Linien zwischen vor und nach der einwöchigen konventionellen Therapie zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tabelle 37).

Tabelle 37: Vergleich der drei Linien vor und nach der ersten VR-Therapieintervention

Testverfahren	Intervention	N=28					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Line Bisection Test	Prä VR1	1.87	1.26				
Linie 1 (links)	Post-VR1	1.58	1.26	2.782	27	.56	.020*
Line Bisection Test	Prä-VR1	2.63	1.72				
Linie 2 (Mitte)	Post-VR1	2.30	1.60	2.387	27	.45	.024*
Line Bisection Test	Prä-VR1	3.61	2.28				
Linie 3 (rechts)	Post-VR1	3.32	2.16	4.134	27	.78	.000***

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^+$ : adjustiert nach Holm (1979)

In den Vergleichen der einzelnen Linien zwischen vor der VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage danach zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tabelle 38).

Tabelle 38: Vergleich der drei Linien vor der ersten VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage danach

Testverfahren	Intervention	N=28					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Line Bisection Test	Prä VR1	1.87	1.26				
Linie 1 (links)	Follow-up-VR1	1.85	1.12	.261	27	.05	.796
Line Bisection Test	Prä-VR1	2.63	1.72				
Linie 2 (Mitte)	Follow-up-VR1	2.47	1.61	1.979	27	.37	.116
Line Bisection Test	Prä-VR1	3.61	2.28				
Linie 3 (rechts)	Follow-up-VR1	3.31	2.09	2.211	27	.42	.108

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^+$ : adjustiert nach Holm (1979)

Abbildung 44 illustriert die Ergebnisse grafisch.

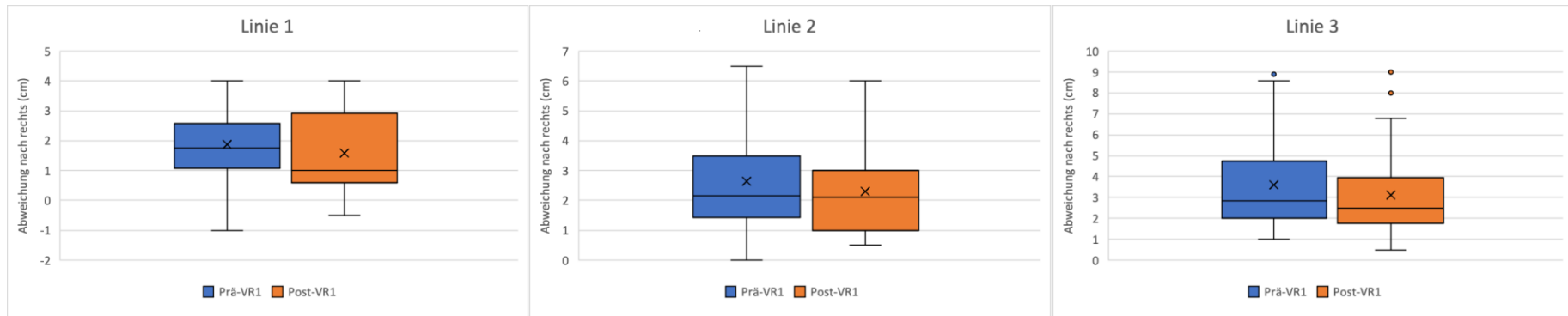


Abbildung 43: Mittelwerte der drei Linien vor und nach der ersten VR-Therapieintervention

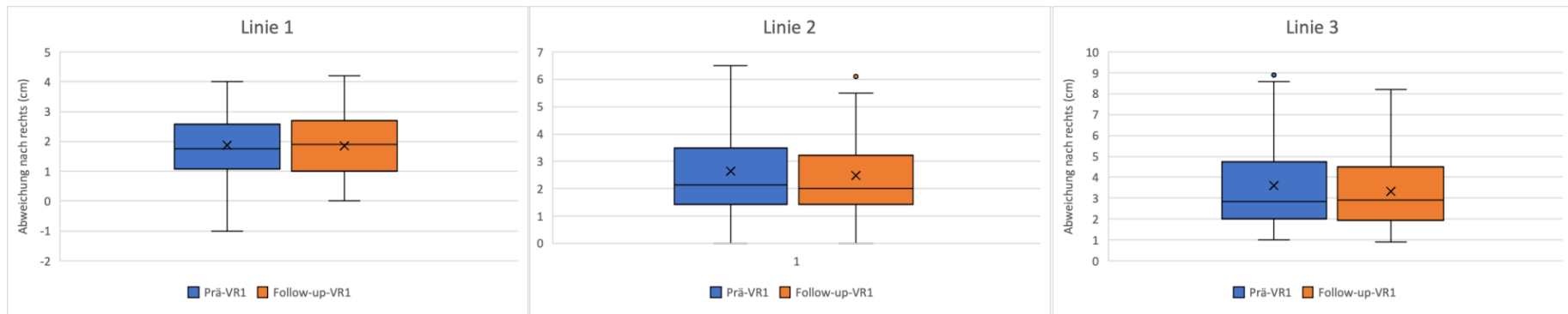


Abbildung 44: Mittelwerte der drei Linien vor und ein bis zwei Tage nach der ersten VR-Therapieintervention

In den Vergleichen der einzelnen Linien zwischen der konventionellen Therapie und dreimaliger VR-Therapieinterventionen zeigte sich bei der zweiten und dritten Linie des Line Bisection Tests eine signifikante Verbesserung (vgl. Tabelle 39). Abbildung 45 illustriert die Ergebnisse grafisch.

Tabelle 39: Vergleich der Differenzwerte zwischen, vor und nach dreimaliger VR-Therapieintervention und vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie in der Linienhalbierungsaufgabe

Testverfahren	Intervention	n=14					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Line Bisection Test	VR	-.09	.24				
Linie 1 (links)	konventionell	-.45	.60	1.882	13	.50	.082
Line Bisection Test	VR	.11	.31				
Linie 2 (Mitte)	konventionell	-.54	.55	4.850	13	1.30	.000***
Line Bisection Test	VR	.05	.31				
Linie 3 (rechts)	konventionell	.61	.87	2.605	13	.70	.044*

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^+$ : adjustiert nach Holm (1979)

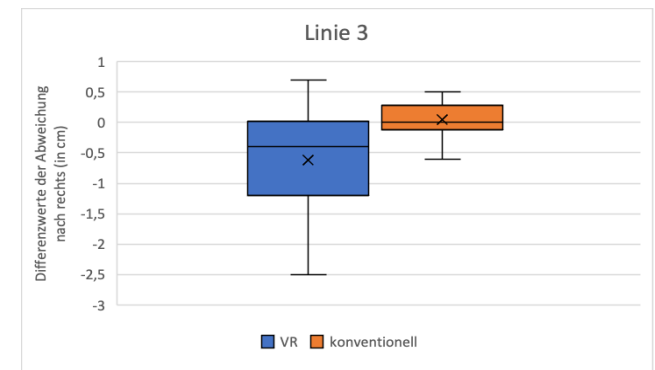
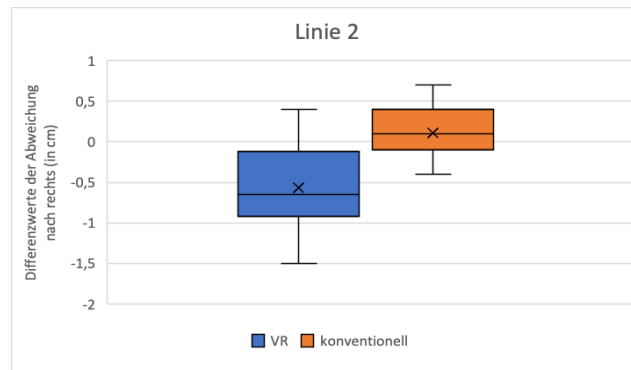
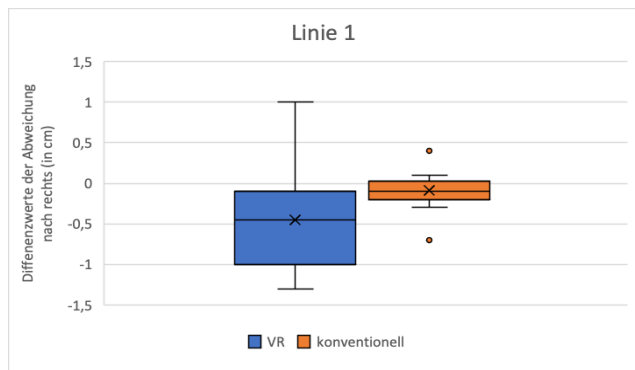


Abbildung 45: Mittelwerte der Differenzwerte, zwischen vor und nach dreimaliger VR-Therapieintervention und vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie in der Linienhalbierungsaufgabe

#### 4.7.3.2 Post-hoc -zur Zahlendurchstreichaufgabe

Im Anschluss wurden die linke und rechte Hälfte des Aufgabenblatts der Zahlendurchstreichaufgabe vor und unmittelbar nach der ersten VR-Therapieintervention verglichen. Dabei zeigte sich nur für die rechte Hälfte des Aufgabenblatts eine signifikante Verbesserung (vgl. Tabelle 40).

Tabelle 40: Vergleich der Zahlendurchstreichaufgabe vor und nach der ersten Therapieintervention

Testverfahren	Intervention	N=28					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Zahlendurchstreich- test (rechts)	Prä-VR1	6.43	2.69	-3.105	27	.59	.008**
	Post-VR1	7.10	2.70				
Zahlendurchstreich- test (links)	Prä-VR1	2.89	3.40	-.910	27	.17	.371
	Post-VR1	3.25	3.66				

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^+$ : adjustiert nach Holm (1979)

Der Vergleich zwischen der linken und rechten Hälfte des Aufgabenblatts zu den Messzeitpunkten vor der ersten VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage danach zeigte keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tabelle 41).

Tabelle 41: Vergleich der Zahlendurchstreichaufgabe vor der ersten VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage danach

Testverfahren	Intervention	N=28					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Zahlendurchstreich- test (rechts)	Prä-VR1	6.428	2.69	-1.890	27	.36	.14
	Follow-up-VR1	6.821	2.81				
Zahlendurchstreich- test (links)	Prä-VR1	2.892	3.40	-.667	27	.13	1.00
	Follow-up-VR1	3.071	2.89				

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^+$ : adjustiert nach Holm (1979)

Der Vergleich zwischen den Differenzwerten der Leistung im Zahlendurchstreichtest vor und nach der konventionellen Therapie und den Differenzwerten vor der VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage nach dreimaliger VR-Therapieintervention zeigt signifikante Verbesserungen für die rechte und linke Hälfte des Arbeitsblatts (vgl. Tabelle 42).

Tabelle 42: Vergleich der Differenzwerte zwischen, vor und nach dreimaliger VR-Therapieintervention und vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie in der Zahlsuchaufgabe

Testverfahren	Intervention	n=14					
		M	SD	t	df	d	p <sup>+</sup>
Zahlendurchstreich- test (rechts)	VR	1.64	1.39	3.976**	13	1.06	.002**
	konventionell	-.21	1.25				
Zahlendurchstreich- test (links)	VR	2.64	2.02	4,069***	13	1.09	.002**
	konventionell	-.21	1.48				

\* $p \leq .05$ ; \*\* $p \leq .01$ ; \*\*\* $p \leq .001$ ;  $p^+$ : adjustiert nach Holm (1979)

Die Abbildungen 46, 47 und 48 illustrieren die Ergebnisse grafisch.



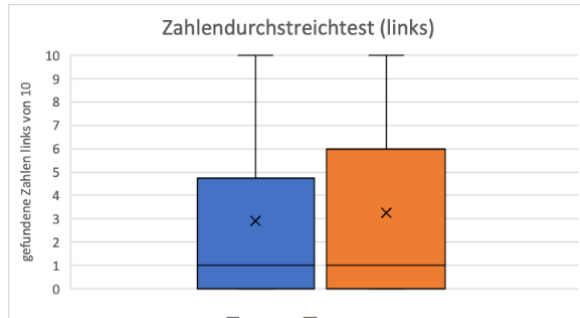


Abbildung 46: Mittelwerte der Zahlendurchstreichaufgabe vor und nach der ersten Therapieintervention

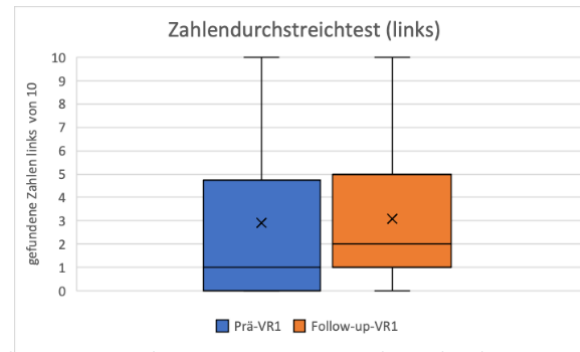
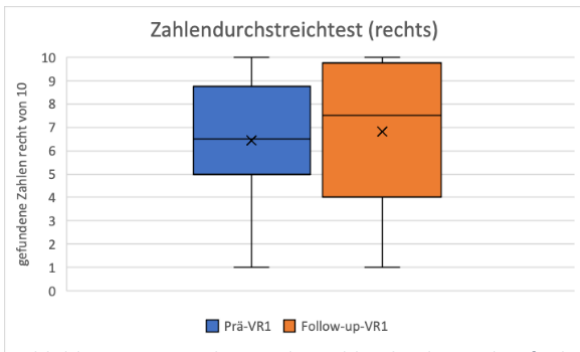


Abbildung 47: Mittelwerte der Zahlendurchstreichaufgabe vor der ersten VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapieintervention

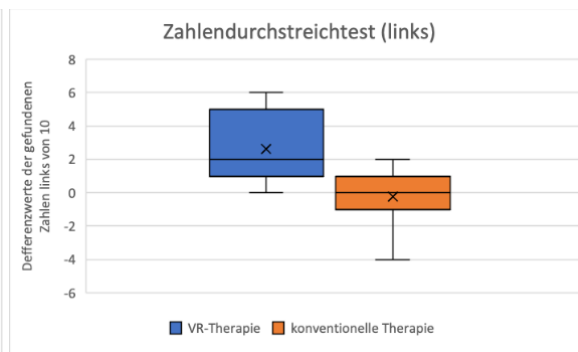
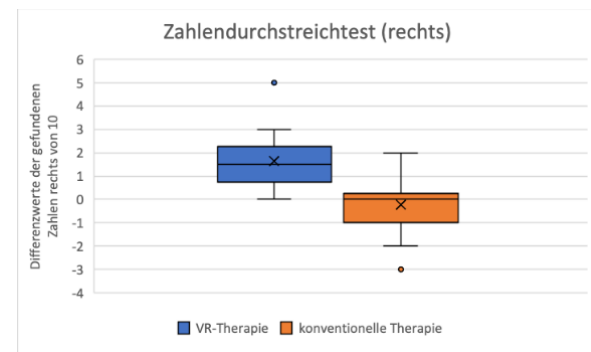


Abbildung 48: Mittelwerte der Differenzwerte im Zahlendurchstreichtest zwischen vor und nach dreimaliger VR-Therapieintervention und vor und nach einwöchiger konventioneller Therapie

#### 4.7.3.3 Post-hoc-Untersuchungen zur Explorationsbewegung des Kopfes

Plottet man den durchschnittlichen Winkel der Kopfdrehung der Patienten auf einem Liniendiagramm über den Explorationsbewegungen der einzelnen Patienten, zeigt sich, dass sich der Linienverlauf einer negativen quadratischen Funktion annähert. In Abbildung 49 zeigt die gelbe Linie die durchschnittliche Explorationsbewegung aller Probanden.

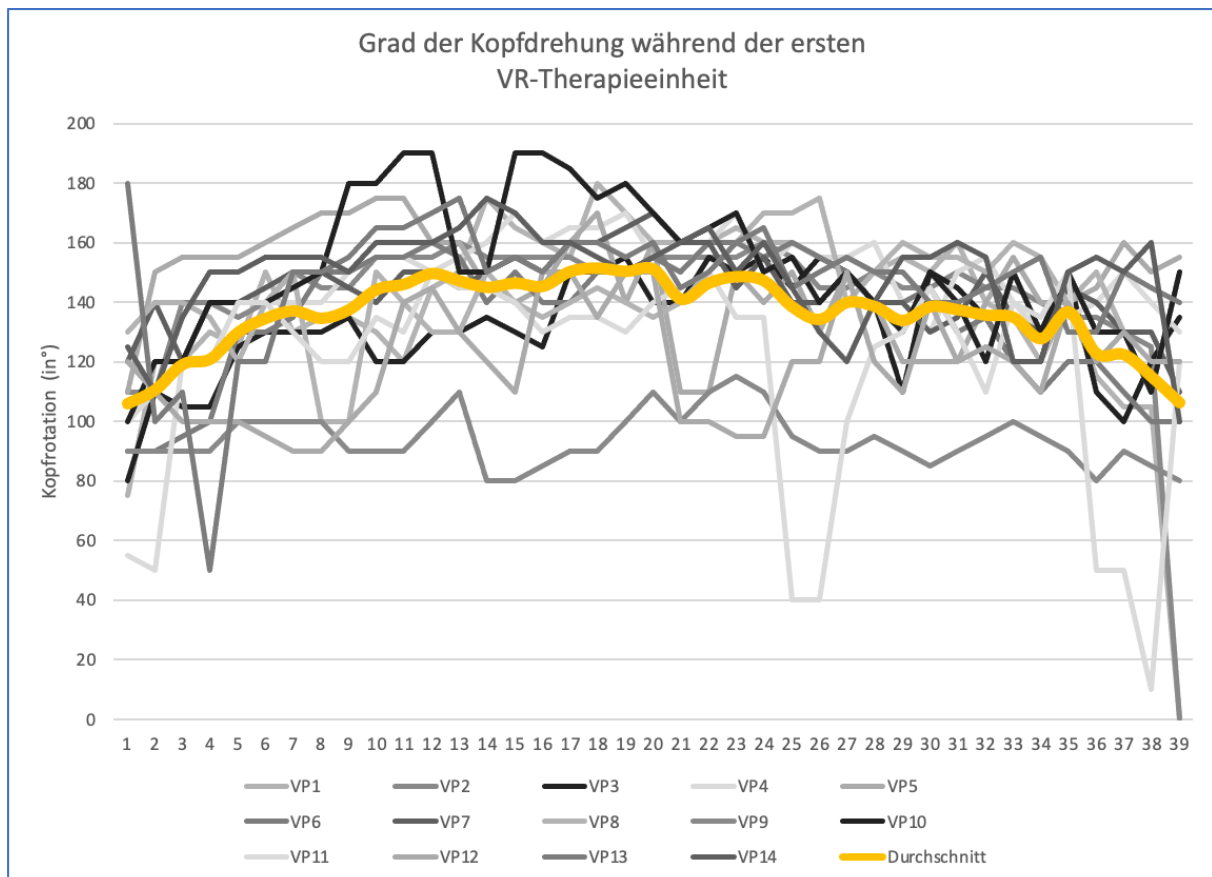


Abbildung 49: Kopfdrehbewegungen während der ersten VR-Therapieeinheit mit Durchschnittslinie

Es zeigte sich, dass die Runde der Explorationsaufgabe ein guter Prädiktor für den Grad der durchschnittlichen Explorationsleistung mit dem Kopf ist, wenn man eine negative quadratische Funktion annimmt,  $b=-.101$ ,  $t(37)=-15.438$ ,  $p<.000$ . Die Rundenzahl erklärt einen signifikanten Anteil der Varianz der Explorationsbewegung mit dem Kopf,  $R^2=.869$ ,  $F(1, 37)=119.5$ ,  $p<.000$ . Eine Runde entspricht dabei einer Umrundung des Pferdes um den Patienten.

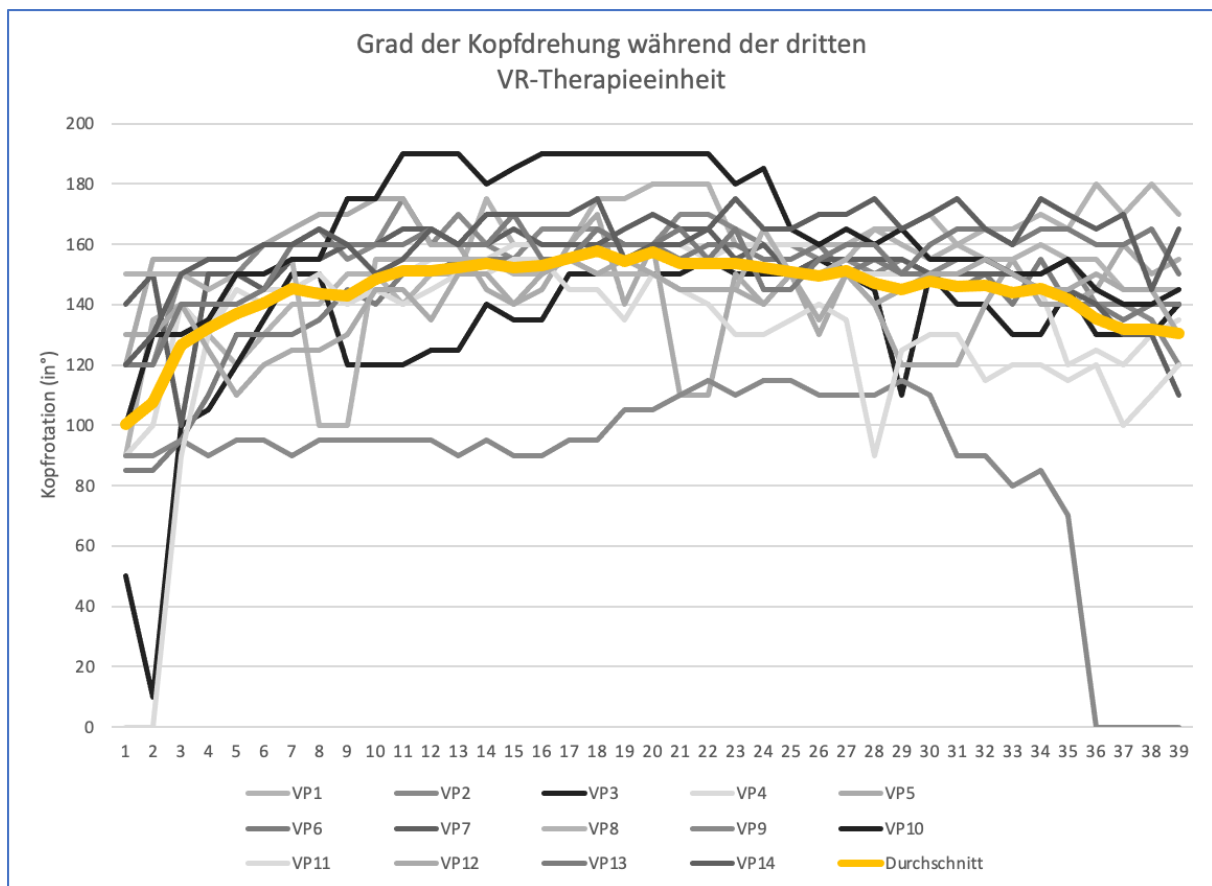


Abbildung 50: Kopfdrehbewegungen während der dritten VR-Therapieeinheit mit Durchschnittslinie

Auch für die dritte VR-Therapieeinheit zeigte sich, dass die Runde der Explorationsaufgabe ein guter Prädiktor für den Grad der durchschnittlichen Explorationsleistung mit dem Kopf ist, wenn man eine negative quadratische Funktion annimmt,  $b=-.096$ ,  $t(37)=-13.532$ ,  $p<.000$  (siehe Abbildung 50). So erklärt auch hier die Rundenzahl einen signifikanten Anteil der Varianz der Explorationsbewegung mit dem Kopf,  $R^2=.844$ ,  $F(1, 37)=97.16$ ,  $p<.000$ . Eine Runde entspricht dabei einer Umrundung des Pferdes um den Patienten.

Der in H5 angenommene lineare Zusammenhang ist dagegen weder für die erste Therapieeinheit  $b=-.054$ ,  $t(37)=-.301$ ,  $p=.765$  noch für die dritte Therapieeinheit  $b=.240$ ,  $t(37)=1.376$ ,  $p=.177$  gegeben.

Stellt man mittels t-Test für verbundene Stichproben den durchschnittlichen Explorationsgrad der ersten VR-Therapieintervention und der dritten VR-Therapieintervention gegenüber, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied ( $t(38)=-9.630$ ,  $p=.000$ ). In der dritten Therapieeinheit wird durchschnittlich signifikant weiter nach links mit dem Kopf exploriert als in der ersten Einheit. Die Hochpunkte der negativen quadratischen Funktionen zeigen, dass die Patienten während der ersten VR-Therapieeinheit sich bis zur 19. Runde im Explorationsverhalten steigern (Hochpunkt bei 19,417/148,865). In der dritten

VR-Therapieeinheit können sie die Exploration bis zur 21. Runde steigern (21,245/156,453) (vgl. Abbildung 51).

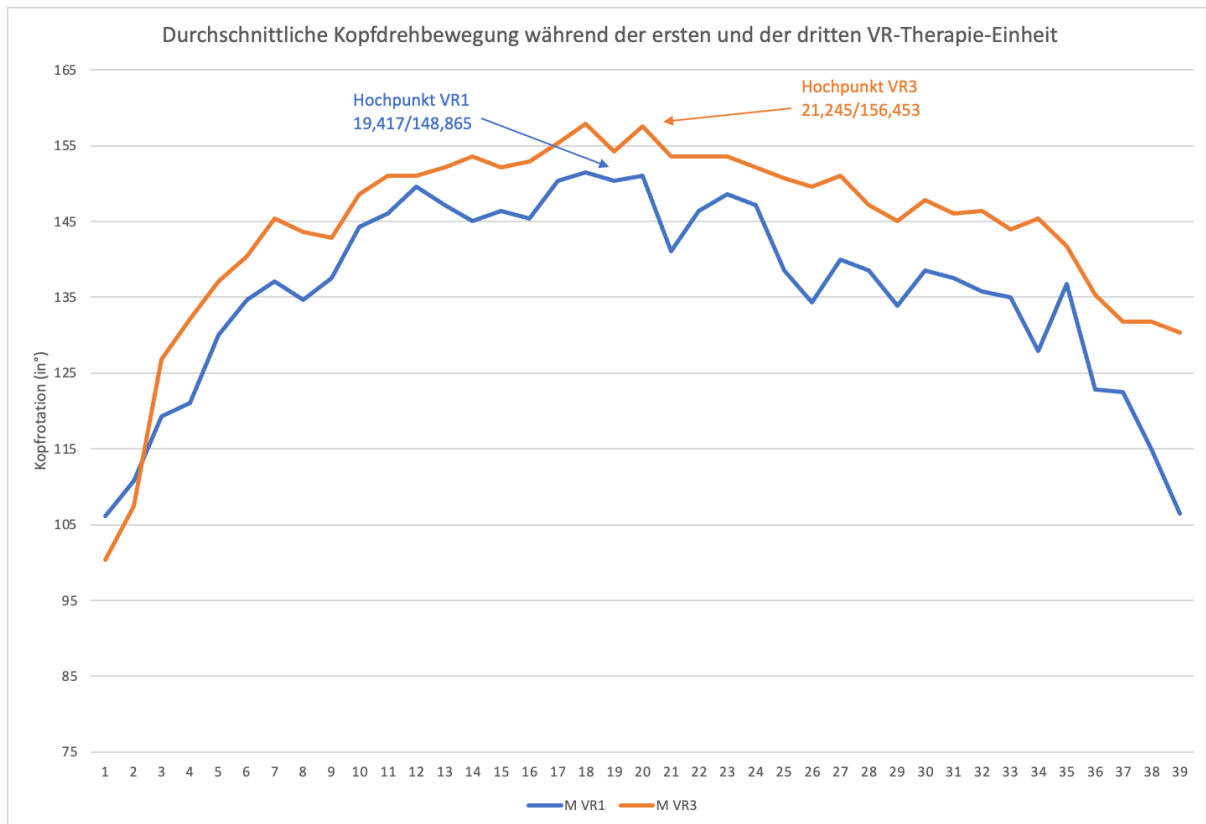


Abbildung 51: Vergleich der durchschnittlichen Kopfdrehbewegung zwischen der ersten und der dritten VR-Therapieeinheit mit den Hochpunkten der jeweiligen angenäherten quadratischen Funktionen

#### 4.7.3.4 Erfassung konventioneller Therapien innerhalb des Untersuchungszeitraums

Weiterhin wurde post-hoc für die Zeit während des Untersuchungszeitraums erfasst, wie viele Minuten konventionelle Therapie die Patienten ( $n=14$ ) im Einzelsetting bekamen und wie viele Minuten Therapie insgesamt durchgeführt wurden. Aufgenommen wurden Einzelsitzungen in Ergotherapie, Physiotherapie und Neuropsychologie. Unter gesamte Therapie wurden zusätzlich die Minuten der Pflögetherapie, Logopädie, Musiktherapie, Sporttherapie und der verschiedenen Gruppentherapien addiert (vgl. Tabelle 43).

Tabelle 43: Durchschnittliche Anzahl der Therapieminuten pro Woche ohne VR als Add-on und mit VR als Add-on

Neuropsychologie		Ergotherapie		Physiotherapie		gesamte Therapie	
ohne VR	mit VR	ohne VR	mit VR	ohne VR	mit VR	ohne VR	mit VR
$M=98.57$	$M=102.86$	$M=363.93$	$M=261.43$	$M=212.71$	$M=205.71$	$M=1572.29$	$M= 1499.38$
$SD= 20.99$	$SD= 27.11$	$SD= 36.85$	$SD= 36.18$	$SD= 28.82$	$SD= 27.44$	$SD=556.07$	$SD=602.11$

Durchgeführte t-Tests für verbundene Stichproben zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Therapieminuten in der Woche mit VR als Add-on und der Woche ohne VR als Add-on für die Neuropsychologie ( $t(13)=-.366$ ,  $p=.72$ ), die Ergotherapie ( $t(13)=.303$ ,  $p=.77$ ) und die Physiotherapie ( $t(13)=.898$ ,  $p=.39$ ). Für die gesamte Stundenzahl an Therapie wurde keine t-Test durchgeführt, weil sich Art, Inhalt und Einsatz der verschiedenen übrigen Therapiearten so stark voneinander unterscheiden, dass eine sinnige Aussage nicht ableitbar wäre.

## 4.8 Diskussion

Im Folgenden sollen die Ergebnisse von Studie 2 betrachtet und kritisch diskutiert werden. Bevor eine kritische Reflexion der Studie 2 erfolgt, wird das Vorgehen der Hauptuntersuchung zusammengefasst. Die Diskussion berücksichtigt die empirischen Befunde des Theorieteils und zeigt mögliche Limitationen der vorliegenden Untersuchung auf. Abschließend erfolgt die Einordnung der Studie in die aktuelle Forschungslage sowie Implikationen für zukünftige Forschungsansätze.

### 4.8.1 Zusammenfassung der Untersuchungen

Studie 2 untersuchte die Verträglichkeit und Wirksamkeit einer VR-Therapieintervention unter Anwendung eines HMDs im Vergleich zu einer konventionellen Therapie bei Patienten mit einem visuellen Neglect. Ebenso wurde ein vermuteter Wirkfaktor exploriert.

Um den Forschungsfragen nachzugehen, wurden 28 Patienten, 12 Männer und 16 Frauen, im Alter von 54 bis 84 Jahren mit entsprechender Neglect-Diagnose nach erstmaligem ischämischen oder hämorrhagischen Hirninfarkt für die Untersuchung rekrutiert. Ausschlusskriterien waren ein unzureichendes Instruktionsverständnis aufgrund weiterer neurologischer Schädigungen, Epilepsie, Demenz und vorbestehende psychiatrische Störungen (zum Beispiel Substanzabhängigkeit, Wahnvorstellungen, etc.) in der Vorgeschichte. Zur Ausbalancierung von Reihenfolgeeffekten wurden die Patienten randomisiert zwei Bedingungen zugeordnet. Die Hälfte der Patienten durchliefen in einem Within-Subjects-Design über eine Woche hinweg eine rein konventionelle Therapie und über eine weitere Woche hinweg, an drei unterschiedlichen Tagen jeweils 10 Minuten, eine zusätzliche VR-Therapieintervention. Die andere Hälfte durchlief zuerst die zusätzliche VR-Therapieintervention und dann die rein konventionelle Therapie. Aus ethischen Gründen wurde die konventionelle Therapie parallel fortgeführt. Jeweils die Hälfte jeder Gruppe konnte nur bis zur ersten VR-Therapieintervention teilnehmen. Die Neglect-Symptomatik wurde mithilfe von vier Diagnoseinstrumenten erfasst: dem Line Bisection Test nach Bailey et al. (2000), dem Zahlendurchstreichtest nach Kerkhoff et al. (2014, NNR), den Saarbrücker Lesetexten von Kerkhoff, Wimbauer und Reinhart (2012) und dem Clock-Drawing-Test nach Bailey et al. (2000). Die Messzeitpunkte waren jeweils vor und nach einer Woche der konventionellen Therapie, vor und nach der ersten VR-Therapieintervention, zwei bis drei Tage nach der ersten Therapieintervention und bei 14 Patienten noch ein bis zwei Tage nach der dritten Therapieintervention. Die Patienten wurden nach den VR-Therapieinterventionen auf Nebenwirkungen und sonstige Störeffekte befragt. Es zeigten sich keine körperlichen Nebenwirkungen wie Schwindel oder Übelkeit. Einige Teilnehmer beschrieben die Untersuchung als anstrengend oder langweilig. Der Großteil empfand die Therapie als unterhaltsam und kurzweilig.

Weiterhin wurde mittels einer 360-Grad-Kamera der Winkel der Kopffrotation des Patienten gemessen. Dazu wurde auf dem HMD ein Stab angebracht, der in Blickrichtung des Patienten ausgerichtet war. Es wurde eine digitale Winkelscheibe in die 360-Grad-Aufnahme eingeblendet, mit deren Hilfe auf dem aufgezeichneten Video die Kopffrotation ablesbar war. Ziel hierbei war es, die Winkel der Kopffrotation der ersten 4,5 Minuten mit den Winkeln der zweiten 4,5 Minuten einer VR-Therapieeinheit zu vergleichen, um so eine mögliche Veränderung der Kopffrotation hin zur betroffenen Neglect-Seite abzubilden. Entgegen der Erwartung zeigte sich kein linearer Zusammenhang zwischen Dauer der Intervention und dem Explorationsgrad in Form der Kopffrotation nach links, sondern ein polynomialer Zusammenhang. Die Patienten explorierten im Durchschnitt zur Mitte der Therapie am besten nach links in den vernachlässigten Halbraum. Zu Beginn und zum Ende der Therapie war die Kopfdrehung deutlich geringer. Die durchschnittliche Kopffrotation beschreibt die Kurvenform eines umgekehrten Us.

Um einen möglichen Interventionseffekt einer einzelnen VR-Therapieeinheit zu untersuchen, wurde vor und nach der ersten VR-Therapieeinheit auf Neglect getestet. Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung nach der VR-Therapieeinheit bei der Linienhalbierungsaufgabe, der Zahlendurchstreichaufgabe in Form der insgesamt gefundenen Zielreize und eine geringere Anzahl an Lesefehlern bei den Saarbrücker Lesetexten.

#### 4.8.2 Interpretation und Evaluation der Ergebnisse der Untersuchung

**Nebenwirkungen:** Bei der Untersuchung möglicher Nebenwirkungen zeigte sich, dass die Patienten keine aversiven körperlichen Symptome wahrnahmen. Dies bekräftigt die in Studie 1 gefundenen Ergebnisse und herausgearbeiteten Methoden zur Reduzierung von SiS (vgl. [2.3.2.4.](#)). Aussagekräftige Daten über das Auftreten von Nebenwirkungen bei neurologischen Patienten unter Anwendung von HMDs liegen zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit noch nicht vor. Jedoch weisen aktuelle Studien mit modernen HMDs und entsprechenden Vorkehrungen mehr und mehr darauf hin, dass eine Minimierung von unerwünschten Nebenwirkungen möglich ist. So zeigten sich auch bei Kim, Darakjian und Finley (2017) bei einer VR-HMD-Studie mit Parkinsonpatienten keine Nebenwirkungen durch die Technologie. Dennoch müssen die Ergebnisse vor dem Hintergrund der für die Neglect-Symptomatik typischen Begleiterscheinungen und assoziierten Störungsbildern betrachtet werden. So fehlt es Neglect-Patienten häufig an ausreichender *Awareness* für die Erkrankung sowie deren Folgen und Symptome (vgl. [7.4.1.](#)).

Es ist vorstellbar, dass ein mangelndes Störungsbewusstsein auch Einfluss haben könnte auf die Wahrnehmung, Interpretation und Attribution von Symptomen, welche durch die VR-Anwendung hervorgerufen wurden. Auch die Angaben von Langeweile, der Wahrnehmung, dass das HMD sehr schwer sei und davon, dass die Übung als anstrengend empfunden wurde, könnte ein Hinweis auf eine falsche Attribution von eigentlich körperlichen Symptomen sein. Nach der ersten VR-Therapieeinheit äußerten neun der 28 Teilnehmer (32.14%), dass sie das Gewicht des HMDs als schwer empfunden hätten. Nach der dritten VR-Therapieeinheit gaben 5 der 14 verbleibenden Patienten (35.71%) an, dass sie das Gewicht des HMDs als schwer empfanden. Für zukünftige Untersuchungen erscheint sinnvoll, auf neue HMDs zu setzen, welche kabellos und ohne angeschlossenen PC auskommen. So hat das in Studie 2 verwendete HMD ein Gewicht von 561 Gramm (plus Kabel). Ein aktuelles kabelloses stand-alone-HMD, wie etwa die Oculus Quest, wiegt dagegen 468 Gramm. Nach der ersten VR-Therapieeinheit äußerten vier der 28 Teilnehmer (14.29%), die Aufgabe als langweilig empfunden zu haben. Nach der dritten VR-Therapieeinheit äußerten drei der 14 Teilnehmer (21.42%), die Aufgabe als langweilig empfunden zu haben. Die Aufgabengestaltung von virtuellen Anwendungen zur Therapie gegen Neglect schließt ein repetitives Element automatisch mit ein, da dies ein wichtiger Bestandteil der Wirkungsweise jeder Art

von Training und Übung ist. Es ist denkbar, dass der Zielreiz, also das um den Patienten trabende Pferd, nicht jeden Patienten gleichermaßen begeistert oder motiviert. Daher könnte durch eine Abkehr von videobasierten Aufnahmen hinzu softwareentwickelter, rein simulierter Umwelt das Reizmaterial an das Interessensgebiet des Patienten schnell angepasst werden. Auch die technisch begrenzte Bildauflösung, welche zum einen durch die 360-Grad-Kamera und zum anderen durch die Auflösung des HMDs vorgegeben ist, könnte hier eine Rolle spielen. So gaben nach der ersten VR-Therapieeinheit fünf (17.86%) und nach der dritten VR-Therapieeinheit einer (7.41%) der Patienten an, das Bild des HMDs verschwommen gesehen zu haben. Eine visuell aufwendige Darstellung der Übung ist ein wichtiger Faktor für die Motivation der Probanden (Bohil et al., 2011). Motivation spielt eine entscheidende Rolle für den Erfolg von neurorehabilitativen Maßnahmen (Johannes & Hellweg, 2010). Gleichzeitig kann auch hier eine möglicherweise reduzierte *Awareness* Grund für eine als langweilig bewertete Aufgabe sein. Insgesamt äußerten knapp die Hälfte der Patienten sowohl nach der ersten (53.58%) als auch nach der dritten VR-Therapieeinheit (50%), dass Ihnen die Therapie Spaß bereitet habe und interessant gewesen sei.

**Verlängerte Lesezeit:** Auffällig war weiterhin, dass sich die Lesezeit nach dem ersten Durchgang signifikant verlängerte, während sich die Anzahl der Lesefehler nicht merklich veränderte. Es wäre vorstellbar, dass die Lesezeit sich deshalb verlängerte, weil durch eine Verdrehung der subjektiven Mittellinie nach links insgesamt mehr Wörter gelesen oder wahrgenommen werden konnten. Es könnte sich ein Effekt angedeutet haben, den Reinhart, Keller und Kerkhoff (2010) durch passive Kopfdrehung in den vernachlässigten Halbraum und Reinhart et al. (2011) bei OKS feststellen konnten. Die Aufmerksamkeit muss durch die möglicherweise vorhandene Verschiebung der subjektiven Mitte nun über einen größeren räumlichen Bereich auf dem Papier verteilt werden. Bei genannten Autoren führte dies zu einer signifikanten Reduzierung von Auslassungen auf der linken Seite des Textes, während wortzentrierte Lesefehler unverändert in ihrer Häufigkeit blieben. In der vorliegenden Studie könnte sich dieser Effekt dadurch zeigen, dass ein größerer räumlicher Bereich des Textes erfasst werden konnte und deshalb mehr Lesezeit benötigt wurde. Nach drei VR-Therapieinterventionen zeigten sich allerdings keine Unterschiede mehr in der Lesezeit. Jedoch reduzierte sich die Anzahl der Lesefehler insgesamt signifikant. Anders formuliert: zunächst explorierten die Patienten unter VR-Anwendung weiter nach links im Lesetext, was zunächst die Lesezeit erhöhte. Nach weiteren VR-Anwendungen reduzierte sich dann die Anzahl der durch Neglect bedingten Auslassungsfehler im Text und die Patienten lasen dann schließlich auch schneller – bei gleichbleibend niedrigerer Fehlerzahl.

Eine Erklärung für die generelle Verbesserung der Patienten könnte in einem erhöhten Arousal und motivationalen Aspekten zu finden sein. Ein erhöhtes körperliches Arousal bei VR wurde bereits in Studie 1 nachgewiesen (vgl. 3.). Das Yerkes-Dodson-Gesetz (Yerkes & Dodson, 1908) beschreibt das



Phänomen, dass die kognitive Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit zum allgemein-nervösen Erregungsniveau steht. Die Abhängigkeit beschreibt dabei einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang. Ein mittleres Erregungsniveau gilt als optimale Voraussetzung für kognitive Leistungsfähigkeit. An einer Studie teilzunehmen, mit neuer unbekannter Technologie in Berührung zu kommen, sich in einer virtuellen Welt zu befinden und eine gewisse Unsicherheit vor dem Unbekannten könnte das Arousal entsprechend erhöht haben. Ebenso könnten sich Motivation und Erwartungshaltung aufgrund der Versuchsaufklärung durch Versuchsleiter und Chefarzt noch einmal erhöht haben.

**Verbesserte Leistung bei der Linienhalbierung:** Des Weiteren zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Leistungen im Line Bisection Test (Bailey et al., 2000) und im Zahlendurchstreichtest von Kerkhoff et al. (2014, NNR-Arbeit) unmittelbar nach der ersten VR-Therapieintervention im Vergleich zu unmittelbar vor der VR-Intervention. Als mögliche Erklärung können Wiederholungseffekte (Bortz & Döring, 2016) nicht vollständig ausgeschlossen werden, da zweimal innerhalb einer Stunde die gleiche Testreihe durchgeführt wurde. Für den Line Bisection Test lag zudem keine Parallellform zu verschiedenen Messzeitpunkten vor. Aber auch im Zahlendurchstreichtest, bei dem pro Testung jeweils eine andere Zahl, welche sich entsprechend auch an anderen Stellen des Aufgabenblatts befindet, zeigten die Patienten eine signifikante Verbesserung vor und nach der VR-Therapieintervention.

Betrachtet man die Post-hoc-Ergebnisse, so zeigt sich, dass bei der Linienhalbierung unmittelbar vor und nach der ersten VR-Therapieeinheit alle Linien signifikant näher am objektiven Mittelpunkt halbiert wurden. Dieser Effekt war zwei bis drei Tage nach der ersten VR-Therapieeinheit nicht mehr zu beobachten. Der Vergleich zwischen der Wirksamkeit der konventionellen Therapie und der VR-Therapie zeigte, dass zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapieeinheit ( $n=14$ ) noch immer ein Effekt beobachtbar war. So wurden die zweite und dritte Linie des Blatts (welche weiter links auf dem Aufgabenblatt liegen) nach der dreimaligen VR-Therapie signifikant besser halbiert. Ebenso zeigte sich nach dem ersten VR-Therapiedurchgang ( $N=28$ ), dass die Suchleistung sich nur für Zahlen, die auf der rechten Seite des Aufgabenblatts dargestellt wurden, signifikant verbesserte. Zahlen, welche auf der linken Seite dargestellt waren wurden dagegen nicht signifikant besser gefunden, weil sie zu weit links waren. Nach drei VR-Therapieeinheiten ( $n=14$ ) zeigte sich auch auf der linken Seite eine signifikante Verbesserung der Suchleistung im Zahlendurchstreichtest. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit der Transformationstheorie (vgl. [7.4.4.](#)). Nachdem die erste Linie des Line Bisection Tests sehr weit rechts auf dem Blatt abgebildet ist, könnte eine Verdrehung der subjektiven Mitte in Richtung kontraläsionale Seite keinen signifikanten Unterschied bewirkt haben, da bereits vor der Therapie die erste Linie ausreichend visuell erfasst werden konnte und so korrekt nahe der Mitte halbiert wurde. Entsprechend zeigte sich nach der VR-Therapie kein signifikanter Unterschied mehr. Die zweite Linie liegt dagegen eher mittig auf dem Blatt und die dritte Linie ist am linken Rand des Blatts abgebildet. Entsprechend

zieht eine bessere visuelle Erfassung dieser Linien auch eine signifikante Verbesserung der Linienhalbierung gemäß der Aufgabenstellung nach sich. Ein ähnlicher Effekt ist bei der Zahlendurchstreichaufgabe zu beobachten. Nach nur einer VR-Therapieeinheit scheint die Verdrehung der subjektiven Mitte nach links noch nicht ausreichend weit genug gewesen sein, um auch Zahlen auf der linken Seite des Blatts besser zu finden. Nach drei Therapieeinheiten könnte die Drehung der Kopfmittelachse bereits weiter nach links erfolgt sein, sodass dann auch Zahlen weiter links auf dieser Seite des Blatts signifikant besser gefunden wurden.

**Rückkehr auf das Ausgangsniveau:** Es war weiterhin zu beobachten, dass sich nach zwei bis drei Tagen nach der Anwendung der ersten VR-Therapieeinheit eine Rückkehr auf Ausgangsniveau zeigte. Dies steht im Einklang zu Untersuchungen mit vergleichbaren theoretischen Grundannahmen. So kehrten beispielsweise auch bei Kerkhoff, Keller et al. (2012) die Leistungen der Patienten 24 Stunden nach der OKS zurück auf das Baseline-Niveau. Vergleichbare Untersuchungen, welche auf OKS basieren (Keller et al., 2003; Kerkhoff et al., 2013; Kerkhoff, Keller et al., 2006), oder mit VR oder computergestützt arbeiten (Kim, Chun, Yun, Song, & Young, 2011; Yoo, Yong, Chung, & Yang, 2015), nutzten in der Regel mehrere Therapieeinheiten sowie einen längeren Zeitraum für eine Intervention, um einen dauerhaften Modulationseffekt zu erzielen.

Betrachtet man die 14 Patienten, welche drei VR-Therapieinterventionen erhalten haben, zeigt sich ein anderes Bild. Im Vergleich zur einwöchigen konventionellen Therapie verbesserten sich die Patienten signifikant nach dreimaliger VR-Therapieintervention als Add-on zur konventionellen Therapie. Es zeigte sich eine Verbesserung in der Linienhalbierung, der Zahlendurchstreichaufgabe und der Anzahl der Fehler in den Saarbrücker Lesetexten, wenn man die Differenzwerte zwischen vor der konventionellen Therapie und danach, sowie die Differenzwerte vor der ersten VR-Therapieintervention und zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Therapieintervention betrachtet. Ein erhöhtes Arousal und motivationale Faktoren könnten auch hier eine Rolle gespielt haben. Dennoch ist es unwahrscheinlich, dass dies als alleinige Erklärung für die Verbesserung gegenüber der konventionellen Therapie ausreicht. So konnte beispielsweise auch in Untersuchungen zu OKS bereits nach fünf Therapiesitzungen eine langfristige signifikante Überlegenheit der repetitiven OKS im Vergleich zu visuellem Explorations-training beobachtet werden (Kerkhoff et al., 2013; Kerkhoff et al., 2014; Kerkhoff, Keller et al., 2006).

**Explorationsbewegung:** Die Vorannahme, dass die Patienten über die zehnminütige VR-Therapieeinheit den Explorationswinkel, gemessen über die Kopfrotation, stetig steigern, konnte nicht bestätigt werden. Die Post-hoc-Untersuchungen zeigten, dass sich über die Zeit der Explorationsbewegungen hinweg eine umgekehrte U-Form bildet. Die Patienten explorierten somit zu Beginn und zum Ende der VR-Therapieintervention hin weniger in den vernachlässigten Halbraum hinein als im mittleren Teil der Intervention. Dies lässt zwei Vermutungen zu: Entweder war nach einem allmählichen Ansteigen der

Lernkurve die Gesamtzeit der Therapieeinheit zu lang und die Patienten waren ermüdet, weswegen sie die linksseitige Kopffrotation nicht stetig steigern oder aufrechterhalten konnten. Oder ihnen wurde nach etwa der Hälfte der Zeit die Aufgabe zu eintönig und langweilig, weswegen die Patienten mit weniger Motivation weiterarbeiteten und weniger weit nach links explorierten. Betrachtet man die Hochpunkte der beiden negativen Kurven für den ersten und den dritten Durchgang auf der X-Achse, wird deutlich, dass die Patienten bei der dritten VR-Therapieintervention durchschnittlich länger einen höheren Explorationswinkel aufrechterhalten konnten als im ersten Durchgang. Der Hochpunkt der quadratischen Funktion der ersten VR-Therapieintervention liegt bei 19.733/148.865, also kurz vor der 20. Kopfdrehung, mit einem Explorationswinkel von 148.9 Grad. Der Hochpunkt der dritten VR-Therapieintervention liegt bei 21.245/156.543, also nach der 21. Runde mit einem Explorationswinkel von 165,5 Grad. In der dritten Therapieeinheit wurde durchschnittlich signifikant weiter nach links exploriert als in der ersten. Dies legt nahe, dass ein therapeutischer Effekt vorliegt und es den Patienten besser gelingt, nach links dem Pferd hinterherzuschauen.

#### 4.8.3 Evaluation der Methodik

Zunächst kann angenommen werden, dass die Gütekriterien Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität (Bortz & Döring, 2016) in den durchgeführten Untersuchungen weitestgehend gegeben waren. Alle teilnehmenden Patienten erhielten für die Diagnostik sowie für die VR-Therapieintervention die gleiche mündliche Instruktion mithilfe eines standardisierten Instruktionsshefts. Ebenso wurden alle Fragen während der Instruktionsphase beantwortet. Das Forschungslabor war ein vor Lärm geschützter Raum. Entsprechend lag eine möglichst hohe Kontrolle äußerer Einflüsse während der Interaktion vor. Die Auswertung der Testverfahren sowie die Instruktion für die VR-Therapieeinheit erfolgten nach einem standardisierten Vorgehen.

In der vorliegenden Studie wurde in einem Within-Subjects-Design getestet, weswegen von einem höheren Maß an interner Validität ausgegangen werden kann. Symptome nach einem ischämischen oder hämorrhagischen Schlaganfall stellen sich generell sehr heterogen ausgeprägt dar (Ahlhelm et al., 2006; Kerkhoff & Schmidt, 2018). Durch das Within-Subjects-Design war eine bessere Kontrolle von individuellen Störvariablen möglich, welche in der Heterogenität und Komplexität des Krankheitsbilds liegen.

**Studiendesign:** Aufgrund des Studiendesigns war es allerdings nicht möglich, ein Outcome zu erfassen, welches allein durch die VR-Therapie entstanden ist. Die untersuchte VR-Therapie wurde den Patienten lediglich als Zusatz zur konventionellen Therapie appliziert. Dies macht die Bestimmung der statistischen Wirksamkeit der VR-Therapieintervention allein nicht möglich. Es ist aus ethischen Gründen

jedoch verpflichtend das Angebot der konventionellen Therapie fortzuführen, da sich die VR-Therapie in der neuropsychologischen Forschung noch nicht als evidenzbasierte Therapiemaßnahme etabliert hat. In einer Kontrollbedingung mit Intervention ist es dennoch schwieriger, signifikante Effekte zu finden, als bei einer Kontrollbedingung ohne Intervention (Lambert, 2013). Reihenfolgeeffekte der Interventionen wurden durch das Crossover-Design der Studie kontrolliert (Woche 1: Konventionelle Therapie, Woche 2: VR-Therapieintervention beziehungsweise vice versa). Des Weiteren wurden nichtparametrische Testverfahren wie der Wilcoxon-Test bei Bedingungen mit zu kleinen Stichproben oder Verletzung der Normalverteilung herangezogen (Bortz & Döring, 2016) und das Alpha-Fehler-Niveau adjustiert.

**Diagnoseinstrumente:** Die Auswahl der genutzten Diagnoseinstrumente kann kritisch beleuchtet werden. In der vorliegenden Studie zeigte der VR-Therapieansatz keine signifikanten Effekte auf das Ergebnis des Clock-Drawing-Tests. Der Clock-Drawing-Test nach Bailey et al. (2000) ist ein Diagnostikum für den repräsentationalen Neglect, weil aus dem repräsentationalen Gedächtnis heraus die Uhr gezeichnet wird. Es ist also fraglich, inwieweit ein visueller Neglect miterfasst wurde. Gleichzeitig kommt es während des Zeichnens zu einem visuellen Feedback, welches durch visuelle Anteile eines Neglects beeinträchtigt sein könnte. Neglect-Patienten, welche eine Uhr mit geschlossenen Augen zeichnen, schneiden teilweise besser ab, da die visuelle Rückmeldung so nicht vom visuellen Neglect beeinträchtigt wird (Chokron, Colliot, & Bartolomeo, 2004). Neumann et al. (2007) kritisieren des Weiteren das Fehlen von Studien in Bezug auf die Gütekriterien sowie das Fehlen von normativen Daten für den Clock-Drawing-Test. Durchstreichtests sind dagegen ein bewährtes, quantitatives und sensitives Diagnoseinstrument für den visuellen Neglect, auch wenn für den in der Studie verwendeten Test nach Kerkhoff et al. (2014, NNR) keine Gütekriterien vorhanden waren. Der Line Bisection Test nach Bailly et al. (2000) sowie die Saarbrücker Lesetexte (Kerkhoff, Wimbauer, & Reinhart, 2012) sind in der Neglect-Forschung ebenfalls gängige Instrumente. Für folgende und tiefgreifende Untersuchungen könnte die Diagnostik auf weitere Neglect-Modalitäten ausgedehnt werden, um mögliche Effekte des Einsatzes von HMDs auf weitere Neglect-Bereiche zu betrachten. Vor allem die auditive Modalität würde sich dabei anbieten. Durch die 360-Grad-Tonaufzeichnung der Kamera und 360-Grad-Wiedergabe der Kopfhörer ist sowohl ein Effekt innerhalb der Modalität als auch ein modalitätsübergreifender Effekt (auditiv) vorstellbar.

**Explorationswinkelmessung:** Bei der Messung des Explorationswinkels mittels des am HMD angebrachten Stabs und der digitalen Winkelscheibe, um die horizontale Kopfdrehbewegung der Patienten zu erfassen, wurden nicht alle Freiheitsgrade der menschlichen Kopfbewegung erfasst. Der Kopf kann mithilfe der oberen beiden Halswirbel, Atlas und Axis, wie ein Kugelgelenk in drei Freiheitsgraden bewegt werden (Netter, 2010). Unter Einsatz des gesamten Körpers ist eine

Kopfbewegung in sechs Freiheitsgraden möglich. Mithilfe der eingesetzten Technik konnte allerdings nur die horizontale Kopffrotation erfasst werden. Die Bewegung des Kopfes im dreidimensionalen Raum wurde nicht erfasst, was das Verfahren ungenauer und anfälliger für Messfehler macht. Da jede Kopfbewegung nach der Untersuchung manuell per Videoaufnahme überprüft und von der Winkelscheibe abgelesen wurde, war das Verfahren ungenauer als eine objektive computergestützte bzw. sensorbasierte Messmethode. So konnte beispielsweise dann, wenn sich der Patient sich im Rollstuhl während der Aufgabe vom Mittelpunkt der Winkelscheibe wegbewegte, die Translationsbewegung nicht mehr nachkorrigiert werden. Des Weiteren wurde die Augenbewegung nicht miterfasst. Ein mögliches Verweilen der Augen am Startpunkt der Explorationsbewegung, im Sinne einer bei Neglect häufig zu beobachtenden ipsiläsionalen Blickdeviation (Fink & Heide, 2004) während sich der Kopf nach links weiterdreht, kann so nicht ausgeschlossen werden. Für die therapeutische Wirkung wäre dieser Aspekt aber weniger relevant, da sich ja signifikante Effekte der VR-Intervention in dieser Studie gezeigt haben.

**Probandenrekrutierung:** Ein möglicher Kritikpunkt kann in der Art der Probandenrekrutierung angesetzt werden. Nach Bortz und Döring (2016) entspricht die Patientenpopulation der vorliegenden Studie 2 einer Gelegenheits- oder Ad-hoc-Stichprobe. Bei einer Gelegenheitsstichprobe kann nur indirekt auf die Inferenzpopulation zurückgeschlossen werden. Die Patienten wurden demnach nicht zufällig für die Teilnahme an der Studie ausgewählt. Die Aufnahme in die Studie war vor allem von der unmittelbaren Verfügbarkeit und den Empfehlungen der in der Klinik arbeitenden Neuropsychologen abhängig. Da die angestellten Neuropsychologen grob das Studiendesign und die Forschungsfrage kannten, könnte es zu einer systematischen Verzerrung gekommen und entsprechend diejenigen Patienten ausgewählt worden sein, welche sie als besonders geeignet für die Studie erachteten. Ebenso wurde eine hohe Zahl an Ausschlusskriterien an die Stichprobe gestellt, welche sowohl durch Vorbefunde als auch durch eine finale Untersuchung des Chefarztes angewandt wurden. Dies kann zu einer Verzerrung der Population der Neglect-Patienten in ihrer Gesamtheit geführt haben. Dennoch war es aus ethischen und therapeutischen Gründen ein alternativloses Vorgehen.

**Konventionelle Therapie:** Ein weiterer kritischer Punkt kann in der nicht klar definierten konventionellen Therapie gesehen werden. Die in der Klinik durchgeführte Therapie kann aus unterschiedlichen Gründen stark variieren. So kann der momentane Behandlungsschwerpunkt eines Patienten beispielsweise auf physiotherapeutischen Maßnahmen liegen und die neuropsychologische Therapie nur flankierend eingesetzt werden. Entsprechend ist die Anzahl der wöchentlichen neuropsychologischen Therapien nicht fest definiert. Ebenso ist die Gesamtzahl an therapeutischen Einheiten pro Tag von vielen verschiedenen Faktoren wie Vorgaben von Krankenkassen, verfügbarem Personal der Klinik und Compliance der Patienten beeinflusst. Des Weiteren unterscheidet sich die Art der neuropsychologischen

Neglect-Therapie zwischen den Patienten. Die Patienten wurden von unterschiedlichen Stationen des Hauses rekrutiert. Auf jeder Station arbeiten andere Neuropsychologen. Zum einen ist davon auszugehen, dass unterschiedliche Neuropsychologen je nach Erfahrungsgrad, Interesse, Ausbildungsstand und Möglichkeiten auf der Station auf verschiedene Verfahren und Schwerpunkte in der Neglect-Behandlung setzen. Ebenso können Patienten, die körperlich weniger betroffen sind oder deren Orientierungsleistungen bereits dafür ausreichen, eher an einem PC-gestützten neuropsychologischem Training teilnehmen als schwerer betroffene Patienten. Die Schwierigkeit von nicht klar definierten konventionellen Therapien führt in Metaanalysen, welche sich mit VR und neurologischen Erkrankungen beschäftigen, zu Schwierigkeiten in der Auswertung. Entsprechend fordern Lohse, Hilderman, Cheung, Tatla und van der Loos (2014) dies für künftige Untersuchungen zu berücksichtigen. Gleichzeitig ist ein One-fits-all-Therapie-Verfahren gerade bei einer komplexen Erkrankung wie dem Neglect im klinischen Setting weder durchführbar noch ethisch vertretbar. Vor diesem Hintergrund ist Tabelle 43 zu betrachten. Da in der Regel versucht wird, eine Mindestzahl an Therapie-Einheiten pro Patienten einzuhalten und die Patienten meist gleichbleibenden Therapeuten zugewiesen sind, welche entsprechend gleichbleibende Arbeitszeiten haben, unterscheiden sich die Therapie-Minuten pro Patienten nicht signifikant zwischen der Woche ohne VR-Therapie und der Woche mit VR-Therapie als Add-on. Es ist daher unwahrscheinlich, dass dieser Einfluss das unterschiedliche Therapie-Outcome beeinflusst hat. Allerdings kann aus Tabelle 43 nicht abgeleitet werden, welchen Schwerpunkt der jeweilige Therapeut innerhalb der einzelnen Therapie-Einheit gesetzt hatte. Entsprechend ist der vollständige Einfluss dieses Faktors schwer abschätzbar. Das Add-on VR-Therapie wurde nicht zu den Therapie-Einheiten addiert.

**Follow-up-Untersuchung:** Auch sollte kritisch angemerkt werden, dass keine echte Follow-up-Untersuchung durchgeführt wurde. Das Studiendesign ließ keine Follow-up-Messung und damit keine Untersuchung möglicher Langzeiteffekte der Therapieinterventionen zu. Im klinischen Setting besteht immer die Möglichkeit einer Entlassung oder akuten Verlegung eines Patienten, was eine Follow-up-Messung verhindern oder verzerren könnte und daher den Dropout für spätere Messzeitpunkte erhöht. Für eine Follow-up-Messung wäre ein Between-Subjects-Design geeigneter. Dies würde einen größeren Stichprobenumfang voraussetzen, was den Erhebungszeitraum einer Studie deutlich verlängern würde.

**Technologie:** Letztendlich muss auch die Anwendung der Technologie im therapeutischen Kontext kritisch betrachtet werden. Im MR-Kontinuum von Milgram et al. (1995) (vgl. Abbildung 2) kann die in der Studie genutzte Anwendungsweise sehr weit rechts eingeordnet werden. Die Umwelt wird dementsprechend rein virtuell dargestellt und, abgesehen von der verbalen Kontaktaufnahme zum Untersucher, ist der Patient sowohl visuell als auch auditorisch völlig in einer künstlichen Welt. Es ist noch nicht untersucht, inwiefern diese Art der Therapie Auswirkungen auf die therapeutische Beziehung

hat. Vor allem aus der verhaltenstherapeutischen Forschung ist bekannt, dass die therapeutische Beziehung ein wichtiger Faktor für den Therapieerfolg darstellt, während für die neuropsychologische Therapie dazu noch wenige Untersuchungen vorliegen (Märtens, Liegl, & Leitner, 2012). Problematisch könnte vor allem der mangelnde Augenkontakt sein und die nicht vorhandene Möglichkeit den mimischen und gestischen Ausdruck des Gegenübers zu erkennen. Zahlreiche Studien belegen den Zusammenhang zwischen visuellen, nonverbalen Hinweisen und Empathie (Hall, Harrigan, & Rosenthal, 1995). Gerade Empathie ist ein entscheidender Faktor für den therapeutischen Erfolg (Elliott, Bohart, Watson, & Murphy, 2018). Für zukünftige Untersuchungen wäre der Einsatz eines virtuellen Avatars eine denkbare Alternative. Ebenso könnte sich stärker auf eine MR- oder AR-basierte Therapieform konzentriert werden, da dort ein visueller Kontakt zwischen Patienten und Therapeut aufrechterhalten werden könnte.

#### 4.8.4 Implikationen für die zukünftige Forschung und Praxis

HMDs werden als die innovativste Hardware-Kategorie innerhalb der Technologiebranche gehandelt (Deloitte Deutschland, 2020). Neben der Hardware sind jedoch vor allem kreative und aufgabenbezogene Software- und Anwendungsfälle ein Kerngebiet der Forschung unterschiedlicher Wissenschaften. Ziel von Studie 2 war es empirische Evidenz über Einsatz und Wirksamkeit von HMDs zur Behandlung von Neglect in der neurorehabilitativen Therapie zu schaffen. Betrachtet man die Ergebnisse, so deutet sich eine höhere Wirksamkeit der Neglect-Therapie an, wenn die konventionelle Therapie einer neurologischen Rehabilitationsklinik um die angewandte VR-Therapie erweitert wird. Für die klinische therapeutische Nutzung von VRs und HMDs in der Neglect-Behandlung bedarf es jedoch noch weiterer Forschung. Diese muss sowohl die genutzte Hardware als auch Anwendungen, Usability, theoretisch abgeleitete Wirkmechanismen sowie motivationale Aspekte genauer in Betracht ziehen.

Vorliegende Studie 2 setzt an den Empfehlungen für die Methodik klinischer VR-Studien im Gesundheitswesen (Birckhead et al., 2019) zwischen den Stufen VR2 und VR3, mit Hauptakzentuierung auf VR3, an (vgl. Tabelle 2). Dabei führen VR2-Studien frühe Testphasen mit dem Fokus auf Machbarkeit, Akzeptanz, Toleranz und initialer klinischer Wirksamkeit durch. VR3-Studien dagegen sind RCTs (*randomized control trails*), die klinisch bedeutsame *Outcomes* zwischen Interventions- und Kontrollgruppe untersuchen. Ein möglicher nächster Schritt, um weitere empirische Evidenz zu gewinnen, wären multizentrische Studien. Diese ermöglichen, rascher eine höhere Anzahl an Probanden zu rekrutieren und die Population der Neglect-Patienten besser abzubilden. Dadurch könnten auch weitere Moderatorvariablen entdeckt und ihr Einfluss untersucht werden. Eine wichtige Fragestellung wäre, ob sich Unterschiede in Abhängigkeit der Rehabilitationsphase zeigen und ob auch schwerbetroffene Patienten, die sich noch am Anfang der Rehabilitation befinden, von HMDs profitieren können. Ebenso würde

dies eine Untersuchung von aussagekräftigen Follow-up-Befunden vereinfachen. Durch den Einsatz von mobilen Stand-alone-HMDs wäre inzwischen eine ökonomische Durchführung solcher Untersuchungen leichter möglich. Da die HMDs via WLAN eine ständige Verbindung zum Internet haben, müsste, unter entsprechenden datenschutzrechtlichen Berücksichtigungen, eine Fernwartung dieser Systeme gut durchführbar sein. So könnten die HMDs an verschiedene Kliniken und Einrichtungen ausgegeben und aktuelle Software und Forschungsanwendungen zentral verwaltet werden, was multi-zentrische Studien erleichtern würde.

Beim Einsatz von VR-Systemen, die sich weit rechts auf dem Mixed-Reality-Kontinuum von Milgram et al. (1995) befinden, sollte zukünftig darauf geachtet werden, dass es sich um ein System mit Eye-Tracking handelt. Viele HMDs der neueren Generation ab 2019 haben dies inzwischen im Auslieferungszustand mit eingebaut (VIVE Pro Eye - VIVE™, 2020) oder können entsprechend nachgerüstet werden (Tobii Pro VR Integration based on HTC Vive HMD, 2020). Idealerweise sollten dabei noch Schnittstellen für das Auslesen der Daten des Gyroskops des HMDs geschaffen werden. Somit könnten neben den Augenbewegungen noch die sechs Freiheitsgrade der Stellung des Kopfes im Raum in Echtzeit miterfasst und ausgewertet werden. Dies würde deutlich bessere Rückschlüsse auf das Verhalten der Patienten zulassen und mögliche Wirkmechanismen besser untersuchbar machen.

Ein weiterer Schritt könnte der Einsatz von MxR und AR sein. Dadurch wäre es dem Therapeuten besser möglich im Kontakt mit dem Patienten zu bleiben, da der mimische und körpersprachliche Ausdruck des jeweiligen Gegenübers erkannt und gedeutet werden könnte. Moderne MxR-Systeme wie die Microsoft HoloLens 2 ermöglichen eine Synchronisation von mehreren HMDs. Dadurch wird den Anwendern der gleiche augmentierte Inhalt unter Berücksichtigung des jeweiligen Sichtwinkels in die Realität eingeblendet. So könnten sich Therapeut und Patient auf die virtuellen Objekte im Raum beziehen und diese gemeinsam betrachten und manipulieren, ohne sich dabei aus den Augen zu verlieren. Dies würde auch eine näher an der Lebenswirklichkeit des Patienten orientierte Therapie ermöglichen, da die alltägliche Umwelt der Betroffenen um entsprechende Therapieprogramme oder Hilfsfunktionen erweitert werden könnte. Auch ein unmittelbarer Vergleich von VR, MxR und AR würde weitere wichtige Erkenntnisse zur Neglect-Behandlung mittels HMD erlauben.

Im Kern sollten die Anwendungen daraufhin abzielen, die aktuelle Neglect-Behandlung zu erweitern, zu verbessern und mobiler zu machen. Wie einleitend erwähnt, haben Situationen wie die COVID-19-Pandemie die Notwendigkeit von PC-gestützter, ortsunabhängiger Therapie aufgezeigt und Schwachstellen der momentanen stationären und ambulanten Therapieversorgung deutlich gemacht. Der Einsatz von VR und HMDs in der neuropsychologischen Therapie - auch zu Hause als Home-Therapie - sollte nicht als angestrebter Paradigmenwechsel verstanden oder gar gefürchtet werden. Vielmehr sollten sich künftige Untersuchungen auf Möglichkeiten der Ergänzung und Erweiterung von



konventionellen Neglect-Therapie-Ansätzen konzentrieren. Die vorliegende Studie konnte das Potenzial einer virtuellen Neglect-Therapie präsentiert auf einem HMD aufzeigen. Die gefundene Wirksamkeit von VR-Therapieinterventionen mittels HMD bei Neglect ermutigt weitere empirische Evidenz für diese Therapieform zu erforschen.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es zunächst einen Überblick über das breitgefächerte Gebiet der virtuellen Realität und die Technik der HMDs sowie deren Einsatz zu verschaffen. Da die Anwendung bei neuropsychologischen Störungsbildern bisher nur in wenigen Einzelstudien mit meist Prototypen von HMDs untersucht wurde, wurden zunächst generelle Überlegungen zum Einsatz von kommerziellen HMDs bei neurologischen Patienten erörtert. Dazu wurden verschiedenen Präsentationsformen zur Darstellung und Wiedergabe virtueller Therapien aufgezeigt sowie Möglichkeiten, das Verhalten des Anwenders technisch zu erfassen, verglichen. Im nächsten Schritt wurden die beiden Möglichkeiten zur Erstellung von virtuellem Therapie-Material gegenübergestellt. Während die Erstellung von 180-Grad- oder 360-Grad-Videos mit relativ wenig Kosten, kürzerem zeitlichem Aufwand und weniger Programmierkenntnissen durchführbar ist, haben sie vor allem den Nachteil, dass der Anwender neben dem passiven Wahrnehmen am HMD nur sehr wenig mit dem virtuellen Therapie-Material interagieren kann. Programmierte virtuelle Räume und Welten haben dagegen den Vorteil, dass sich der Nutzer frei in ihnen bewegen kann. Therapeutisch gibt es deutlich mehr Möglichkeiten diese virtuelle Umwelt zu manipulieren und adaptiv zu gestalten. Nachteile der programmierten virtuellen Umwelt liegen in der aufwendigeren Herstellung der Inhalte, da in der Regel dazu entsprechende Kenntnisse der jeweiligen Programmiersprachen vorhanden sein müssen. Ebenso kann eine völlig künstlich entwickelte Umwelt (mit frei gestaltbaren physikalischen Gesetzen usw.) neurologische Patienten gerade zu Beginn der Rehabilitation eher in eine Überforderung bringen, als sie therapeutisch zu nutzen. Weiter wurden biologische und psychologische Gesichtspunkte, welche beim Einsatz der Technik an Patienten eine Rolle spielen könnten, diskutiert. Dabei wurde ein Schwerpunkt auf SiS gelegt, da in der Literatur eine Auftretensrate von bis zu 80% berichtet wird (Stanney et al., 2002) und Möglichkeiten erörtert die Auftrittswahrscheinlichkeit dieser unerwünschten Nebenwirkung auf ein Minimum zu reduzieren. Dazu zählen ein HMD mit möglichst geringer Latenz für den klinischen Einsatz zu wählen, die Exposition mit dem VR-Inhalt so kurz wie möglich, aber so lange wie nötig zu gestalten, die Perspektive, aus der der Patient den VR-Inhalt sieht (Kameraposition), immer an einem festen Punkt zu belassen und die Therapie in einem gut belüfteten und angenehm gestalteten Raum durchzuführen. Die zentralen Begriffe *Präsenz*, also das subjektive Gefühl, sich tatsächlich in der virtuellen Umwelt zu befinden, und *Immersion*, also die technischen Aspekte des VR-Systems mithilfe derer eine möglichst hohes

Präsenzgefühl geschaffen wird, wurden vor dem Hintergrund motivationaler Aspekte aufgezeigt und das Potenzial von HMDs gegenüber klassischer Darstellung auf einem Bildschirm besprochen. Zum Ende wurden aktuelle Anwendungsbeispiele aus der psychologischen Forschung aufgezeigt. Vor den Erkenntnissen aus dieser theoretischen Recherche wurden die beiden darauffolgenden Studien umgesetzt.

**Studie 1:** Die erste Studie hat das Ziel grundlegende Erkenntnisse zur Wirksamkeit und Verträglichkeit von VR präsentiert über ein HMD bei neurologischen Patienten zu gewinnen. Bei 20 Patienten zwischen 30 und 85 Jahren mit den Krankheitsbildern Hirninfarkt, Hirnblutung, Critical-Illness-Polyneuropathie und Schädel-Hirn-Trauma wurden die physiologischen Parameter Hautleitwert und Pulsfrequenz erhoben sowie das emotionale und das körperliche Wohlbefinden und die Akzeptanz des Verfahrens abgefragt. Als Verfahren wurde eine virtuelle Entspannungstherapie mit einer akustische Phantasiereise und der Kontrollbedingung „Mandala ausmalen“ verglichen. Eine wesentliche Erkenntnis war, dass durch die Umsetzung der vorangegangenen theoretischen Überlegungen keinerlei Nebenwirkungen bei den Patienten zu beobachten waren, welche durch die HMDs ausgelöst wurden. Ebenso zeigte sich eine hohe Akzeptanz des VR-Verfahrens durch die teilnehmenden Patienten. Gleichzeitig nahmen von 54 über die Studie aufgeklärten Patienten nur 22 teil. Diese hohe Ablehnungsrate könnte durch die Neuheit der genutzten Technik verursacht worden sein, mit der wahrscheinlich erst wenig der Patienten zuvor im Alltag Kontakt hatten. Die hohe Akzeptanz nach einmaliger Anwendung lässt vermuten, dass eine anfangs ablehnende Einstellung durch Erfahrung abgebaut werden kann. Bei den objektiven Parametern konnte kein signifikanter Effekt nachgewiesen werden. Es zeigte sich dagegen ein positiv empfundenen Arousal, welches die Patienten subjektiv als angenehm und entspannend interpretierten. Diese Ergebnisse ermutigten in Studie 2, den Einsatz der HMD-Technologie an einem konkreten neurologischen Krankheitsbild, dem Neglect, zu untersuchen.

**Studie 2:** In der zweiten Studie wurde untersucht, ob die Anwendung von VR mittels eines HMDs bei 28 Patienten mit linksseitigem visuellem Neglect als Add-on einer konventionellen Neglect-Therapie überlegen ist. Verträglichkeit und Nebenwirkungen wurden mit erfasst. Die eingesetzte Technologie löste auch bei den Neglect-Patienten keine Nebenwirkungen aus. Therapeutisch zeigte sich ein unmittelbarer Effekt nach der ersten VR-Anwendung bei einer Linienhalbierungsaufgabe und einem Zahlendurchstreichtest. Dieser Effekt verschwand zwei bis drei Tage nach der ersten Anwendung jedoch vollständig. Die Hälfte der Patienten nahm dreimal innerhalb einer Woche an der VR-Therapie teil. Bei ihnen konnte ein signifikanter Effekt auch zwei bis drei Tage nach der dritten VR-Anwendung nachgewiesen werden. So verbesserten sich die Patienten signifikant bei der Linienhalbierungsaufgabe, im Zahlendurchstreichtest und im Lesen der Saarbrücker Lesetexte. Des Weiteren konnte die Erkenntnis

gewonnen werden, dass sich die Explorationsleistung bis etwa zur Hälfte der Aufgabe steigerte und danach wieder abnahm.

Die Ergebnisse beider Studien ermutigen dazu weitere Forschungsarbeit über die Anwendung von VR präsentiert über ein HMD bei neurologischen Patienten zu investieren. Neben der Anwendung von VR wäre es vor allem auch wichtig die Betrachtung von MxR und AR mit einzubeziehen. Ein Vorteil gegenüber klassischer Medizinprodukte liegt darin, dass in der Weiterentwicklung der Hardware ein viel größeres kommerzielles Interesse liegt. Die Vielfältigkeit der Anwendungen in Industrie, Unterhaltungsbranche sowie in der Forschung treibt die Weiterentwicklung der Hardware sehr viel schneller voran. Wenn die technische Entwicklung zukünftig mit so hohem Tempo fortschreitet, die Geräte immer kleiner, schneller und leichter werden, werden sich immer mehr Anwendungen für den therapeutischen Einsatz ergeben. Bereits jetzt sind herkömmlich aussehende Brillen in der Entwicklung, in deren Gläser zusätzliche Inhalte eingeblendet werden können. Durch die Erweiterung der Realität von Patienten durch AR könnten diese einerseits therapeutisch profitieren, andererseits wäre auch eine kompensatorische Hilfestellung denkbar. Dabei sind der Phantasie keine Grenzen gesetzt. So könnte beispielsweise eine in die Realität eingeblendete OKS Neglect-Patienten helfen den Explorationsraum zu vergrößern. Im Gegensatz zu Darstellung am Bildschirm könnte sich die OKS dreidimensional in die Realität einfügen und dadurch sich räumlich und dreidimensional nicht nur vor, sondern um den Patienten bewegen. Ein weiteres Beispiel wäre eine ort- und zeitbasierte Einblendung von relevanten Erinnerungshilfen. So könnten Patienten mit Gedächtnisproblemen beispielsweise morgens in der Küche ortsbasiert den Hinweis eingeblendet bekommen, die Medikamente einzunehmen. In die Brille wird die genaue Anzahl, das Aussehen der Verpackung und per Pfeil der Ort, an dem sich die Medikamente befinden, eingeblendet. Die Kamerasensorik erkennt, dass die Person die Medikamente eingenommen hat und blendet den Hinweis aus. Der Patient selbst muss sich nicht aktiv mit der Software auseinandersetzen. Bevor solche noch utopisch anmutenden Überlegungen in der Realität umgesetzt werden können, bedarf es weiterer Studien wie diese in der vorliegenden Arbeit, um grundsätzliche Wirkmechanismen zu erkunden.

Aufgrund der hohen Präsenz und Immersion sowie der eingesetzten Sensorik ist die Anwendung von HMDs viel mehr als eine weitere Darbietungsform von Therapiesoftware. Chris Milk, der Gründer von VRSE (inzwischen Within), einer Firma, welche proprietäre Software und Tools für Virtual und Augmented Reality Entertainment, Fitness und Lernen entwickelt, hat die Darstellung von VR auf HMDs folgendermaßen formuliert: *„If you just look at the medium and what it's doing, we are basically broadcasting human senses to your conciseness. We are duplicating perception.“* (Flight Simulation Technologies Conference,; O'falt, 2016). Dies verdeutlicht das Potenzial, aber auch die Notwendigkeit weiterführender Forschungsarbeit. Gerade bei der Anwendung an der sensiblen neurologischen

Patientengruppe, bei der die Perzeption durch die neuronale Verletzung beeinträchtigt ist, sind Erkenntnisse aus einer gesunden Stichprobe nicht ohne Weiteres übertragbar.

Wie einleitend in dieser Arbeit erwähnt, galt 2009 VR in der psychologischen Forschung noch als „die Antwort, die auf eine Frage wartet“ (Foreman, 2009, S. 225). Inzwischen hat sich dies umgekehrt und es gilt, die vielen Fragen zu beantworten und das Potenzial von HMDs weiter freizulegen.

## 6. Literaturverzeichnis

- Ahlhelm, F. J., Naumann, N., Haass, A., Grunwald, I., Schulte-Altendorneburg, G., Fassbender, K., & Reith, W. (2006). Hirninfarkt [Stroke]. *Der Radiologe*, *46*(10), 905-17; quiz 918.  
<https://doi.org/10.1007/s00117-006-1408-1>
- Amores, J., Richer, R., Zhao, N., Maes, P., & Eskofier, B. M. (2018, March). Promoting relaxation using virtual reality, olfactory interfaces and wearable EEG. In *2018 IEEE 15th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)* (S. 98–101). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/BSN.2018.8329668>
- Araikawa, Y., Sugano, M., Takabatake, S., & Naitoh, Y. (2018, April). Visual Cognitive Function Measurement System for Unilateral Spatial Neglect Using Smartphone VR. In N. Weibel, K. Wac, & L. Li (Eds.), *Proceedings of the Proceedings of the 12th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare – Demos, Posters, Doctoral Colloquium*. EAI.  
<https://doi.org/10.4108/eai.20-4-2018.2276231>
- Aukstakalnis, S., & Blatner, D. (1993). *Silicon mirage: The art and science of virtual reality*. Berkeley, Calif.: Peachpit Press.
- Azouvi, P., Samuel, C., Louis-Dreyfus, A., Bernati, T., Bartolomeo, P., Beis, J.-M., . . . Rousseaux, M. (2002). Sensitivity of clinical and behavioural tests of spatial neglect after right hemisphere stroke. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *73*(2), 160–166.  
<https://doi.org/10.1136/jnnp.73.2.160>
- Azouvi, P., Bartolomeo, P., Beis, J.-M., Perennou, D., Pradat-Diehl, P., & Rousseaux, M. (2006). A battery of tests for the quantitative assessment of unilateral neglect. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *24*(4-6), 273–285.
- Azouvi, P., Jacquin-Courtois, S., & Luauté, J. (2017). Rehabilitation of unilateral neglect: Evidence-based medicine. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *60*(3), 191–197.  
<https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.10.006>
- Bailey, M. J., Riddoch, M. J., & Crome, P. (2000). Evaluation of a test battery for hemineglect in elderly stroke patients for use by therapists in clinical practice. *NeuroRehabilitation*, *14*(3), 139–150. <https://doi.org/10.3233/NRE-2000-14303>
- Baños, R. M., Espinoza, M., García-Palacios, A., Cervera, J. M., Esquerdo, G., Barrañón, E., & Botella, C. (2013). A positive psychological intervention using virtual reality for patients with advanced cancer in a hospital setting: A pilot study to assess feasibility. *Supportive Care in Cancer : Official*

- Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 21(1), 263–270.  
<https://doi.org/10.1007/s00520-012-1520-x>
- Beer, A. L. (2018). Psycware - Produkte. Zugriff am 18.12.2019. Verfügbar unter  
<http://www.psycware.de/produkte/index.html>
- Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (2010). Das visuelle System. In N. Birbaumer & R. F. Schmidt (Eds.),  
*Springer-Lehrbuch. Biologische Psychologie* (Vol. 265, S. 375–414). Berlin, Heidelberg: Springer  
Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-95938-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-540-95938-0_17)
- Birckhead, B., Khalil, C., Liu, X., Conovitz, S., Rizzo, A., Danovitch, I., . . . Spiegel, B. (2019). Recommen-  
dations for Methodology of Virtual Reality Clinical Trials in Health Care by an International Work-  
ing Group: Iterative Study. *JMIR Mental Health*, 6(1), e11973. <https://doi.org/10.2196/11973>
- Bisiach, E., & Vallar, G. (2000). Unilateral neglect in humans. In F. Boller, J. Grafman, & G. Rizzolatti  
(Eds.), *Handbook of neuropsychology: Sect 1: Introduction, Sect 2: Attention* (S. 459–502). Elsevier  
Science Publishers B.V..
- Bisiach, E., & Luzzatti, C. (1978). Unilateral Neglect of Representational Space. *Cortex*, 14(1), 129–  
133. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(78\)80016-1](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(78)80016-1)
- Blascovich, J., Loomis, J., Beall, A. C., Swinth, K. R., Hoyt, C. L., & Bailenson, J. N. (2002). TARGET AR-  
TICLE: Immersive Virtual Environment Technology as a Methodological Tool for Social Psychology.  
*Psychological Inquiry*, 13(2), 103–124. [https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1302\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1302_01)
- Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12), 752–762. <https://doi.org/10.1038/nrn3122>
- Bortz, J., & Döring, N. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissen-  
schaftler* (5., überarb. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Heidelberg: Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Botella, C., Pérez-Ara, M. Á., Bretón-López, J., Quero, S., García-Palacios, A., & Baños, R. M. (2016). In  
Vivo versus Augmented Reality Exposure in the Treatment of Small Animal Phobia: A Randomized  
Controlled Trial. *PloS One*, 11(2), e0148237. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148237>
- Botella, C., Serrano, B., Baños, R. M., & Garcia-Palacios, A. (2015). Virtual reality exposure-based  
therapy for the treatment of post-traumatic stress disorder: A review of its efficacy, the adequacy  
of the treatment protocol, and its acceptability. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 11,  
2533–2545. <https://doi.org/10.2147/NDT.S89542>
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.  
<https://doi.org/10.1038/35784>.

- Bouchard, S., & Rizzo, A. "S." (2019). Applications of Virtual Reality in Clinical Psychology and Clinical Cognitive Neuroscience—An Introduction. In A. "S." Rizzo & S. Bouchard (Eds.), *Virtual Reality Technologies for Health and Clinical Applications. Virtual Reality for Psychological and Neurocognitive Interventions* (Vol. 55, S. 1–13). New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9482-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9482-3_1)
- Bowen, A., Hazelton, C., Pollock, A., & Lincoln, N. B. (2013). Cognitive rehabilitation for spatial neglect following stroke. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. (7), CD003586. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003586.pub3>
- Bowie, C. R., & Harvey, P. D. (2006). Administration and interpretation of the Trail Making Test. *Nature Protocols*, 1(5), 2277–2281. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.390>
- Bowins, B. (2010). Motion sickness: A negative reinforcement model. *Brain Research Bulletin*, 81(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.09.017>
- Bricken, M. (1991). Virtual reality learning environments: Potentials and challenges. *ACM Computer Graphics*.
- Brosius, F. (2018). *SPSIS: Umfassendes Handbuch zu Statistik und Datenanalyse* (8th ed.). mitp Professional. Frechen: MITP.
- Buhler, H., Misztal, S., & Schild, J. (2018, March). Reducing VR Sickness Through Peripheral Visual Effects. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (S. 517–519). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446346>
- Buschke, H. (1984). Cued recall in amnesia. *Journal of Clinical Neuropsychology*, 6(4), 433–440. <https://doi.org/10.1080/01688638408401233>
- Calogiuri, G., Litleskare, S., Fagerheim, K. A., Rydgren, T. L., Brambilla, E., & Thurston, M. (2018). Experiencing Nature through Immersive Virtual Environments: Environmental Perceptions, Physical Engagement, and Affective Responses during a Simulated Nature Walk. *Frontiers in Psychology*, 8, 2321. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02321>
- Carnegie, K., & Rhee, T. (2015). Reducing Visual Discomfort with HMDs Using Dynamic Depth of Field. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(5), 34–41. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.98>
- Chen, P., Hreha, K., Kong, Y., & Barrett, A. M. (2015). Impact of spatial neglect on stroke rehabilitation: Evidence from the setting of an inpatient rehabilitation facility. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(8), 1458–1466. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.03.019>
- Cheung, B. S., Howard, I. P., & Money, K. E. (1991). Visually-induced sickness in normal and bilaterally labyrinthine-defective subjects. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 62(6), 527–531.

- Cheung, B. S. K., Howard, I. P., Nedzelski, J. M., & Landolt, J. P. (1989). Circularvection About Earth-horizontal Axes in Bilateral Labyrinthine-defective Subjects. *Acta Oto-Laryngologica*, *108*(5-6), 336–344. <https://doi.org/10.3109/00016488909125537>
- Choi, H.-S., Shin, W.-S., & Bang, D.-H. (2021). Application of digital practice to improve head movement, visual perception and activities of daily living for subacute stroke patients with unilateral spatial neglect: Preliminary results of a single-blinded, randomized controlled trial. *Medicine*, *100*(6), e24637. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000024637>
- Chokron, S., Colliot, P., & Bartolomeo, P. (2004). The Role of Vision in Spatial Representation. *Cortex*, *40*(2), 281–290. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(08\)70123-0](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(08)70123-0)
- Chopik, W. J. (2016). The Benefits of Social Technology Use Among Older Adults Are Mediated by Reduced Loneliness. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, *19*(9), 551–556. <https://doi.org/10.1089/cyber.2016.0151>
- Coleridge, S. T. (2009). *Biographia Literaria*: Floating Press. Zugriff am 12.08.2020. Verfügbar unter <https://books.google.de/books?id=Q2nB8jpp0LsC>
- Coleridge, S. T., & Shawcross, J. (1907). *Biographia Literaria*. *Biographia Literaria*: Clarendon Press. Zugriff am 12.08.2020. Verfügbar unter <https://books.google.de/books?id=m50TAAAYAAJ>
- Colombo, V., Mondellini, M., Gandolfo, A., Fumagalli, A., & Sacco, M. (2019). Usability and Acceptability of a Virtual Reality-Based System for Endurance Training in Elderly with Chronic Respiratory Diseases. In P. Bourdot, V. Interrante, L. Nedel, N. Magnenat-Thalmann, & G. Zachmann (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science. Virtual Reality and Augmented Reality* (Vol. 11883, S. 87–96). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31908-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31908-3_6)
- Corbetta, M., Kincade, M. J., Lewis, C., Snyder, A. Z., & Sapir, A. (2005). Neural basis and recovery of spatial attention deficits in spatial neglect. *Nature Neuroscience*, *8*(11), 1603–1610. <https://doi.org/10.1038/nn1574>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, *3*(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2011). Spatial neglect and attention networks. *Annual Review of Neuroscience*, *34*, 569–599. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113731>
- Crampton, G. H. (1990). *Motion and space sickness*. Boca Raton, Fla.: CRC Pr.
- Croci, S. (2019). Puls Normalwerte | BlutdruckDaten-Lexikon. Zugriff am 12.07.2020. Verfügbar unter <https://www.blutdruckdaten.de/lexikon/puls-normalwerte.html>
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., & DeFanti, T. A. (1993). Surround-screen projection-based virtual reality. In M. C. Whitton (Ed.), *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and*



- interactive techniques - SIGGRAPH '93* (S. 135–142). New York, New York, USA: ACM Press.  
<https://doi.org/10.1145/166117.166134>
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., & Hart, J. C. (1992). The CAVE: Audio visual experience automatic virtual environment. *Communications of the ACM*, *35*(6), 64–72.  
<https://doi.org/10.1145/129888.129892>
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence. *Media Psychology*, *19*(2), 272–309.  
<https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>
- Danckert, J., & Ferber, S. (2006). Revisiting unilateral neglect. *Neuropsychologia*, *44*(6), 987–1006.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.09.004>
- Deloitte Deutschland (2020, November 3). Head Mounted Displays in deutschen Unternehmen | Deloitte Deutschland. Zugriff am 10.04.2021. Verfügbar unter <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/head-mounted-displays-in-deutschen-unternehmen.html>
- Derrick J. (2016, March 20). For virtual reality creators, motion sickness a real issue. *The Ledger*. Zugriff am 28.08.2020. Verfügbar unter <https://www.theledger.com/news/20160320/for-virtual-reality-creators-motion-sickness-a-real-issue>
- Diemer, J., & Zwanzger, P. (2019). Die Entwicklung virtueller Realität als Expositionsverfahren [Development of virtual reality as an exposure technique]. *Der Nervenarzt*, *90*(7), 715–723.  
<https://doi.org/10.1007/s00115-019-0678-6>
- DiZio, P., & James R. Lackner (1997). Circumventing Side Effects of Immersive Virtual Environments.
- Dombovy, M. L., & Olek, A. C. (1997). Recovery and rehabilitation following traumatic brain injury. *Brain Injury*, *11*(5), 305–318. <https://doi.org/10.1080/026990597123467>
- Domeyer, J. E., Cassavaugh, N. D., & Backs, R. W. (2013). The use of adaptation to reduce simulator sickness in driving assessment and research. *Accident; Analysis and Prevention*, *53*, 127–132.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.039>
- Dörner, R., & Steinicke, F. (2013). Wahrnehmungsaspekte von VR. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm, & B. Jung (Eds.), *eXamen.press. Virtual und Augmented Reality (VR / AR)* (S. 33–63). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3_2)
- Draper, M. H., Viire, E. S., Furness, T. A., & Gawron, V. J. (2001). Effects of image scale and system time delay on simulator sickness within head-coupled virtual environments. *Human Factors*, *43*(1), 129–146. <https://doi.org/10.1518/001872001775992552>

- Duh, H.B.-L., Lin, J. W., Kenyon, R. V., Parker, D. E., & Furness, T. A. (2001). Effects of field of view on balance in an immersive environment. In *Proceedings IEEE Virtual Reality 2001* (S. 235–240). IEEE Comput. Soc. <https://doi.org/10.1109/VR.2001.913791>
- E-Health – Digitalisierung im Gesundheitswesen (2020). Zugriff am 19.09.2019. Verfügbar unter <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/e-health-initiative.html#c2852>
- Elliott, R., Bohart, A. C., Watson, J. C., & Murphy, D. (2018). Therapist empathy and client outcome: An updated meta-analysis. *Psychotherapy (Chicago, Ill.)*, 55(4), 399–410. <https://doi.org/10.1037/pst0000175>
- Ellis, A. W., Flude, B. M., & Young, A. W. (1987). “Neglect dyslexia” and the early visual processing of letters in words and nonwords. *Cognitive Neuropsychology*, 4(4), 439–464. <https://doi.org/10.1080/02643298708252047>
- Estupiñán, S., Rebelo, F., Noriega, P., Ferreira, C., & Duarte, E. (2014). Can Virtual Reality Increase Emotional Responses (Arousal and Valence)? A Pilot Study. In D. Hutchison, T. Kanade, & J. Kittler (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science / Information Systems and Applications, Incl. Internet/Web, and HCI: v.8518, Design, User Experience, and Usability: User Experience Design for Diverse Interaction Platforms and Environments : Third International Conference, DUXU 2014, Held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014, Proceedings, Part II* (S. 541–549). Cham: Springer International Publishing.
- Fahr, A., & Hofer, M. (2013). Psychophysiologische Messmethoden. In *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft* (S. 347–365). Springer VS, Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-18776-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-531-18776-1_19)
- Faugloire, E., Bonnet, C. T., Riley, M. A., Bardy, B. G., & Stoffregen, T. A. (2007). Motion sickness, body movement, and claustrophobia during passive restraint. *Experimental Brain Research*, 177(4), 520–532. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0700-7>
- Fels, M., & Geissner, E. (1997). *Neglect-Test (NET): ein Verfahren zur Erfassung visueller Neglectphänomene; Handanweisung; deutsche überarbeitete Adaption des Behavioural Inattention Test (Wilson, Cockburn & Halligan, 1987)*: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- Fernandes, A. S., & Feiner, S. K. (2016, March). Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification. In *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)* (S. 201–210). IEEE. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2016.7460053>
- Fernández-Sotos, P., Fernández-Caballero, A., & Rodríguez-Jimenez, R. (2020). Virtual reality for psychosocial remediation in schizophrenia: a systematic review. *The European Journal of Psychiatry*, 34(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ejpsy.2019.12.003>

- Ferrer-Torregrosa, J., Jiménez-Rodríguez, M. Á., Torralba-Estelles, J., Garzón-Farinós, F., Pérez-Bermejo, M., & Fernández-Ehrling, N. (2016). Distance learning icts and flipped classroom in the anatomy learning: Comparative study of the use of augmented reality, video and notes. *BMC Medical Education, 16*(1), 230. <https://doi.org/10.1186/s12909-016-0757-3>
- Festinger, L. (2001). *A theory of cognitive dissonance* (Reissued by Stanford Univ. Press in 1962, renewed 1985 by author, [Nachdr.]). Stanford: Stanford Univ. Press.
- Fink, G. R., & Heide, W. (2004). Räumlicher Neglect [Spatial neglect]. *Der Nervenarzt, 75*(4), 389-408; quiz: 409-10. <https://doi.org/10.1007/s00115-004-1698-3>
- Flanagan, M. B., May, J. G., & Dobie, T. G. (2005). Sex differences in tolerance to visually-induced motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine, 76*(7), 642–646. *Flight Simulation Technologies Conference*.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1990). MMST. Mini-Mental-Status-Test. *Deutschsprachige. Weinheim: Beltz*.
- Foreman, N. (2009). Virtual Reality in Psychology. *Themes in Science and Technology Education, 2*, 225–252. Zugriff am 12.04.2019. Verfügbar unter <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1131318.pdf>
- Forschungsprojekt VReha (2018). Zugriff am 14.11.2020. Verfügbar unter <https://www.vreha-project.com/>
- Frassinetti, F., Angeli, V., Meneghello, F., Avanzi, S., & Làdavas, E. (2002). Long-lasting amelioration of visuospatial neglect by prism adaptation. *Brain : A Journal of Neurology, 125*(Pt 3), 608–623. <https://doi.org/10.1093/brain/awf056>
- Freina, L., & Ott, M. (2015). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. In
- Friedman, P. J. (1992). The Star Cancellation Test in acute stroke. *Clinical Rehabilitation, 6*(1), 23–30. <https://doi.org/10.1177/026921559200600104>
- Fuchs, P., Guez, J., Hugues, O., Jégo, J.-F., Kemeny, A., & Mestre, D. (2017). *Virtual reality headsets / a theoretical and pragmatic approach*. Boca Raton, London, New York, Leiden, Boca Raton, London, New York, Leiden: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Fullerton, K. J., Mcsherry, D., & Stout, R. W. (1986). ALBERT'S TEST: A NEGLECTED TEST OF PERCEPTUAL NEGLECT. *The Lancet, 327*(8478), 430–432. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)92381-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)92381-0)
- Gammeri, R., Iacono, C., Ricci, R., & Salatino, A. (2020). Unilateral Spatial Neglect After Stroke: Current Insights. *Neuropsychiatric Disease and Treatment, 16*, 131–152. <https://doi.org/10.2147/NDT.S171461>

- Garcia, A., Baldwin, C., & Dworsky, M. (2010). Gender Differences in Simulator Sickness in Fixed- versus Rotating-Base Driving Simulator. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54(19), 1551–1555. <https://doi.org/10.1177/154193121005401941>
- Garner, T. A. (2018). *Echoes of other worlds: Sound in virtual reality past, present and future. Palgrave studies in sound*. Cham: Palgrave Macmillan.
- Gauthier, L., Dehaut, F., & Joanette, Y. (1989). The bells test: a quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11(2), 49–54.
- Gillen, R., Tennen, H., & McKee, T. (2005). Unilateral spatial neglect: Relation to rehabilitation outcomes in patients with right hemisphere stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(4), 763–767. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.10.029>
- Göggerle, S., & Günter, E. (2002). *Entspannungsverfahren*.
- Goodale, M. A., & Milner, A.D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20–25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)
- Gorini, A., Capideville, C. S., Leo, G. de, Mantovani, F., & Riva, G. (2011). The role of immersion and narrative in mediated presence: The virtual hospital experience. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 14(3), 99–105. <https://doi.org/10.1089/cyber.2010.0100>
- Grimm, P., Herold, R., Hummel, J., & Broll, W. (2013). VR-Eingabegeräte. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm, & B. Jung (Eds.), *eXamen.press. Virtual und Augmented Reality (VR / AR)* (S. 97–125). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3_4)
- Grimm, P., Herold, R., Reiners, D., & Cruz-Neira, C. (2013). VR-Ausgabegeräte. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm, & B. Jung (Eds.), *eXamen.press. Virtual und Augmented Reality (VR / AR)* (S. 127–156). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3_5)
- Hacke, W. (Ed.) (2016). *Springer-Lehrbuch. Neurologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46892-0>
- Hall, J. A., Harrigan, J. A., & Rosenthal, R. (1995). Nonverbal behavior in clinician—patient interaction. *Applied and Preventive Psychology*, 4(1), 21–37. [https://doi.org/10.1016/S0962-1849\(05\)80049-6](https://doi.org/10.1016/S0962-1849(05)80049-6)
- Halligan, P., & Marshall, J. (1998). Visuospatial neglect: The ultimate deconstruction? *Brain and Cognition*, 37(3), 419–438. <https://doi.org/10.1006/brcg.1998.1006>
- Halligan, P., Wilson, B., & Cockburn, J. (1990). A short screening test for visual neglect in stroke patients. *International Disability Studies*, 12(3), 95–99. <https://doi.org/10.3109/03790799009166260>
- Halligan, P. W., Fink, G. R., Marshall, J. C., & Vallar, G. (2003). Spatial cognition: evidence from visual neglect. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 125–133. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(03\)00032-9](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00032-9)

- Hampson, N., King, L., Eriksson, L.-M., & Smee, H. (2019). The effects of relaxation training on depression and anxiety in people living with long-term neurological conditions. *Disability and Rehabilitation*, 1–6. <https://doi.org/10.1080/09638288.2018.1554009>
- Hartley, T., Bird, C. M., Chan, D., Cipolotti, L., Husain, M., Vargha-Khadem, F., & Burgess, N. (2007). The hippocampus is required for short-term topographical memory in humans. *Hippocampus*, 17(1), 34–48. <https://doi.org/10.1002/hipo.20240>
- Hartung, H.-P., & Kieseier, B. (2016). Polyneuropathien, Immunneuropathien und hereditäre Neuropathien. In W. Hacke (Ed.), *Springer-Lehrbuch. Neurologie* (S. 783–811). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-46892-0\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-662-46892-0_32)
- Havron, M., & Butler, L. (1957). *Evaluation of training effectiveness of the 2FH2 helicopter flight trainer research tool*. Naval Training Device Center, Port Washington, New York.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Mahwah, N.J.: L. Erlbaum Associates. Zugriff am 27.07.2020. Verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=129646>
- Heilman, K. M., Valenstein, E., & Watson, R. T. (2000). Neglect and related disorders. *Seminars in Neurology*, 20(4), 463–470. <https://doi.org/10.1055/s-2000-13179>
- Heilman, K. M., & van den Abell, T. (1980). Right hemisphere dominance for attention: The mechanism underlying hemispheric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology*, 30(3), 327–330. <https://doi.org/10.1212/WNL.30.3.327>
- Heim, M. (1994). *The metaphysics of virtual reality* (1st issued as paperback). Oxford paperbacks. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Hemmerich, W. A. (2020). ANOVA mit Messwiederholung: Sphärizität bestimmen | StatistikGuru. Zugriff am 24.06.2019. Verfügbar unter <https://statistikguru.de/spss/rm-anova/sphaerizitaet-bestimmen.html>
- Hinsch, R., & Pfingsten, U. (2015). *Gruppentraining sozialer Kompetenzen: GSK ; Grundlagen, Durchführung, Anwendungsbeispiele* (6., vollständig überarbeitete Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Holland, N. N. (2013). Spider-Man? Sure! The neuroscience of suspending disbelief. *Interdisciplinary Science Reviews*, 33(4), 312–320. <https://doi.org/10.1179/174327908X392870>
- Holm, S. (1979). A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, 6(2), 65–70.
- Hosp, J. A., Triem, S., & Luft, A. R. (2010). Neue Aspekte in der Neuro-rehabilitation nach Schlaganfällen. *Schweizer Zeitschrift für Psychiatrie & Neurologie*, 10(3), 7-9-9. <https://doi.org/10.5167/uzh-43003>

- Howett, D., Castegnaro, A., Krzywicka, K., Hagman, J., Marchment, D., Henson, R., . . . Chan, D. (2019). Differentiation of mild cognitive impairment using an entorhinal cortex-based test of virtual reality navigation. *Brain : A Journal of Neurology*, *142*(6), 1751–1766. <https://doi.org/10.1093/brain/awz116>
- Hufschmidt, A., Lücking, C. H., Rauer, S., & Glocker, F. X. (Eds.) (2017). *Neurologie compact*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-005-143671>
- Ione, A. (2016). *Art and the brain: Plasticity, embodiment, and the unclosed circle. Consciousness, literature and the arts: volume 47*. Leiden, Boston: Brill Rodopi.
- Irwin, J. A. (1881). THE PATHOLOGY OF SEA-SICKNESS. *The Lancet*, *118*(3039), 907–909. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)38129-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)38129-7)
- Ishiai, S., Sugishita, M., Ichikawa, T., Gono, S., & Watabiki, S. (1993). Clock-drawing test and unilateral spatial neglect. *Neurology*, *43*(1), 106–110. [https://doi.org/10.1212/WNL.43.1\\_Part\\_1.106](https://doi.org/10.1212/WNL.43.1_Part_1.106)
- Johannes, S., & Hellweg, S. (2010). Motivation als Grundlage für den Therapieerfolg. *neuroreha*, *2*(02), 72–78.
- John, B. (2019). Pupil diameter as a measure of emotion and sickness in VR. In K. Krejtz & B. Sharif (Eds.), *Proceedings of the 11th ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications - ETRA '19* (S. 1–3). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3314111.3322868>
- Kamplung, H., Reese, C., & Mittag, O. (2015). Die (neuro-)psychologische Rehabilitation nach Schlaganfall: Eine bundesweite Befragung zu Strukturen und Praxis in der stationären und ambulanten neurologischen Rehabilitation [(Neuro)psychological Rehabilitation after Stroke: a National Survey of Structures and Practice in Inpatient and Outpatient Neurological Rehabilitation]. *Die Rehabilitation*, *54*(5), 332–338. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1559643>
- Karnath, H. O. (1996). Optokinetic stimulation influences the disturbed perception of body orientation in spatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *60*(2), 217–220. <https://doi.org/10.1136/jnnp.60.2.217>
- Karnath, H. O. (1997). Spatial orientation and the representation of space with parietal lobe lesions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *352*(1360), 1411–1419. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0127>
- Karnath, H.-O. (1994). Disturbed coordinate transformation in the neural representation of space as the crucial mechanism leading to neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, *4*(2), 147–150. <https://doi.org/10.1080/09602019408402273>

- Karnath, H.-O. (2012). Neglect. In H.-O. Karnath & P. Thier (Eds.), *Springer-Lehrbuch. Kognitive Neurowissenschaften* (S. 279–291). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-25527-4\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-25527-4_26)
- Karnath, H.-O. (2015). Spatial attention systems in spatial neglect. *Neuropsychologia*, *75*, 61–73.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.05.019>
- Karnath, H.-O., Rennig, J., Johannsen, L., & Rorden, C. (2011). The anatomy underlying acute versus chronic spatial neglect: A longitudinal study. *Brain : A Journal of Neurology*, *134*(Pt 3), 903–912.  
<https://doi.org/10.1093/brain/awq355>
- Keller, I. (2016). Neglect-Behandlung. *DNP - Der Neurologe und Psychiater*, *17*(3), 40–46.  
<https://doi.org/10.1007/s15202-016-1042-3>
- Keller I, Beer AL, & Kerkhoff G (2003). Optokinetische Stimulation bei visuellem Neglect. *Neurologie und Rehabilitation*, *9*(6), 272–279.
- Kennedy, R., Allgood, G., & Lilienthal, M. Simulator sickness on the increase. In *Flight Simulation Technologies Conference*. <https://doi.org/10.2514/6.1989-3269>\* (Original work published 1989).
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, *3*(3), 203–220. [https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3)
- Kerkhoff, G., Keller, I., Artinger, F., Hildebrandt, H., Marquardt, C., Reinhart, S., & Ziegler, W. (2012). Recovery from auditory and visual neglect after optokinetic stimulation with pursuit eye movements--transient modulation and enduring treatment effects. *Neuropsychologia*, *50*(6), 1164–1177. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.09.032>
- Kerkhoff, G., Keller, I., Ritter, V., & Marquardt, C. (2006). Repetitive optokinetic stimulation induces lasting recovery from visual neglect. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *24*(4-6), 357–369.
- Kerkhoff, G., & Marquardt, C. (2009). EYEMOVE. Standardisierte Diagnostik und Therapie visueller Explorationsstörungen [EYEMOVE. Standardized assessment and treatment of visual search disorders]. *Der Nervenarzt*, *80*(10), 1190, 1192-4, 1196-204. <https://doi.org/10.1007/s00115-009-2811-4>
- Kerkhoff, G., Wimbauer, K., & Reinhart, S. (2012). Saarbrücker Lesetexte. Abruf am 05.02.2019. Verfügbar unter [https://www.uni-saarland.de/fileadmin/upload/lehrstuhl/kerkhoff/Materialien\\_für\\_Diagnostik\\_Therapie/Saarbrücker\\_Lesetexte\\_A-F\\_eingerückt.pdf](https://www.uni-saarland.de/fileadmin/upload/lehrstuhl/kerkhoff/Materialien_für_Diagnostik_Therapie/Saarbrücker_Lesetexte_A-F_eingerückt.pdf)
- Kerkhoff, G. (2004). *Neglect und assoziierte Störungen. Fortschritte der Neuropsychologie: Vol. 1*. Göttingen: Hogrefe.

- Kerkhoff, G., Bucher, L., Brasse, M., Leonhart, E., Holzgraefe, M., Völzke, V., . . . Reinhart, S. (2014). Smooth Pursuit "Bedside" Training Reduces Disability and Unawareness During the Activities of Daily Living in Neglect: A Randomized Controlled Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 28(6), 554–563. <https://doi.org/10.1177/1545968313517757>
- Kerkhoff, G., Reinhart, S., Ziegler, W., Artinger, F., Marquardt, C., & Keller, I. (2013). Smooth pursuit eye movement training promotes recovery from auditory and visual neglect: A randomized controlled study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(9), 789–798. <https://doi.org/10.1177/1545968313491012>
- Kerkhoff, G., & Schenk, T. (2012). Rehabilitation of neglect: An update. *Neuropsychologia*, 50(6), 1072–1079. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.024>
- Kerkhoff, G., Schindler, I., Artinger, F., Zoelch, C., Bublak, P., & Finke, K. (2006). Rotation or translation of auditory space in neglect? A case study of chronic right-sided neglect. *Neuropsychologia*, 44(6), 923–930. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.08.011>
- Kerkhoff, G., & Schmidt, L. (2018). *Neglect und assoziierte Störungen* (2., überarbeitete Auflage). *Fortschritte der Neuropsychologie: Band 1*. Göttingen: Hogrefe.
- Kern, F., Winter, C., Gall, D., Kathner, I., Pauli, P., & Latoschik, M. E. (2019, March). Immersive Virtual Reality and Gamification Within Procedurally Generated Environments to Increase Motivation During Gait Rehabilitation. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 500–509. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797828>
- Keshavarz, B. (2016). Exploring Behavioral Methods to Reduce Visually Induced Motion Sickness in Virtual Environments. In S. Lackey & R. Shumaker (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science. Virtual, Augmented and Mixed Reality* (Vol. 9740, S. 147–155). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39907-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39907-2_14)
- Keshavarz, B., Hecht, H., & Lawson, B. D. (2014). Visually induced motion sickness: causes, characteristics, and countermeasures. In *Handbook of virtual environments* (S. 652–703). CRC Press.
- Keshavarz, B., Novak, A. C., Hettlinger, L. J., Stoffregen, T. A., & Campos, J. L. (2017). Passive restraint reduces visually induced motion sickness in older adults. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 23(1), 85–99. <https://doi.org/10.1037/xap0000107>
- Kheradmand, A., & Zee, D. S. (2011). Cerebellum and ocular motor control. *Frontiers in Neurology*, 2, 53. <https://doi.org/10.3389/fneur.2011.00053>
- Kim, A., Chang, M., Choi, Y., Jeon, S., & Lee, K. (2018, March). The Effect of Immersion on Emotional Responses to Film Viewing in a Virtual Environment. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 601–602. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446046>



- Kim, A., Darakjian, N., & Finley, J. M. (2017). Walking in fully immersive virtual environments: An evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *14*(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0225-2>
- Kim, T.-L., Kim, K., Choi, C., Lee, J.-Y., & Shin, J.-H. (2021). Fopr test: A virtual reality-based technique to assess field of perception and field of regard in hemispatial neglect. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *18*(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00835-1>
- Kim, Y. M., Chun, M. H., Yun, G. J., Song, Y. J., & Young, H. E. (2011). The effect of virtual reality training on unilateral spatial neglect in stroke patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*, *35*(3), 309–315. <https://doi.org/10.5535/arm.2011.35.3.309>
- Kindermann, L. S., Leve, V., & Reddemann, L. (2014). Imaginationsverfahren in der Begleitung hochbetagter Menschen. *Zeitschrift Für Palliativmedizin*, *15*(03). <https://doi.org/10.1055/s-0034-1374218>
- Kinsella, G., Packer, S., Ng, K., Olver, J., & Stark, R. (1995). Continuing issues in the assessment of neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, *5*(3), 239–258. <https://doi.org/10.1080/09602019508401469>
- Kirn, T. (2015). Imagination und kognitive Probe. In M. Linden & M. Hautzinger (Eds.), *Verhaltenstherapiemanual* (Vol. 6, S. 153–157). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-55210-6\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-642-55210-6_31)
- Kirn, T., Echelmeyer, L., & Engberding, M. (2009). *Imagination in der Verhaltenstherapie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kneebone, I., Walker-Samuel, N., Swanston, J., & Otto, E. (2014). Relaxation training after stroke: Potential to reduce anxiety. *Disability and Rehabilitation*, *36*(9), 771–774. <https://doi.org/10.3109/09638288.2013.808275>
- Knobel, S. E. J., Kaufmann, B. C., Gerber, S. M., Cazzoli, D., Müri, R. M., Nyffeler, T., & Nef, T. (2020). Immersive 3D Virtual Reality Cancellation Task for Visual Neglect Assessment: A Pilot Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*, 180. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00180>
- Kosunen, I., Salminen, M., Järvelä, S., Ruonala, A., Ravaja, N., & Jacucci, G. (2016). RelaWorld. In J. Nichols, J. Mahmud, J. O'Donovan, C. Conati, & M. Zancanaro (Eds.), *Proceedings of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces - IUI '16* (S. 208–217). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2856767.2856796>
- Krohn, S., Tromp, J., Quinque, E. M., Belger, J., Klotzsche, F., Rekers, S., . . . Thöne-Otto, A. (2019). *Multidimensional evaluation of Virtual Reality paradigms in clinical neuropsychology: the VR-Check framework*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/zsqbe>

- Kugelmann, D., Stratmann, L., Nühlen, N., Bork, F., Hoffmann, S., Samarbarksh, G., . . . Waschke, J. (2018). An Augmented Reality magic mirror as additive teaching device for gross anatomy. *Annals of Anatomy = Anatomischer Anzeiger : Official Organ of the Anatomische Gesellschaft*, 215, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2017.09.011>
- Lambert, M. (2013). The efficacy and effectiveness of psychotherapy. *Bergin and Garfield's Handbook of Psychotherapy and Behavior Change*, 169–218.
- Lanier, J. (2017). *Dawn of the new everything: Encounters with reality and virtual reality* (First edition). New York: Henry Holt and Company.
- Lawson, B. (2014). Motion Sickness Symptomatology and Origins. *Human Factors and Ergonomics*, 531–600.
- Ledoux, J. (1999). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. London: Simon & Schuster.
- Lees, A., Vanrenterghem, J., Barton, G., & Lake, M. (2007). Kinematic response characteristics of the CAREN moving platform system for use in posture and balance research. *Medical Engineering & Physics*, 29(5), 629–635. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2006.06.004>
- Lewis, T. (2015, March 13). When Will Virtual-Reality Headsets Stop Making People Sick? *Live Science*. Zugriff am 23.05.2020. Verfügbar unter <https://www.livescience.com/50129-virtual-reality-nausea-sickness.html>
- Lienert, G. A., & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Auflage). *Grundlagen Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Lin, J.J.-W., Duh, H.B.L., Parker, D. E., Abi-Rached, H., & Furness, T. A. (2002, March). Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. In *Proceedings IEEE Virtual Reality 2002*, 164–171. <https://doi.org/10.1109/VR.2002.996519>
- Litleskare, S., & Calogiuri, G. (2019). Camera Stabilization in 360° Videos and Its Impact on Cyber Sickness, Environmental Perceptions, and Psychophysiological Responses to a Simulated Nature Walk: A Single-Blinded Randomized Trial. *Frontiers in Psychology*, 10, 2436. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02436>
- Lohse, K. R., Hilderman, C. G. E., Cheung, K. L., Tatla, S., & van der Loos, H. F. M. (2014). Virtual reality therapy for adults post-stroke: A systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *PloS One*, 9(3), e93318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093318>
- López-Valverde, N., Muriel Fernández, J., López-Valverde, A., Valero Juan, L. F., Ramírez, J. M., Flores Fraile, J., . . . Bravo, M. (2020). Use of Virtual Reality for the Management of Anxiety and Pain in

- Dental Treatments: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 9(4).  
<https://doi.org/10.3390/jcm9041025>
- Lorenz, S., Kaiser, R., Assmann, E., Engstler, F., & Zöllner, R. (2010). *Ergonomieabsicherung im Fahrzeug mittels Mixed Reality: Beeinflussung der Sitzposition durch die Vorgehensweise bei der Sitzeinstellung*. Aus der Reihe: Beiträge aus der Zeitschrift für Arbeitswissenschaft: GRIN Verlag.
- Luca, R. de, Manuli, A., Domenico, C. de, Lo Voi, E., Buda, A., Maresca, G., . . . Calabrò, R. S. (2019). Improving neuropsychiatric symptoms following stroke using virtual reality: A case report. *Medicine*, 98(19), e15236. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015236>
- Maas, A. I. R., Menon, D. K., Adelson, P. D., Andelic, N., Bell, M. J., Belli, A., . . . Zumbo, F. (2017). Traumatic brain injury: integrated approaches to improve prevention, clinical care, and research. *The Lancet Neurology*, 16(12), 987–1048. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(17\)30371-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(17)30371-X)
- Macedonio, M. F., Parsons, T. D., DiGiuseppe, R. A., Weiderhold, B. K., & Rizzo, A. A. (2007). Immersiveness and physiological arousal within panoramic video-based virtual reality. *Cyberpsychology & Behavior : The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 10(4), 508–515. <https://doi.org/10.1089/cpb.2007.9997>
- Marker, K. R. (2008). *Cogpack: Handbuch zum Programmpaket COGPACK ; Version 8.1, August 2008*. Heidelberg [u.a.]: Marker Software.
- Marsh, N. V., & Kersel, D. A. (1993). Screening tests for visual neglect following stroke. *Neuropsychological Rehabilitation*, 3(3), 245–257. <https://doi.org/10.1080/09602019308401439>
- Märtens, M., Liegl, G., & Leitner, A. (2012). Die therapeutische Beziehung, der Therapieerfolg und die Stärkung der Patientenautonomie. *Psychologische Medizin*, 23(1), 4-10. *Psychologische Medizin*, 23, 4–10.
- Marti, T. (2013). Imaginationsprozesse und Vigilanz: physiologische Wirkung unterschiedlicher mentaler Prozesse auf das cardiorespiratorische System. *RoSE – Research on Steiner Education*, 3(2).
- Martschinke, J., Martschinke, J., Stamminger, M., & Bauer, F. (2019, March). Gaze-Dependent Distortion Correction for Thick Lenses in HMDs. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (S. 1848–1851). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798107>
- Mathur, A., Gehrmann, J., & Atchison, D. A. (2013). Pupil shape as viewed along the horizontal visual field. *Journal of Vision*, 13(6). <https://doi.org/10.1167/13.6.3>
- Mattke, Reddemann, & Strauß (2009). *Keine Angst vor Gruppen! Gruppenpsychotherapie in Praxis und Forschung*.

- Merel, T. (2019, October 18). VR/AR startup valuations reach \$45 billion (on paper). *TechCrunch*. Zugriff am 13.07.2020. Verfügbar unter <https://techcrunch.com/2019/10/18/vr-ar-startup-valuations-reach-45-billion-on-paper/>
- Merhi, O., Faugloire, E., Flanagan, M., & Stoffregen, T. A. (2007). Motion sickness, console video games, and head-mounted displays. *Human Factors*, *49*(5), 920–934. <https://doi.org/10.1518/001872007X230262>
- Mesulam, M. M. (1998). From sensation to cognition. *Brain : A Journal of Neurology*, *121* (Pt 6), 1013–1052. <https://doi.org/10.1093/brain/121.6.1013>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Ed.), *SPIE Proceedings* (S. 282–292). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Mir, R. (2016). Extending the Museum Experience with Virtual Reality. Zugriff am 26.04.2020. Verfügbar unter <https://www.guggenheim.org/blogs/checklist/extending-the-museum-experience-with-virtual-reality>
- Money, K. E., & Cheung, B. S. (1983). Another function of the inner ear: Facilitation of the emetic response to poisons. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *54*(3), 208–211.
- Moosbrugger, H., & Kelava, A. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (2., aktualisierte und überarbeitete Auflage). *Springer-Lehrbuch*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20072-4>
- Morina, N., Ijntema, H., Meyerbröker, K., & Emmelkamp, P. M. G. (2015). Can virtual reality exposure therapy gains be generalized to real-life? A meta-analysis of studies applying behavioral assessments. *Behaviour Research and Therapy*, *74*, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2015.08.010>
- Mort, D. J., Malhotra, P., Mannan, S. K., Rorden, C., Pambakian, A., Kennard, C., & Husain, M. (2003). The anatomy of visual neglect. *Brain : A Journal of Neurology*, *126*(Pt 9), 1986–1997. <https://doi.org/10.1093/brain/awg200>
- Moss, J., Scisco, J., & Muth, E. (2008). Simulator Sickness during Head Mounted Display (HMD) of Real World Video Captured Scenes. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *52*(19), 1631–1634. <https://doi.org/10.1177/154193120805201969>
- Müller, T. J. (2020). Augenbewegungen und Nystagmus: Grundlagen und klinische Diagnostik [Ocular movement and nystagmus: basics and clinical diagnosis]. *HNO*, *68*(5), 313–323. <https://doi.org/10.1007/s00106-020-00836-x>

- Müllges, W., & Stoll, G. (2011). Critical-illness-Polyneuropathie und -Myopathie [Critical illness polyneuropathy and myopathy]. *Deutsche medizinische Wochenschrift (1946)*, *136*(15), 769–774.  
<https://doi.org/10.1055/s-0031-1275805>
- Munafo, J., Diedrick, M., & Stoffregen, T. A. (2017). The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Experimental Brain Research*, *235*(3), 889–901. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4846-7>
- Muth, E., Keshavarz, B., Smart, L. J., So, R., & Beadle, S. (2018). Discussion Panel: Motion Sickness in Virtual Environments. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *62*(1), 2043–2046. <https://doi.org/10.1177/1541931218621461>
- Nagendran, M., Gurusamy, K. S., Aggarwal, R., Loizidou, M., & Davidson, B. R. (2013). Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. (8), CD006575. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006575.pub3>
- Navarro, M.-D., Lloréns, R., Noé, E., Ferri, J., & Alcañiz, M. (2013). Validation of a low-cost virtual reality system for training street-crossing. A comparative study in healthy, neglected and non-neglected stroke individuals. *Neuropsychological Rehabilitation*, *23*(4), 597–618.  
<https://doi.org/10.1080/09602011.2013.806269>
- Navarro-Haro, M. V., López-Del-Hoyo, Y., Campos, D., Linehan, M. M., Hoffman, H. G., García-Palacios, A., . . . García-Campayo, J. (2017). Meditation experts try Virtual Reality Mindfulness: A pilot study evaluation of the feasibility and acceptability of Virtual Reality to facilitate mindfulness practice in people attending a Mindfulness conference. *PloS One*, *12*(11), e0187777.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187777>
- Netter, F. H. (2010). *Atlas der Anatomie* (4. Aufl., [Nachdr.]). München, Jena: Elsevier, Urban & Fischer.
- Neubart, R., Linß, G., Lenzen-Großimlinghaus, R., Wulsche, H., Finger, K., Schulz, J., . . . Seewald, M. (2018). Typische Erkrankungen des Alters. In R. Neubart (Ed.), *Repetitorium Geriatrie* (S. 229–366). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56479-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56479-0_18)
- Neumann, G., Kerkhoff, G., & Neu, J. (2007). *Beobachtungsbogen für räumliche Störungen: BRS: Hörgreife*.
- Norcross, J. C., Pfund, R. A., & Prochaska, J. O. (2013). Psychotherapy in 2022: A Delphi poll on its future. *Professional Psychology: Research and Practice*, *44*(5), 363–370.  
<https://doi.org/10.1037/a0034633>
- North, M. M., North, S. M., & Coble, J. R. (2015). Virtual REALITY THERAPY: An EFFECTIVE TREATMENT FOR THE FEAR OF PUBLIC SPEAKING. *International Journal of Virtual Reality (IJVR)*, *03*(3), 1–6.

- O'falt, C. (2016). SXSW 2016: Chris Milk on What You Need to Know About the Future of VR. *IndieWire*. Zugriff am 24.06.2020. Verfügbar unter <https://www.indiewire.com/2016/03/sxsw-2016-chris-milk-on-what-you-need-to-know-about-the-future-of-vr-55940/>
- Osterrieth, P. A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution a l'etude de la perception et de la memoire. *Archives De Psychologie*.
- Pan, X., & Hamilton, A. F. d. C. (2018). Why and how to use virtual reality to study human social interaction: The challenges of exploring a new research landscape. *British Journal of Psychology (London, England : 1953)*, *109*(3), 395–417. <https://doi.org/10.1111/bjop.12290>.
- Park, G. D., Allen, R. W., Fiorentino, D., Rosenthal, T. J., & Cook, M. L. (2006). Simulator Sickness Scores According to Symptom Susceptibility, Age, and Gender for an Older Driver Assessment Study. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *50*(26), 2702–2706. <https://doi.org/10.1177/154193120605002607>
- Parkin, S. (2014). Why Facebook Bought Oculus Rift for \$2 Billion. Zugriff am 04.03.2019. Verfügbar unter <https://www.technologyreview.com/s/525881/what-zuckerberg-sees-in-oculus-rift/>
- Patterson, R., Winterbottom, M. D., & Pierce, B. J. (2006). Perceptual issues in the use of head-mounted visual displays. *Human Factors*, *48*(3), 555–573. <https://doi.org/10.1518/001872006778606877>
- Pausch, R., Crea, T., & Conway, M. (1992). A Literature Survey for Virtual Environments: Military Flight Simulator Visual Systems and Simulator Sickness. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *1*(3), 344–363. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.3.344>
- Payk, T. R. (2017). Versorgungsstrukturen: Bestandsaufnahme. In T. R. Payk (Ed.), *Psychologische Heilkunde* (S. 121–131). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53820-3\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53820-3_10)
- Petermann, F. (Ed.) (2020). *Entspannungsverfahren: Das Praxishandbuch. Mit E-Book inside* (Neuausgabe, 6., überarbeitete Auflage). Weinheim: Julius Beltz GmbH & Co. KG.
- Pitteri, M., Kerkhoff, G., Keller, I., Meneghello, F., & Priftis, K. (2015). Extra-powerful on the visuo-perceptual space, but variable on the number space: Different effects of optokinetic stimulation in neglect patients. *Journal of Neuropsychology*, *9*(2), 299–318. <https://doi.org/10.1111/jnp.12051>
- Pizzamiglio, L., Antonucci, G., Judica, A., Montenero, P., Razzano, C., & Zoccolotti, P. (1992). Cognitive rehabilitation of the hemineglect disorder in chronic patients with unilateral right brain damage. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *14*(6), 901–923. <https://doi.org/10.1080/01688639208402543>

- Pizzamiglio, L., Frasca, R., Guariglia, C., Incoccia, C., & Antonucci, G. (1990). Effect of Optokinetic Stimulation in Patients with Visual Neglect. *Cortex*, 26(4), 535–541. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(13\)80303-6](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(13)80303-6)
- Porcino, T. M., Clua, E., Trevisan, D., Vasconcelos, C. N., & Valente, L. (2017, April). Minimizing cyber sickness in head mounted display systems: Design guidelines and applications. In *2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)* (S. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SeGAH.2017.7939283>
- Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J., & Rafal, R. D. (1984). Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *The Journal of Neuroscience*, 4(7), 1863–1874. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.04-07-01863.1984>
- Prilipko, O., Seeck, M., Mermillod, B., Landis, T., & Pegna, A. J. (2006). Postictal but not interictal hemispatial neglect in patients with seizures of lateralized onset. *Epilepsia*, 47(12), 2046–2051. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2006.00855.x>
- Prothero, J. D. (1995). Widening the field-of-view increases the sense of presence in immersive virtual environments. *Human Interface Technology Laboratory Technical Report*.
- Reason, J. T., & Brand, J. J. (1975). *Motion sickness*. London: Acad. Press.
- Reed-Jones, R. J., Vallis, L. A., Reed-Jones, J. G., & Trick, L. M. (2008). The relationship between postural stability and virtual environment adaptation. *Neuroscience Letters*, 435(3), 204–209. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.02.047>
- RehaCom: Computer-aided cognitive rehabilitation* (Versión 2.56) (1997). Moedling, Austria: Schuhfried.
- Reichenberger, J., Diemer, J., Zwanzger, P., Notzon, S., & Mühlberger, A. (2017). Soziales Kompetenztraining in Virtueller Realität bei sozialer Angst. *Zeitschrift Für Klinische Psychologie Und Psychotherapie*, 46(4), 236–247. <https://doi.org/10.1026/1616-3443/a000444>
- Reinhart, S., Schaadt, A. K., Keller, I., Hildebrandt, H., Kerkhoff, G., & Utz, K. (2016). Rotational coherent dot movement normalizes spatial disorientation of the subjective visual vertical in patients with rightsided stroke. *Neuropsychologia*, 92, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.04.027>
- Reinhart, S., Keller, I., & Kerkhoff, G. (2010). Effects of head rotation on space- and word-based reading errors in spatial neglect. *Neuropsychologia*, 48(13), 3706–3714. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.006>

- Reinhart, S., Schindler, I., & Kerkhoff, G. (2011). Optokinetic stimulation affects word omissions but not stimulus-centered reading errors in paragraph reading in neglect dyslexia. *Neuropsychologia*, 49(9), 2728–2735. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.022>
- Riccio, G. E., & Stoffregen, T. A. (1988). Affordances as constraints on the control of stance. *Human Movement Science*, 7(2-4), 265–300. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(88\)90014-0](https://doi.org/10.1016/0167-9457(88)90014-0)
- Riccio, G. E., & Stoffregen, T. A. (1991). An ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecological Psychology*, 3(3), 195–240. [https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303\\_2](https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303_2)
- Rickels, E., Wild, K. von, & Wenzlaff, P. (2011). Versorgung Schädel-Hirn-Verletzter in Deutschland [Treatment of traumatic brain injury in Germany]. *Der Unfallchirurg*, 114(5), 417–423. <https://doi.org/10.1007/s00113-010-1872-y>
- Ringleb, P., Veltkamp, R., Schwab, S., Bendszus, M., & Hacke, W. (2016). Zerebrale Durchblutungsstörungen: Ischämische Infarkte. In W. Hacke (Ed.), *Springer-Lehrbuch. Neurologie* (S. 179–240). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-46892-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-46892-0_5)
- Ringman, J. M., Saver, J. L., Woolson, R. F., Clarke, W. R., & Adams, H. P. (2004). Frequency, risk factors, anatomy, and course of unilateral neglect in an acute stroke cohort. *Neurology*, 63(3), 468–474. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000133011.10689.CE>
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., & Neumann, U. (1997). Virtual Reality and Cognitive Rehabilitation: A Brief Review of the Future. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 12(6), 1–15. <https://doi.org/10.1097/00001199-199712000-00002>
- Rizzo, A. S., & Koenig, S. T. (2017). Is clinical virtual reality ready for primetime? *Neuropsychology*, 31(8), 877–899. <https://doi.org/10.1037/neu0000405>
- Roberts, A. R., Schutter, B. de, Franks, K., & Radina, M. E. (2019). Older Adults' Experiences with Audiovisual Virtual Reality: Perceived Usefulness and Other Factors Influencing Technology Acceptance. *Clinical Gerontologist*, 42(1), 27–33. <https://doi.org/10.1080/07317115.2018.1442380>
- Robertson, I. (1999). Cognitive rehabilitation: attention and neglect. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(10), 385–393. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01378-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01378-9)
- Robertson, I. H., Tegnér, R., Tham, K., Lo, A., & Nimmo-Smith, I. (1995). Sustained attention training for unilateral neglect: Theoretical and rehabilitation implications. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17(3), 416–430. <https://doi.org/10.1080/01688639508405133>
- Ronchi, R., Perez-Marcos, D., Giroux, A., Thomasson, M., Serino, A., Saj, A., & Blanke, O. (2018). Use of immersive virtual reality to detect unilateral spatial neglect in chronic stroke. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61, e90–e91. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.193>



- Ryan, J. J., & Lopez, S. J. (2001). Wechsler Adult Intelligence Scale-III. In W. I. Dorfman & M. Hersen (Eds.), *Understanding Psychological Assessment* (Vol. 16, S. 19–42). Boston, MA: Springer US.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1185-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1185-4_2)
- Schaadt, A. K., Reinhart, S., Keller, I., Hildebrandt, H., Kerkhoff, G., & Utz, K. S. (2016). The effect of rotating random dot motion on visuospatial line orientation in patients with right-sided stroke. *Neuropsychologia*, *92*, 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.05.030>
- Schädler, S., & Aviv, H. (2012). *Neurologie: [mit CD-ROM]* (3., vollst. überarb. und erw. Aufl.). *Gesundheitsberufe Physiotherapie: Vol. 1*. Bern: Huber.
- Schindler, I., Kerkhoff, G., Karnath, H.-O., Keller, I., & Goldenberg, G. (2002). Neck muscle vibration induces lasting recovery in spatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *73*(4), 412–419. <https://doi.org/10.1136/jnnp.73.4.412>
- Schiza, E., Matsangidou, M., Neokleous, K., & Pattichis, C. S. (2019). Virtual Reality Applications for Neurological Disease: A Review. *Frontiers in Robotics and AI*, *6*, 1.  
<https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00100>
- Schubert, F., & Lalouschek, W. (2011). Schlaganfall. In J. Lehrner, G. Pusswald, E. Fertl, W. Strubreitner, & I. Kryspin-Exner (Eds.), *Klinische Neuropsychologie: Grundlagen - Diagnostik - Rehabilitation* (2nd ed., S. 345–356). Wien: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0064-6\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0064-6_25)
- Schuhfried, G. (2007). CogniPlus. *Schuhfried GmbH, Mödling Google Scholar*.
- Schuhfried, G. (2011). *Biofeedbackgerät 2000 x-pert Manual Hardware deutsch*. Mödling: Schuhfried. Zugriff am 25.08.2020. Verfügbar unter [https://www.dgbfb.de/images/02.pdf/geraeteboerse/BF\\_KATALOG.pdf](https://www.dgbfb.de/images/02.pdf/geraeteboerse/BF_KATALOG.pdf)
- Sharples, S., Cobb, S., Moody, A., & Wilson, J. R. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*, *29*(2), 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005>
- Siala, K., Kharrat, M., Belghith, M., Boubakri, O., Ghroubi, S., Elleuch, M., & Abid, M. (2019, February). Virtual Reality based Diagnosis System for Visuospatial Neglect. In *Proceedings of the 12th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies* (S. 506–509). SCITEPRESS - Science and Technology Publications. <https://doi.org/10.5220/0007691505060509>
- Silva, J. N. A., Southworth, M., Raptis, C., & Silva, J. (2018). Emerging Applications of Virtual Reality in Cardiovascular Medicine. *JACC. Basic to Translational Science*, *3*(3), 420–430.  
<https://doi.org/10.1016/j.jacbts.2017.11.009>
- Slater, M. (2018). Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British Journal of Psychology (London, England : 1953)*, *109*(3), 431–433. <https://doi.org/10.1111/bjop.12305>

- Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary* (3. ed.). Oxford, New York: Oxford University Press.
- Stanney, K. M., Kingdon, K. S., & Kennedy, R. S. (2002). Dropouts and Aftereffects: Examining General Accessibility to Virtual Environment Technology. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(26), 2114–2118. <https://doi.org/10.1177/154193120204602603>
- Stoffregen, T. A., Hettinger, L. J., Haas, M. W., Roe, M. M., & Smart, L. J. (2000). Postural instability and motion sickness in a fixed-based flight simulator. *Human Factors*, 42(3), 458–469. <https://doi.org/10.1518/001872000779698097>
- Stoffregen, T. A., Faugloire, E., Yoshida, K., Flanagan, M. B., & Merhi, O. (2008). Motion sickness and postural sway in console video games. *Human Factors*, 50(2), 322–331. <https://doi.org/10.1518/001872008X250755>
- Stone, R. J. (2016). Getting VR Right Then and Now... The Indispensable Role of Human Factors and Human-Centered Design. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 25(2), 151–160. [https://doi.org/10.1162/PRES\\_a\\_00253](https://doi.org/10.1162/PRES_a_00253)
- Stone, R. J. (2018). Blending the Best of the Real with the Best of the Virtual: Mixed Reality Case Studies in Healthcare and Defence. In T. Jung & M. C. Tom Dieck (Eds.), *Progress in IS. Augmented Reality and Virtual Reality: Empowering Human, Place and Business* (S. 277–293). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64027-3\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64027-3_19)
- Strupp, M., Hübner, K., Sandmann, R., Zwergal, A., Dieterich, M., Jahn, K., & Brandt, T. (2011). Central oculomotor disturbances and nystagmus: A window into the brainstem and cerebellum. *Deutsches Arzteblatt International*, 108(12), 197–204. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2011.0197>
- Su, W.-C., Yeh, S.-C., Lee, S.-H., & Huang, H.-C. (2015). A Virtual Reality Lower-Back Pain Rehabilitation Approach: System Design and User Acceptance Analysis. In M. Antona & C. Stephanidis (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science: Vol. 9177, Universal access in human-computer interaction: Access to learning, health and well-being ; 9th international conference, UAHCI 2015, held as part of HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2 - 7, 2015 ; proceedings, part III* (S. 374–382). Cham: Springer.
- Teo, W.-P., Muthalib, M., Yamin, S., Hendy, A. M., Bramstedt, K., Kotsopoulos, E., . . . Ayaz, H. (2016). Does a Combination of Virtual Reality, Neuromodulation and Neuroimaging Provide a Comprehensive Platform for Neurorehabilitation? - A Narrative Review of the Literature. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 284. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00284>
- Tobii Pro VR Integration based on HTC Vive HMD (2020). Zugriff am 12.11.2020. Verfügbar unter <https://www.tobiipro.com/de/produkte/vr-integration/>

- Tomaka, J., Thompson, S., & Palacios, R. (2006). The relation of social isolation, loneliness, and social support to disease outcomes among the elderly. *Journal of Aging and Health, 18*(3), 359–384. <https://doi.org/10.1177/0898264305280993>
- Tomko, M. (2015). *Beyond the Willing Suspension of Disbelief: Poetic Faith from Coleridge to Tolkien*. Bloomsbury Publishing.
- Treisman, M. (1977). Motion sickness: An evolutionary hypothesis. *Science (New York, N.Y.), 197*(4302), 493–495.
- Ujike, H., Ukai, K., & Nihei, K. (2008). Survey on motion sickness-like symptoms provoked by viewing a video movie during junior high school class. *Displays, 29*(2), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.003>
- Vallar, G. (1997). Spatial frames of reference and somatosensory processing: A neuropsychological perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 352*(1360), 1401–1409. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0126>
- Vallar, G., Guariglia, C., Nico, D., & Pizzamiglio, L. (1997). Motor deficits and optokinetic stimulation in patients with left hemineglect. *Neurology, 49*(5), 1364–1370. <https://doi.org/10.1212/WNL.49.5.1364>
- Vento, S., & Cainelli, F. (2003). Infections in patients with cancer undergoing chemotherapy: aetiology, prevention, and treatment. *The Lancet Oncology, 4*(10), 595–604. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(03\)01218-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(03)01218-X)
- Venuturupalli, R. S., Chu, T., Vicari, M., Kumar, A., Fortune, N., & Spielberg, B. (2019). Virtual Reality-Based Biofeedback and Guided Meditation in Rheumatology: A Pilot Study. *ACR Open Rheumatology, 1*(10), 667–675. <https://doi.org/10.1002/acr2.11092>
- Verlander, D., Hayes, A., McInnes, J. K., Liddle, R. J., Liddle, G. W., Clarke, G. E., . . . Walsh, P. G. (2000). Assessment of clients with visual spatial disorders: a pilot study. *Visual Impairment Research, 2*(3), 129–142. <https://doi.org/10.1076/vimr.2.3.129.4422>
- Villani, D., & Riva, G. (2012). Does interactive media enhance the management of stress? Suggestions from a controlled study. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking, 15*(1), 24–30. <https://doi.org/10.1089/cyber.2011.0141>
- VIVE Pro Eye - VIVE™ (2020). Zugriff am 03.11.2020. Verfügbar unter <https://www.vive.com/de/product/vive-pro-eye/overview/>
- Wagner, S., Preim, B., Saalfeld, P., & Belger, J. (2019, July). Crossing iVRoad: A VR application for detecting unilateral visuospatial neglect in poststroke patients. In *2019 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)* (S. 1–2). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICVR46560.2019.8994643>

- Wallesch, C.-W., Unterberg, A., & Dietz, V. (Eds.) (2005). *Neurotraumatologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-002-21525>
- Warwick-Evans, L. A., Symons, N., Fitch, T., & Burrows, L. (1998). Evaluating sensory conflict and postural instability. Theories of motion sickness. *Brain Research Bulletin*, 47(5), 465–469.
- Welcome to Steamworks (2020). Zugriff am 09.06.2020. Verfügbar unter <https://partner.steamgames.com/vrlicensing#Benefits>
- Wiederhold, B. K., & Wiederhold, M. D. (2000). Lessons Learned From 600 Virtual Reality Sessions. *Cyberpsychology & Behavior : The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 3(3), 393–400. <https://doi.org/10.1089/10949310050078841>
- Wikipedia contributors (2021). *Comparison of virtual reality headsets*. Zugriff am 21.01.2021. Verfügbar unter [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_virtual\\_reality\\_headsets](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_virtual_reality_headsets)
- Wilcox, R. R. (2012). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing* (3. ed.). *Statistical Modeling and Decision Science*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press.
- Wilke, M., Dechent, P., & Schmidt-Samoa, C. (2012). Experimental models of spatial neglect. *E-Neuroforum*, 18(1). <https://doi.org/10.1007/s13295-012-0027-8>
- Wilson, B., Cockburn, J., & Halligan, P. (1987). Behavioural inattention test. *Titchfield, Hampshire, UK: Thames Valley Test Company*.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225–240. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- World Medical Association (2020). WMA - The World Medical Association-WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. Zugriff am 19.11.2020. Verfügbar unter <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>
- Worringen, U., & Küch, D. (2010). *Psychologie in der medizinischen Rehabilitation der Deutschen Rentenversicherung Bund*.
- Yao, R., Heath, T., Davies, A., Forsyth, T., Mitchell, N., & Hoberman, P. (2014). Oculus vr best practices guide. *Oculus VR*, 4.
- Yasuda, K., Muroi, D., Ohira, M., & Iwata, H. (2017). Validation of an immersive virtual reality system for training near and far space neglect in individuals with stroke: A pilot study. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 24(7), 533–538. <https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1351069>

- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, *18*(5), 459–482.  
<https://doi.org/10.1002/cne.920180503>
- Yesavage, J. A., & Sheikh, J. I. (1986). 9/Geriatric Depression Scale (GDS). *Clinical Gerontologist*, *5*(1-2), 165–173. [https://doi.org/10.1300/J018v05n01\\_09](https://doi.org/10.1300/J018v05n01_09)
- Yildirim, C. (2019). Don't make me sick: investigating the incidence of cybersickness in commercial virtual reality headsets. *Virtual Reality*, *29*(2), 47. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00401-0>
- Yoo, C., Yong, M.-H., Chung, J., & Yang, Y. (2015). Effect of computerized cognitive rehabilitation program on cognitive function and activities of living in stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, *27*(8), 2487–2489. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2487>
- Youngblut, C. (2007). What a Decade of Experiments Reveals about Factors that Influence the Sense of Presence: Latest Findings, 214.
- Zebhauser, P. T., Vernet, M., Unterburger, E., & Brem, A.-K. (2019). Visuospatial Neglect - a Theory-Informed Overview of Current and Emerging Strategies and a Systematic Review on the Therapeutic Use of Non-invasive Brain Stimulation. *Neuropsychology Review*, *29*(4), 397–420.  
<https://doi.org/10.1007/s11065-019-09417-4>
- Zeyfang, A. (2013). Schlaganfall. In A. Zeyfang, U. Hagg-Grün, & T. Nikolaus (Eds.), *Springer-Lehrbuch. Basiswissen Medizin des Alterns und des alten Menschen* (S. 77–101). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28905-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28905-7_5)
- Zimmer, P., Buttlar, B., Halbeisen, G., Walther, E., & Domes, G. (2019). Virtually stressed? A refined virtual reality adaptation of the Trier Social Stress Test (TSST) induces robust endocrine responses. *Psychoneuroendocrinology*, *101*, 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.11.010>
- Zimmermann, P., & Fimm, B. (2009). *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung: TAP, Version 2.2: Psytest.*