
EINFLUSS DES VERGENCE-ACCOMMODATION- CONFLICTS AUF DIE AUGEN, DAS WOHLBEFINDEN UND DIE KONZENTRATIONSFÄHIGKEIT

Vom Fachbereich Sozialwissenschaften der Rheinland-Pfälzischen Technischen
Universität Kaiserslautern-Landau zur Verleihung des akademischen Grades
Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte

DISSERTATION

von

Eva Bartaguiz

Tag der Disputation:	16.10.2024
Dekan:	Prof. Dr. Michael Fröhlich
Vorsitzende:	Prof. Dr. Mandy Schiefner-Rohs
1. Gutachter:	Prof. Dr. Michael Fröhlich
2. Gutachterin:	Jun.-Prof. Freya Gassmann

D 386
Dezember 2024

GENDERHINWEIS

In dieser Dissertation wird durchgängig geschlechtsneutrale Sprache verwendet, um die Gleichheit aller Geschlechter zu betonen und inklusiv zu sein. Begriffe und Pronomen sind so gewählt, dass sich jede Person unabhängig von ihrem Geschlecht angesprochen fühlen kann.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Kaiserslautern, den 24.06.2024

Eva Bartaguiz

DANKE

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater, Univ.-Prof. Dr. Michael Fröhlich. Ich danke Ihnen für die freundliche Hilfe, die vielen wertvollen Anregungen und die konstruktive Kritik, die mir einen kritischen Zugang zu diesem Thema eröffneten. Vielen Dank für die Möglichkeiten, meinen Interessen zu folgen, die Chance zur Verwirklichung meines Vorhabens und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Ein großes Dankeschön gilt zudem meinen Kolleginnen und Kollegen Dr. Stephan Becker, Dr. Carlo Dindorf, Dr. Oliver Ludwig, Steven Simon und Jonas Dully deren konstruktiven Gespräche und Anregungen entscheidend zur Entwicklung meiner Ideen beigetragen haben. Besonders möchte ich auch Dr. Claudia Reidick danken, die mir in vielen Gesprächen einen anderen Blickwinkel ermöglicht hat. Ihre Unterstützung und Perspektiven haben meine Arbeit bereichert und mir geholfen, neue Ansätze zu finden. Mein besonderer Dank gilt Sergey Mukhametov, der mich während der Studien mit großem Einsatz unterstützt, meine Ideen in den einzelnen Interventionen federführend umgesetzt und damit wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Privat möchte ich meinen Freunden, vor allem Michaela und Isabelle, danken, die immer dann da waren, wenn ich Unterstützung oder ein offenes Ohr brauchte.

Auch meiner Mama und meinen beiden Schwestern Christin und Sonja danke ich für ihre Unterstützung und Motivation. Vielen Dank für eure Geduld, die Ermutigungen und Zusprüche und dafür, dass ihr insbesondere während des Promotionsvorhabens alles getan habt, um mir möglichst viel Zeit für die Arbeit an dieser Dissertation freizuhalten.

Mein größter Dank gilt meinem Lebensgefährten Filipe, der in den letzten Jahren häufig zurückstecken musste, mich in meinem Vorhaben aber immer ohne Vorbehalte bestärkt hat.

Inhaltsverzeichnis

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG	I
DANKSAGUNG	II
INHALTSVERZEICHNIS.....	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V
TABELLENVERZEICHNIS.....	VIII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XI

KAPITEL 1 – EINLEITUNG UND FORSCHUNGSDESIDERAT

1.1	Einleitung.....	2
1.2	Forschungsfragen.....	6
1.3	Forschungsbeitrag	7

KAPITEL 2 – GEGENSTAND DER ARBEIT

2.1	Augmented Reality	10
2.2	Herausforderungen und Limitationen an das visuelle System.....	14

KAPITEL 3 – METHODE

3.1	Verwendete Messtechnik und Messsysteme	30
3.2	Datenaufbereitung.....	37
3.3	Deskriptive und inferenzstatistische Verfahren	37

KAPITEL 4 STUDIE 1

4.1	Ablauf der Studie.....	43
4.1.1	Probandenstichprobe.....	44
4.1.2	Untersuchungsgruppen.....	45
4.1.3	Studiendesign und Untersuchungsmethoden.....	46
4.2	Ergebnisse.....	47
4.2.1	Deskriptive Statistik	47
4.2.2	Inferenzstatistik	76
4.2.2.1	Pupillometrie	76
4.2.2.2	Symptom- und Beschwerdefragebogen nach Hoffman et al. (2008)	92
4.2.2.3	HRV.....	102
4.2.2.4	Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)	108

4.2.2.5	Determinationstest.....	112
KAPITEL 5 STUDIE 2		
5.1	Untersuchungsmethodik.....	122
5.1.1	Probandenstichprobe.....	122
5.1.2	Ablauf der Untersuchung	122
5.2	Ergebnisse.....	123
5.2.1	Deskriptive Statistik	123
5.2.2	Inferenzstatistik	126
KAPITEL 6 STUDIE 3		
6.1	Probandenstichprobe.....	133
6.2	Ablauf der Untersuchung und Untersuchungsmethodik.....	133
6.3	Ergebnisse.....	134
6.3.1	Deskriptive Statistik	134
6.3.2	Inferenzstatistik	138
KAPITEL 7		
7.1	Diskussion.....	143
7.2	Limitationen und Schlussfolgerung	148
KAPITEL 8		
8.1	Fazit.....	152
8.2	Ausblick.....	152
LITERATURVERZEICHNIS		156
ANHANG.....		170
CURRICULUM VITAE.....		228

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Organigramm zu den Arten von AR-Geräten (Park et al., 2020, S. 3).....	10
Abbildung 2: Schematische Darstellung des VACs. links: das natürliche Sehen, rechts: Virtuelle Realität. Eigene Darstellung angelehnt an Peillard et al., (2020, S. 4)	19
Abbildung 3: HoloLens 2 mit Pupil Lab Eye-Trackern	32
Abbildung 4: Schematische Darstellung Studienablauf Tag 1	43
Abbildung 5: Schematische Darstellung Studienablauf Tag 2	44
Abbildung 6: Untersuchungsumgebung Tag 1 und Tag 2.....	46
Abbildung 7: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für den VAC 7, Tag 2.....	51
Abbildung 8: Bewertung der Symptome und Beschwerden zu den einzelnen Messzeitpunkten t1-t4 (oben) und Interventionstypen (VAC), Tag 1	52
Abbildung 9: Raincloud Plots, Boxplots und Histogramme für das Item Müdigkeit zu den einzelnen Messzeitpunkten Tag 1 und 2	53
Abbildung 10: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der Mittelwerte der gesamten Mittleren HF zu der BL, den einzelnen Messzeitpunkten und Geschlecht.....	61
Abbildung 11: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der Mittleren HF an Tag 2 zu der BL, den unterschiedlichen Messzeitpunkten und Distanzen.....	62
Abbildung 12: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der HF an Tag 2 zu der BL, den unterschiedlichen Messzeitpunkten und Distanzen	67
Abbildung 13: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der getrimmten Mittelwerte des linken und rechten Pupillendurchmesser, während dem Interventionstyp VAC 1	77
Abbildung 14: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der getrimmten Mittelwerte des linken und rechten Pupillendurchmesser, während dem Interventionstyp VAC 3	80
Abbildung 15: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für der getrimmten Mittelwerte rechten Pupillendurchmessers in der Gruppe 2.5 m, während dem Interventionstyp VAC 5, Tag 2.....	84
Abbildung 16: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der getrimmten Mittelwerte rechten Pupillendurchmessers in der Gruppe 0.7 m, während dem Interventionstyp VAC 5, Tag 2.....	85

Abbildung 17: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der Mittelwerte des linken und rechten Pupillendurchmessers, während dem Interventionstyp VAC 6, Tag 2.....	87
Abbildung 18: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der getrimmten Mittelwerte des linken und rechten Pupillendurchmessers, während dem Interventionstyp VAC 7.....	90
Abbildung 19: Korrelationsmatrix der Items des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) und dem Interventionstyp zu den einzelnen Messzeitpunkten an Tag 1. a. Messzeitpunkt 1, b. Messzeitpunkt 2, c. Messzeitpunkt 3, d. Messzeitpunkt 4. Der Farbverlauf zeigt den Grad der paarweisen Korrelation in Bezug auf den Rangkorrelationskoeffizienten von Spearman an. Die Farbsättigung stellt die Stärke der Korrelation dar (Rot = positive, blau = negative Korrelationen	93
Abbildung 20: Korrelationsmatrix der Items des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) und dem Interventionstyp zu den einzelnen Messzeitpunkten an Tag 2. a. Messzeitpunkt 1, b. Messzeitpunkt 2, c. Messzeitpunkt 3, Gruppe 2.5 m. Der Farbverlauf zeigt den Grad der paarweisen Korrelation in Bezug auf den Rangkorrelationskoeffizienten von Spearman an. Die Farbsättigung stellt die Stärke der Korrelation dar (Rot = positive, blau = negative Korrelationen	94
Abbildung 21: Korrelationsmatrix der Items des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) und dem Interventionstyp zu den einzelnen Messzeitpunkten an Tag 2. a. Messzeitpunkt 1, b. Messzeitpunkt 2, c. Messzeitpunkt 3, Gruppe 0.7 m. Der Farbverlauf zeigt den Grad der paarweisen Korrelation in Bezug auf den Rangkorrelationskoeffizienten von Spearman an. Die Farbsättigung stellt die Stärke der Korrelation dar (Rot = positive, blau = negative Korrelationen)	95
Abbildung 22: Darstellung der Mittelwerte des Items Kopfschmerzen in Abhängigkeit des Interventionstyps nach Geschlecht inkl. der 95 % Konfidenzintervalle. Grüne Linie = männlich; orange Linie weiblich. Links. * $p < .05$, ** $p < .001$	100
Abbildung 23: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der Mittleren HF zu der BL und den unterschiedlichen Interventionstypen, getrennt nach Geschlecht	104
Abbildung 24: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die SFA zu den einzelnen Messzeitpunkten.....	113
Abbildung 25: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die V zu den einzelnen Messzeitpunkten.....	115

Abbildung 26: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die Z zu den einzelnen Messzeitpunkten.....	116
Abbildung 27: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die ZV zu den einzelnen Messzeitpunkten.....	117
Abbildung 28: Schematische Darstellung zum Untersuchungsablauf.....	122
Abbildung 29: QR Codes zu den beiden Spielen Algorithmic Nature und RoboRaid.....	123
Abbildung 30: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für den Pupillendurchmessers des linken Auges zu den einzelnen Messzeitpunkten des Interventionstyps VAC 1	125
Abbildung 31: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für den Pupillendurchmessers des rechten Auges zu den einzelnen Messzeitpunkten des Interventionstyps VAC 1	125
Abbildung 32: Vergleich der Diameter des rechten Auges zum Zeitpunkt des Pre- und Posttest.....	129
Abbildung 33: Korrelationsmatrix der Items des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) und dem Messzeitpunkt. Der Farbverlauf zeigt den Grad der paarweisen Korrelation in Bezug auf den Rangkorrelationskoeffizienten von Spearman an. Die Farbsättigung stellt die Stärke der Korrelation dar (Rot = positive, blau = negative Korrelationen)	130
Abbildung 34: Schematische Darstellung des Studienablaufs der dritten Studie	134
Abbildung 35: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die SFA zu den einzelnen Messzeitpunkten.....	137
Abbildung 36: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die Verspäteten Reaktionen zu den einzelnen Messzeitpunkten	138
Abbildung 37: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für „Meine Augen brennen und sind gereizt“ zu den einzelnen Messzeitpunkten	140

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Skala des Symptomfragebogens	35
Tabelle 2:	Anthropometrische Daten n = 45	46
Tabelle 3:	Deskriptive Kennwerte Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 5, Tag 2	49
Tabelle 4:	Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2	55
Tabelle 5:	Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2	56
Tabelle 6:	Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2	58
Tabelle 7:	Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2	59
Tabelle 8:	Deskriptive Werte der LF der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkte an Tag 1	66
Tabelle 9:	Deskriptive Werte der LF/HF Ratio der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkten an Tag 1	68
Tabelle 10:	Deskriptiven Kennzahlen zu dem VQS	69
Tabelle 11:	Deskriptiven Kennzahlen der Median Reaktionszeit, Gruppe 0.7 m	72
Tabelle 12:	Deskriptiven Kennzahlen der Summe falscher & ausgelassener Reaktionen, Gruppe 0.7 m und 2.5 m	73
Tabelle 13:	Deskriptiven Kennzahlen der zeitgerechten Reaktionen, Gruppe 0.7 m und 2.5 m	74
Tabelle 14:	Deskriptiven Kennzahlen der Rohwerte richtiger Reaktionen Gruppe 0.7 m und 2.5 m	75
Tabelle 15:	Teststatistiken Vorzeichentest VAC 1, linkes rechtes Auge	78
Tabelle 16:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 2	79
Tabelle 17:	Teststatistiken Vorzeichentest VAC 2, linkes rechtes Auge	79
Tabelle 18:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 3	81
Tabelle 19:	Teststatistiken Vorzeichentest VAC 3, linkes rechtes Auge	81
Tabelle 20:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 4	82
Tabelle 21:	Teststatistiken Vorzeichentest VAC 4, linkes rechtes Auge	82
Tabelle 22:	Ergebnisse der robusten Mixed-ANOVA für das linke Auge und den Interventionstyp VAC 1, Tag 2 unter Verwendung von bwtrim	83

Tabelle 23:	Ergebnisse der standardmäßig durchgeführten Mixed-rmANOVA für das rechte Auge und den Interventionstyp VAC 5, Zwischensubjektfaktor „Gruppe“, Tag 2	83
Tabelle 24:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 5, Gruppe 0.7 m, Tag 2	86
Tabelle 25:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 5, Gruppe 2.5 m.....	86
Tabelle 26:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 6, Gruppe 0.7 m, Tag 2	88
Tabelle 27:	Teststatistiken Vorzeichentest VAC 6, linkes rechtes Auge, Gruppe 0.7 m, Tag 2	88
Tabelle 28:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 6, Gruppe 2.5, Tag 2	88
Tabelle 29:	Teststatistiken Vorzeichentest VAC 2, linkes rechtes Auge, Gruppe 2.5, Tag 2	88
Tabelle 30:	Ergebnisse der standardmäßig durchgeführten Mixed-rmANOVA nach Greenhouse-Geisser Korrektur für das rechte Auge und den Interventionstyp VAC 7, Tag 2	89
Tabelle 31:	Ergebnisse der robusten Mixed-rmANOVA für das rechte Auge und den Interventionstyp VAC 7, Tag 2 unter Verwendung von bwtrim	89
Tabelle 32:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 7, Gruppe 0.7 m, Tag 2	90
Tabelle 33:	Teststatistiken Vorzeichentest VAC 7, linkes rechtes Auge, Gruppe 0.7 m, Tag 2	91
Tabelle 34:	Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 7, Gruppe 2.5 m, Tag 2	91
Tabelle 35:	Teststatistiken Vorzeichentest VAC 7, linkes rechtes Auge, Gruppe 2.5 m, Tag 2	91
Tabelle 36:	Ergebnisse der robusten Mixed-ANOVA für das Item Müdigkeit unter Verwendung von bwtrim, Tag 1	96
Tabelle 37:	Ergebnisse der robusten Mixed-ANOVA für das Item Kopfschmerzen unter Verwendung von bwtrim, Tag 1 und 2. Zwischensubjektfaktor „Gruppe“	98
Tabelle 38:	Ergebnisse der robusten Mixed-ANOVA für das Item Müdigkeit unter Verwendung von bwtrim, Tag 1	99
Tabelle 39:	Teststatistiken (Z-Werte) und die dazugehörigen p-Werte und Effektstärke (r) für den Wilcoxon-Test	108
Tabelle 40:	Teststatistiken (U- und Z-Werte) und die dazugehörigen p-Werte für den Wilcoxon-Test	110
Tabelle 41:	Ergebnisse der robusten Mixed-rmANOVA für den Parameter verspätet Reaktionen unter Verwendung von bwtrim.....	114
Tabelle 42:	Paarweise Vergleiche, der richtigen Reaktionen, Gruppe 0.7	118

Tabelle 43:	Paarweise Vergleiche der richtigen Reaktionen, Gruppe 2.5.....	118
Tabelle 44:	VFQ – Teststatistiken (Z-Werte) und die dazugehörigen p-Werte und Effektstärke [®] für den Wilcoxon-Test, Studie 2.....	127

Abkürzungsverzeichnis

α	Signifikanzgrenze
ANOVA	Varianzanalyse
ANS	Autonomes Nervensystem
AR	Augmented Reality
AV	Abhängige Variable
BAuA	Deutsche Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
β	Fehler zweiter Art
bpm	Beats per minute
cm	Zentimeter
CI	Konfidenzintervall
DT	Determinationstest
ET	Eyetracking
F	Prüfungsgröße bei der ANOVA
FoV	Field of View (Sichtfeld)
FR	Fokale Rivalität
HCI	Human Computer Interaction / Mensch Maschinen Interaktion
HF	High Frequency
HMD	Headmounted Display
HR	Herzrate
HRV	Herzratenvariabilität
ICC	Intra-class correlation
ICT	Information and Communication Technology
IR	Infrarot
kg	Kilogramm
KI	Künstliche Intelligenz
K-S	Kolmogorov-Smirnov-Test mit Lilliefors-Korrektur zur Prüfung der Normalverteilung

LF	Low Frequency
<i>M</i>	Mittelwert
MDRT	Rohwert Median Reaktionszeit
MR	Mixed Reality
<i>n</i>	Anzahl der Versuchspersonen
NV	Normalverteilung
η^2_p	Partielles Etaquadrat
OG	Obere Grenze
OST	Optical See Through
ρ	Fehlerwahrscheinlichkeit
ρ	Spearman-Korrelationskoeffizient
RMSSD	Mean Square of Successive Differences
RPTU	Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern Landau
RV	Reality-Virtuality-Contiuum
<i>SD</i>	Standardabweichung
SDNN	Standard Deviation of Normal to Normal R-R Intervals
SFA	Summe Falsche und Ausgelassene
SSQ	Simulator Sicknesss Questionnaire
TU	Technische Universität
UG	Untere Grenze
UV	Unabhängige Variable
VAC	Vergence-Accommodation-Conflict
VFQ	Visual Fatigue Questionnaire
V	Verspätete Reaktionen
VR	Virtual Reality
<i>y</i>	Gewichtungsfaktor
<i>z</i>	z-Wert der standardisierten Skala
Z	Richtige Reaktionen
ZV	Zeitgerechte Reaktionen

KAPITEL 1

EINLEITUNG UND FORSCHUNGSDESIDERAT

1.1 Einleitung

In den letzten Jahren hat es enorme Fortschritte im Bereich der erweiterten (augmented) und virtuellen (virtual) Realität gegeben. Allen voran treiben etablierte Unternehmen wie Metaverse, Apple, Google und Microsoft sowie immer mehr Start-Ups diese Entwicklung und den Ausbau der neuen Technologien in Bezug auf die Hardware, als auch die Software voran. Mit dem Aufkommen von Smartglasses für Endverbraucher in den letzten Jahren hat Augmented Reality (AR) unaufhaltsam an Bedeutung gewonnen und ist bereits ein integraler Bestandteil des Alltags vieler Menschen in verschiedenen Bereichen. Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung hat die voranschreitende Digitalisierung in den letzten Jahren spezifische Sektoren stark geprägt und die Aufmerksamkeit von Pädagogen, Forschern und politischen Entscheidungsträgern auf sich gezogen. Dies führte zu erheblichen Veränderungen in Bereichen wie Bildung, Qualifikation und Beschäftigung (Qureshi et al., 2021) sowie Freizeitaktivitäten (Bum, Mahoney & Choi, 2018).

AR beschreibt eine Technologie, bei der reale Weltbilder durch die Integration computergenerierter Elemente wie Ton, Video, Grafiken und Standortdaten erweitert werden, wie unter anderen von Milgram, Takemura, Utsumi und Kishino (1995) sowie Sourin (2017) dokumentiert wurde.

Durch die Nutzung eines AR-Interfaces können Nutzer sowohl die physische Umgebung als auch virtuelle Grafiken wahrnehmen, die an realen Standorten und auf realen Objekten platziert sind. Im Gegensatz zu Virtual Reality (VR)-Interfaces, die die Nutzer von der realen Welt auf einen virtuellen Bildschirm versetzen, dient ein AR-Interface dazu, das Erlebnis innerhalb der realen Welt zu intensivieren und durch Zusatzinformationen zu erweitern (Ozedemir et al., 2018).

In die Welt des Sports, einem Bereich der traditionell von körperlicher Leistung und physischer Präsenz geprägt ist, hat AR Einzug gefunden und avanciert, neben der Künstlichen Intelligenz (KI), zu einem integralen Bestandteil der Transformation eines ganzen Sektors. Technologische und methodische Fortschritte können zur Entlastung von finanziellen und zeitlichen Belastungen beitragen und sind somit für eine Vielzahl von Personen und Organisationen aus verschiedenen Branchen relevant (Kaplan et al., 2021). Einige Sportarten und Vereine nutzen die Vorteile der AR-Technologie, indem sie beispielsweise AR-basierte Anwendungen auf den Markt bringen, die eine intensivere Interaktion zwischen Fans und Sporthelden ermöglichen. Zuschauern können zusätzliche Informationen über das Spiel, die *Potenziale*

Veranstaltung oder einzelne Athleten sowie bedeutsame Spielzüge in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden (Sawan et al., 2020). AR-Technologien haben sich in den vergangenen Jahren auch bei der Übertragung von Sportveranstaltungen sowie in der Unterstützung von (Schieds-)Richterentscheidungen erfolgreich etabliert. Beispiele hierfür sind das Hawk-Eye-System im Tennis, die Einblendung von Markierungen auf Spielfeldern sowie die Schaffung virtueller Linien, etwa im Fußball, in der Leichtathletik oder im Schwimmsport (Bum et al., 2018). Geht man einen Schritt weiter und implementiert diese Anwendungen in Smartglasses, tauchen die Zuschauer in das Geschehen unmittelbar ein. Es erschließt sich ihnen ein neuer virtueller Raum. Durch die Technologie kommt es so zur „Hybridisierung materieller und virtueller Räume“ (Edinger & Reimer, 2015, S. 208) und dem sogenannten „Thirdplace“ (Soja, 1996). Die Integration von AR in den Sportsektor hat die Wahrnehmung und Analyse bei Sportereignissen bereits grundlegend verändert. Gleichzeitig bietet sie Potenzial, das Training und die Leistung von Athleten auf innovative Weise zu bereichern.

Metaverse sieht das Potenzial von AR in ganz unterschiedlichen Bereichen und veranschaulicht diese durch eine Vielzahl von Werbespots. Die ersten veröffentlichten Werbespots geben einen Eindruck, wie vielfältig AR das Kunst- und Kulturerlebnis verändern (Meta, 2021b), und gleichzeitig als hilfreiches Werkzeug in den Bereichen Bildung und Gesundheit (Meta, 2021a, 2022a) genutzt werden kann. Daran reiht sich ein, weiterer Werbespot an, der darüber hinaus veranschaulicht, wie VR und AR als positiver Katalysator für gesellschaftliche Veränderungen fungieren könnte (Meta, 2022b). Mittelpunkt dieses Werbespots ist dabei das afrikanische Radteam Amani und eine, um AR-Technologie erweiterte, Sportbrille. Auch wenn Meta hier eine futuristische Szene darstellt, zeigt sich schon heute das Potenzial von AR. Die Anwendung von AR im Sport bietet nicht nur Verbesserungsmöglichkeiten für das Zuschauererlebnis bei Sportveranstaltungen, sondern birgt auch das Potenzial zur signifikanten Steigerung des Trainings und der Leistung von Athleten, wie von Soltani und Morice (2020) dargelegt wird, in dem AR einerseits ein bewussteres Erleben von Wettkämpfen, Spielen und Trainingseinheiten ermöglicht, was in der Folge potenziell zu verbesserten Leistungen führen kann. Andererseits lassen sich im Trainingsalltag durch AR innovative Trainingsreize und realitätsnahe Wettkampfsimulationen schaffen, die eine präzise Nachbildung der tatsächlichen Bedingungen ermöglichen. Des Weiteren kann AR durch Visualisierung von Spielzügen und Strategien Trainern sowie Athleten helfen, ihre Leistung und Bewegungen zu analysieren und steigerungsfähige

Bereiche zu identifizieren. Ein Basketballspieler kann beispielsweise eine AR-Brille verwenden, um eine virtuelle Darstellung seiner Wurflinie zu sehen, bei der mit Pfeilen und Linien, die Bereiche und Abweichungen angezeigt werden, in denen er Anpassungen vornehmen muss (Gutierrez & Castellanos, 2018; Lin et al., 2021). Die Anwendung von AR zeigt nicht nur im Kontext von Analyse und Trainingsbeobachtung ihre Relevanz, sondern wird sicherlich zukünftig eine große Rolle beim Erlernen neuer Sportarten und Bewegungsabläufe spielen.

In früheren Übersichtsartikeln wurden verschiedene AR-Merkmale identifiziert, die das Lernen verbessern können. Dazu gehören ein besseres Verständnis von Inhalten im Vergleich zu anderen Medien, eine verbesserte Langzeitgedächtnisleistung, gesteigerte physische Aufgabenleistung und eine verbesserte Zusammenarbeit (Akçayır & Akçayır, 2017; Garzón & Acevedo, 2019; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Radu, 2014). Im Bereich Sport zeigten Jebara et al. (1997) Billiardspielern Treffer an, um die Lernerfahrung zu verbessern. Vorausgesetzt, das Feedback ist angemessen gestaltet, erweist sich AR zudem als überlegen gegenüber videobasiertem Feedback oder dem Feedback eines Trainers (Chang et al., 2020; Kajastila, Holsti & Hämäläinen, 2016; Zhang & Huang, 2023). Gleichzeitig haben Studien zur Konzentrations- und Aufmerksamkeitsfähigkeit im Sport gezeigt, dass je nach Lerntyp neben der Bildsprache insbesondere ein visueller Fokus die Leistung und Motivation positiv beeinflussen kann (Miller, Ogilvie & Branch, 2008; Peng, Crouse & Lin, 2013).

In den olympischen Sommersportarten erfährt die Integration von AR-Technologien umfassende Unterstützung. Dennoch wächst auch in technischen Sportarten wie Dodgeball und Freizeitspielen wie Billard oder Tischfußball das Interesse an AR (Soltani & Morice, 2020). Durch die Überwachung sportlicher Leistungsdaten und die Bereitstellung zusätzlicher Informationen ermöglichen diese Anwendungen Sportlern und Patienten in der Rehabilitationsphase, ihre individuellen körperlichen Fähigkeiten zu verbessern (Held et al., 2020). Visuelle Darstellungen spielen eine wichtige Rolle bei der Übermittlung von Informationen an den Nutzer. Daher könnte die strategische Reizkontrolle auf spezifische Merkmale und Ereignisse begrenzt sein. Auditive Hinweise könnten hingegen ergänzende Informationen zur Verfügung stellen (Soltani & Morice, 2020). Trainer können die Trainingsgestaltung mittels AR optimieren und die soziale Interaktion fördern, indem sie relevante Zielvorgaben berücksichtigen (Kajastila & Hämäläinen, 2014).

Trotz des zunehmenden Interesses am Einsatz von AR, ist die Literatur hinsichtlich der Bewertung der Effektivität und dem Einfluss solcher Werkzeuge, in einem evidenzbasierten Sinne, dennoch spärlich und inkonsistent. Die aktuelle Forschung auf dem Gebiet der AR lässt sich grob drei verschiedenen Bereichen zuordnen. Bei der Entwicklung von Displaytechnologie und AR-Systemen beziehen sich die technischen Aspekte dabei vorrangig auf Hard- und Software. Auf die Anwendung der AR-Technologie in verschiedenen Szenarien zum Beispiel der Industrie oder Schule (P. Chen et al., 2017; Pentenrieder et al., 2007; Sampaio & Almeida, 2018) konzentriert sich der zweite Bereich. Ein dritter, und für die vorliegende Arbeit essenzieller Bereich, ist der, der sich mit den nutzerbezogenen Aspekten, einschließlich der auf psychologischer und medizinischer Ebene, befasst (Tümler et al., 2008). Die Minimierung der potenziellen psychischen und physischen Mehrbelastung durch ein am Kopf getragenes AR-Display sind hierbei primär Schwerpunkt einzelner Untersuchungen und bilden die Basis für die vorliegende Arbeit. Dennoch ist die Thematik in der Vergangenheit kaum untersucht worden, sodass sich einerseits die Notwendigkeit ergibt, mögliche Zusatzbelastungen zu ermitteln und zu quantifizieren. Andererseits soll auch eine zu geringe mentale und kognitive Belastung vermieden werden, die in der Folge zu Motivationsmangel und Minderung der Konzentration führen kann (Tang et al., 2003). Diese beiden Faktoren können sowohl die unmittelbare Reaktion als auch das langfristige Verhalten der Nutzer beeinflussen (Tümler et al., 2008). Somit öffnet der Einsatz von AR-Innovationen im Sport neue Türen und bringt neue Herausforderungen mit sich (Ambika & Alam, 2023).

Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit liegt daher auf den potenziellen Mehrbelastungen, die durch den Vergence-Accommodation-Conflict (VAC)¹ hervorgerufen werden können. Das erste Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin den Einfluss des VACs über die klassischen Symptom- und Befindlichkeitsabfrage hinaus über das Eyetracking und die Messung der HRV zu untersuchen. Die Erforschung des VAC in augmentierten Umgebungen ist bisher unzureichend. Zudem wurden subjektive und objektive Messmethoden bisher nur selten in Kombination eingesetzt. *Defizit 1*

Auch die Untersuchung der Konzentrationsfähigkeit wurde bislang nur unzureichend berücksichtigt, was auf eine bestehende Forschungslücke hinweist, die weitere wissenschaftliche Auseinandersetzung erfordert. Die erste Studie widmet sich daher der *Defizit 2*

¹ Für eine Erläuterung des VAC sei an dieser Stelle auf das Kapitel 2 verwiesen

Fragestellung, wie der VAC unter verschiedenen Bedingungen die Augen, das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit beeinflusst.

Die zweite Untersuchung baut auf diesen Erkenntnissen auf und zielt darauf ab, potenzielle *Defizit 3* Habituationseffekte im Rahmen einer sechs Wochen umfassenden AR-Intervention zu analysieren. Im Fokus der Studie steht die Frage, wie sich subjektiv wahrgenommene Symptome im Verlauf der Wochen verändern. Darüber hinaus wird untersucht, inwieweit sich die Augenbelastung sowie die Konzentrationsfähigkeit vor und nach einer regelmäßigen sechswöchigen Exposition in einer augmentierten Realität unterscheiden.

Das dritte Ziel dieser Arbeit besteht darin, zu untersuchen, wie sich der Schweregrad der *Defizit 4* Symptome des VAC bei der Platzierung virtueller Objekte hinter einer physischen Wand unmittelbar nach der Exposition und nach 15 Minuten unterscheidet. Zudem wird analysiert, wie sich diese Unterschiede auf die Ergebnisse eines Konzentrationstests auswirken.

1.2 Forschungsfragen

Auf Basis der genannten Defizite setzt sich die vorliegende Arbeit mit den nachfolgenden übergeordneten Forschungsfragen auseinander. Die Fragestellungen repräsentieren hierbei einen Auszug der zentralen Inhalte und dienen dazu, einen umfassenden Überblick zu vermitteln. Sie verfolgen methodische und beispielhafte explorative Ziele. Durch die methodischen Forschungsfragen, die in den einzelnen Untersuchungen teilweise weiter spezifiziert werden, wird so ein inhaltlich-methodischer Zusammenhang hergestellt.

1. *Welche Faktoren beeinflussen die Symptome und Beschwerden sowie die Reaktion der Augen während und nach einer Immersion in Headmounted Display (HMD)-basierten AR-Umgebungen?*
2. *Inwiefern lassen sich Unterschiede bei den Symptomen und der Konzentrationsfähigkeit zwischen verschiedenen Interventionstypen feststellen?*
3. *Inwieweit zeigt sich ein Habituationseffekt hinsichtlich des Wohlbefindens, wenn Personen über einen bestimmten Zeitraum ihre „Sinne“ trainieren?*
4. *Welche Faktoren beeinflussen das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit in HMD-basierten AR-Szenarien, in denen die virtuellen Objekte hinter einer Wand liegen?*

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Fokussierung auf die Untersuchung der Auswirkungen eines AR-basierten HMD, für das sich große Potenziale im Kontext Leistungs- und Freizeitsport konstatieren lassen, deren mögliche Auswirkungen auf den menschlichen Körper bisher allerdings defizitär untersucht wurden. Konkret werden diese Potenziale, wenn es darum geht die Realität zu erweitern und Zusatzinformationen, ob im Training im Wettkampf oder bei einer Liveübertragung dem Nutzer bereitzustellen.

1.3 Forschungsbeitrag

Trotz der beträchtlichen technologischen Fortschritte wird wiederholt über visuelles Unbehagen und Ermüdung berichtet, dennoch gibt es kaum Studien, die den Einfluss des VAC in AR-Szenarien untersuchen. Dies deutet auf erhebliche Forschungsdefizite hin, wodurch dieses Thema gegenwärtig noch immer eine Forschungslücke im Bereich der AR-Forschung darstellt. Besonders bestehen Defizite in der Kombination objektiver und subjektiver Messverfahren. Subjektive Methoden sind naturgemäß von der Erinnerung abhängig und haben eine geringere zeitliche Auflösung. Im Gegensatz dazu bieten objektive Messungen, die visuelle Funktionen und ereigniskorrelierte Potenziale einbeziehen (Li et al., 2008), eine hohe zeitliche Auflösung und ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung der visuellen Zustände (Hoffman et al., 2008; E. Lee, Heo & Park, 2010; Shibata et al., 2011). Verschiedene Studien haben vorgeschlagen, objektive und subjektive Methoden zur Messung von visueller Ermüdung zu vereinen (Billinghurst, Clark & Lee, 2015; Hoffman et al., 2008; Kuze & Ukai, 2008; E. Lee et al., 2010; Mun et al., 2012; Shibata et al., 2011). Dennoch gibt es nur wenige Untersuchungen, die tatsächlich beide Verfahren anwendeten, und es konnte bisher kein Konsens zwischen den verschiedenen Studien erzielt werden (Kuze & Ukai, 2008; Li et al., 2008; Yano et al., 2002). Zudem sind Nachwirkungen auf kognitive Fähigkeiten wie die Konzentration bisher nicht ausreichend erforscht worden. Es ist daher erforderlich, zusätzliche Belastungen zu identifizieren und zu quantifizieren.

Der Forschungsbeitrag der Arbeit ergibt sich somit auf zwei Erkenntnisebenen: zum einen im Bereich der eingesetzten Verfahren und Methodik und zum anderen auf der Basis bislang kaum bis gar nicht betrachteter Parameter im Kontext AR-basierter Settings.

Demzufolge wird das übergeordnete methodische Ziel verfolgt, die Basis zu erarbeiten, um eine ganzheitliche Betrachtung der potenziellen Belastungen einer Exposition in AR zu

ermöglichen und nutzerbezogene Aspekte wie die Reduktion der kognitiven und physischen Belastung zukünftig zu berücksichtigen.

KAPITEL 2

GEGENSTAND DER ARBEIT

TheoretischHintergrund - Definitionen und Abgrenzung

2.1 Augmented Reality

In der wissenschaftlichen Literatur existieren verschiedene Definitionen von AR, wobei bislang keine allgemein anerkannte einheitliche Definition vorliegt (Milgram et al., 1995). Im weitesten Sinne bezieht sich der Begriff AR auf eine Technologie, die digitale Informationen über die physische, reale Welt legt (Mentiev, 2020). Im Gegensatz zur VR sind AR-Nutzer nicht von der realen Welt abgeschottet und isoliert (Mentiev, 2020). Sie behalten ihre Sicht auf das, was sich vor ihnen in der realen Welt abspielt, und haben die Möglichkeit zur direkten Interaktion mit ihrer Umgebung und anderen Personen. Des Weiteren existieren diverse Formen von AR, dargestellt in Abbildung 1. Darunter auch Anwendungen, die auf Smartphones oder Tablets basieren. HMDs eröffnen hierbei neue und vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in verschiedenen Bereichen (Andrews et al., 2021).

*Begriffs-
erklärung*

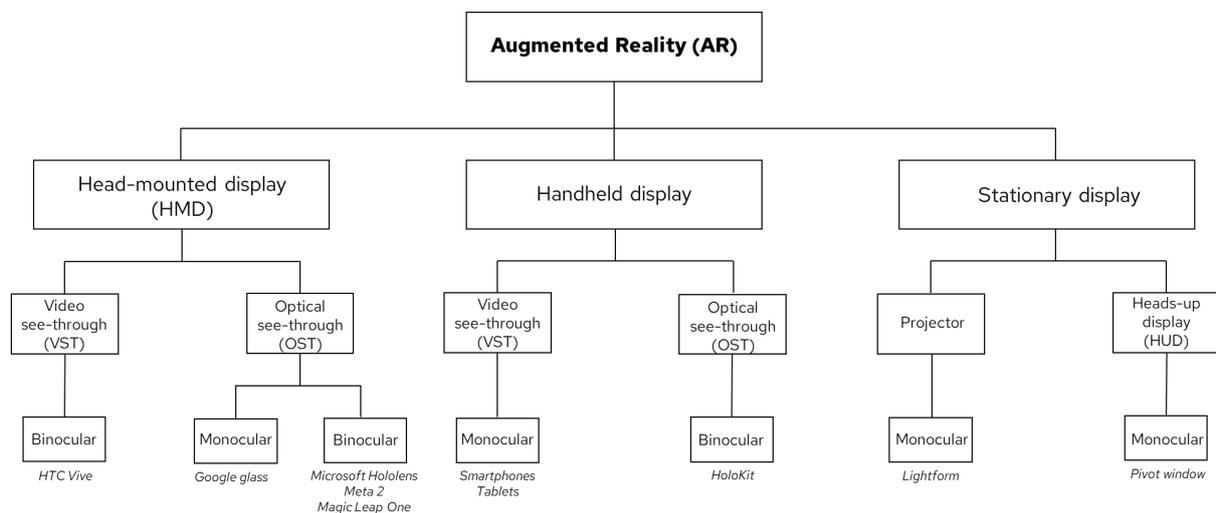


Abbildung 1: Organigramm zu den Arten von AR-Geräten (Park et al., 2020, S. 3)

Mit Hilfe dieser am Kopf getragenen 3D-AR-Geräten können virtuelle Objekte so dargestellt werden, als befänden sie sich in der unmittelbaren physischen Umgebung des Benutzers. Der Zweck von AR besteht darin, computergenerierte Daten zu verwenden, um die Realität zu erweitern bzw. diese mit zusätzlichen Inhalten und Informationen zu bereichern. In der Regel verfügen die kopfgetragenen kleinen Computer über zwei transparente Bildschirme, die sich vor den Augen des Benutzers befinden. Mithilfe des stereoskopischen Renderings mit den beiden Bildschirmen, zeigen die Geräte digitale Inhalte an, die dem Benutzer als 3D-Hologramme im Raum erscheinen. Mit Hilfe von AR können beispielsweise Merkmale zur Identifikation und Hervorhebung von sich bewegenden Zielen in der Umgebung hinzufügen,

kritische Informationen zur Entscheidungsfindung herangezogen oder verborgene Informationen geliefert werden, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind, sondern aus Text-, Daten- oder Modelldatenbanken stammen (Rolland, 2018).

Im Kontext Sport wurde die Anwendung von AR bei Sportübertragungen durch die Überlagerung von Markern auf Fußballfeldern, die Integration virtueller Linien auf den Feldern und die Einbindung virtueller und realer Objekte populär (Bum et al., 2018). Mittlerweile wurde dies auf andere Sportarten wie u. a. Baseball, Cricket, Tennis, Fußball oder den Motorsport übertragen (Uzor, Ikwuka & Ujuagu, 2023). Die Einblendung von Objekten und Zusatzinformationen fördert ein dynamisches Verständnis des Sports, indem Details wie Hilfslinien und Winkel anschaulich und intuitiv visualisiert werden (Luczak et al., 2022). Ein HMD, wie es in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde, wird hierbei allerdings nicht verwendet. Stattdessen wird auf Videoprojektionssysteme zurückgegriffen. *Anwendung*

Im sportlichen Kontext könnte das Erlernen mithilfe visueller Hinweise dazu dienen, Spieler über die zugrundeliegende Dynamik der Sportbewegungen zu informieren (Fery & Ponserre, 2001). Frühere Ansätze im Bereich des sportspezifischen Sehtrainings zeigten inkonsistente Ergebnisse hinsichtlich der Trainingseffekte, was die Wirksamkeit solcher videobasierter Trainingsmethoden in Frage stellt (Soltani & Morice, 2020). So fehlt bei der Videoanalyse ein Echtzeit-Feedback, und die Sportler müssen wiederholt verschiedene Bewegungen ausprobieren. Neuere Ansätze integrieren Methoden des Wahrnehmungslernens, um ein spezifischeres und nachhaltigeres Training zu ermöglichen (Fery & Ponserre, 2001). Die Lernenden werden dabei verschiedenen Situationen ausgesetzt, was die Entwicklung von Wissen in verschiedenen Bereichen fördern kann und möglicherweise zu schnelleren und adäquaten Entscheidungen führt (Fery & Ponserre, 2001). Dies ist von besonderer Bedeutung, da wiederholte Übungseinheiten in unterschiedlichen Kontexten, sei es unter Anleitung eines Trainers oder selbstgesteuert, einen entscheidenden Schritt darstellen, um neue Bewegungsmuster nachhaltig zu erlernen. In Anbetracht der Herausforderungen bei der Ausführung komplexer oder technisch anspruchsvoller Bewegungen wird zudem deutlich, dass physische Präsenz von Trainern oft eine wertvolle Unterstützung sein kann. Beim Erlernen und Verfeinern spezifischer Techniken, wie beispielsweise bei Kraftübungen, wird häufig sofortiges Feedback durch schrittweise Korrektur der Körperposition des Trainierenden mittels Berührung seitens des Ausbilders gegeben. Die Interaktion zwischen Trainer und Lernenden wird als entscheidend angesehen, jedoch schränkt sich die *Potenzial*

Verfügbarkeit solcher Ressourcen ein, sobald die Lernenden nicht mehr physisch in der Nähe sind. In solchen Fällen erfolgt die Anleitung für menschliche Bewegungen oft durch Videomaterial, Diagramme, Animationen oder schriftliche Beschreibungen (Sodhi et al., 2012). Eine kontinuierliche und inkrementelle Rückmeldung in Echtzeit ist wichtig, um Bewegungen in drei Dimensionen richtig zu interpretieren. Ohne diese Rückmeldung kann es herausfordernd werden, eine Reihe von Bewegungen zu verstehen und nachzuvollziehen. Videos bieten in der Regel nur einen einzigen oder begrenzten Blickwinkel und ermöglichen es den Lernenden nicht, verschiedene Perspektiven einzunehmen, um die Bewegungen vollständig zu erfassen (Mu, 2010). Die Vermittlung von Bewegungen im dreidimensionalen Raum ist jedoch entscheidend für das Erlernen neuer Bewegungen (Soltani et al., 2016). Darüber hinaus kann die Beobachtung aus verschiedenen Blickwinkeln die Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung der Lernenden unterstützen (Zhier, 2016). Videogestützte Trainings- oder Sportunterrichtseinheiten haben jedoch den Nachteil, dass die Integration von Videoinhalten in textbasierte Unterrichtsmaterialien nicht trivial ist. Im Sport geht es oft sowohl um Faktenwissen bezüglich Regeln und Prinzipien der Motorik, als auch um das Verständnis von Demonstrationen und Ausführungen motorischer Fähigkeiten. Diese beiden Aspekte erfordern unterschiedliche Präsentationsformen. Statische Präsentationen sind für Faktenwissen notwendig, während dynamische oder interaktive Präsentationen für die Demonstration motorischer Fähigkeiten erforderlich sind (Chang et al., 2020). Meist werden in einzelnen Unterrichts- oder Trainingseinheiten statische und dynamische Präsentationsformen nicht ausreichend kombiniert (Chang et al., 2020). Hier können AR-basierte HMDs ein hilfreiches Instrument beim Erlernen und Automatisieren von neuen Übungen oder dem Feilen an bestimmten Techniken sein, indem der Athletin oder dem Athleten in der natürlichen Umgebung Handlungsanweisungen direkt vor das Auge gespielt werden und mittels KI ein Abgleich der eigenen und der idealen Ausführung erfolgt. Darüber hinaus eröffnen virtuelle Umgebungen die Möglichkeit, Sport an entfernten Standorten zu praktizieren, wie von Sánchez Pato und Remillard (2018) hervorgehoben wurde, und könnten somit die Übertragung von erworbenen Fähigkeiten auf realistische Situationen unterstützen und diese im Sinne des didaktisch methodischen Prinzips vom „Bekanntem zum Unbekannten“ festigen. Ferner belegen Forschungsarbeiten, dass die Wahrnehmung der Benutzer verbessert wird, wenn Stimuli in zwei Modalitäten gleichzeitig präsentiert werden (Effenberg & Mechling, 2003; Effenberg, 2005). Im Bereich der motorischen Kontrolle und des motorischen

Lernens kann Sonifikation genutzt werden, um die Effizienz des menschlichen Wahrnehmungssystems zu steigern. Effenberg (2005) konnte zeigen, wie sich die Wahrnehmungsgenauigkeit komplexer Sportbewegungen durch die Anwendung von Bewegungssonifikation und eine präzise Reproduktion verbessert werden kann. In Kombination mit einem AR-basierten HMD können darüber hinaus mentale und wahrnehmungsbezogene Fähigkeiten der Koordination und der Reaktionszeiten gefördert werden und dazu beitragen, Fehler zu minimieren (Loila & Orciuoli, 2019).

Headmounted Displays (HMDs)

Die Hardwarekomponenten für AR-HMDs umfassen Sensoren, Eingabegeräte, Prozessoren und Displays. Es existieren diverse technische Ansätze zur Verschmelzung von realen und virtuellen Ansichten. Frühere Ausführungen räumlicher Augmentation beruhten auf der Projektion von Informationen auf nicht instrumentierten Oberflächen, um den Nutzern zusätzliche Anreize zu bieten. Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit von Sodhi et al. (2012), in der mittels projizierter Hinweise eine Anleitung der Benutzer zur Ausführung der gewünschten Bewegung eines Körperteils erfolgte, was besonders für die Ausführung von Bewegungen von Bedeutung ist, die Genauigkeit und korrekte Technik erfordern, wie beispielsweise im Sport oder in der Physiotherapie. Als Alternative zu Videoprojektionssystemen, die als unpraktisch empfunden wurden, erfasst ein transparentes Video-HMD die reale Welt mittels einer oder zwei auf dem kopfgetragenen Videokameras. Die von den Kameras aufgenommenen Bilder werden anschließend mit computergenerierten Informationen kombiniert und dem Benutzer angezeigt (Grimm et al., 2013).

*Begriffs-
erklärung*

Moderne Smartphones sind üblicherweise mit AR-Komponenten ausgestattet, erfordern jedoch, dass die Nutzer sie in Sichtweite hält. Im Wesentlichen besteht ein typisches HMD aus einem zweidimensionalen Mikrodisplay als Bildquelle und einem Okular (Hua & Javidi, 2014). Das Okular vergrößert das auf dem Mikrodisplay dargestellte Bild und erzeugt ein virtuelles Bild, das in einem festen Abstand vor dem Auge erscheint. Bei einem Optical-See-Through HMD (OST-HMD), zu denen auch die transparenten AR-Displays gehören, wird ein optischer Combiner (z.B. Strahlteiler) vor dem Auge platziert, um die optischen Pfade der virtuellen Anzeige und der realen Umgebung zu kombinieren (Hua & Javidi, 2014).

Die Mehrzahl der brillenbasierten AR-Displays verfügen über integrierte Tracking-Hardware und Algorithmen, die die Bewegungen des Headsets in der räumlichen Umgebung verfolgen,

was ein 3D Erlebnis der virtuellen Objekte im Raum intensiviert (Magomadov, 2020). Die Microsoft HoloLens 2 repräsentiert derzeit das am weitesten verbreitete transparente HMD. Sie bietet kabellose Lösungen mit hoher Rechenleistung, Positions- und Rotationsverfolgung, Gestenerkennung und räumlicher Zuordnung. Benutzer können mit ihrer Umgebung durch Gesten, Blicke und Sprache interagieren. Die HoloLens integriert zudem virtuelle 3D-Objekte in die reale Umgebung und verankert Hologramme an spezifischen Objekten in der Umgebung (Stropnik et al., 2018). Es befinden sich derzeit auch AR-Kontaktlinsen in der Entwicklung, die Computergrafiken direkt in die Augen projizieren könnten (Peddie, 2023). Neben dem Potential, neue unterstützende Trainingssettings zu schaffen und potenzielle Lösungen zur Leistungssteigerung zu entwickeln, haben HMDs jedoch auch Nachteile, die den Trainingserfolg beeinträchtigen könnten. Im Folgenden werden daher, basierend auf dem aktuellen Forschungsstand, die potenziellen Herausforderungen und Auswirkungen auf die Augen, das Wohlbefinden sowie die Konzentrationsfähigkeit genauer betrachtet.

2.2 Herausforderungen und Limitationen an das visuelle System

AR-Systeme einen großen Vorteil, indem sie dem Benutzer eine natürliche Sicht der realen Welt in voller Auflösung ermöglichen und somit die Integration virtueller und realer Ansichten erleichtern. Diese Integration ermöglicht die Bestimmung der Handposition bei manuellen Aufgaben. Jedoch haben jüngste Studien wahrnehmungsbezogene und technologische Einschränkungen wie die Aufdringlichkeit und Größe des Geräts, geringe Leuchtdichte, kleines Sichtfeld und Wahrnehmungskonflikte aufgezeigt. Die derzeitige Generation kommerzieller OST-HMDs zeigt VR-Inhalte normalerweise auf einer festen Fokusebene an, die sich scheinbar in einem Abstand von 2-3 Metern oder mehr (unendlich) befindet. Wenn solche Geräte unsachgemäß im peripersonalen Raum eingesetzt werden, kann der virtuelle Inhalt außerhalb der Schärfentiefe des Auges des Benutzers projiziert werden, was zu zwei Problemen führt: fokaler Rivalität (FR) (Oshima et al., 2016) und dem VAC (Condino et al., 2020), die den Sehkomfort beeinträchtigen. Um die Anforderungen an das menschliche Sehen zu erfüllen, stellt die Entwickler nutzerfreundlicher AR- und VR-basierte HMD vor bestimmte Herausforderungen. Hierbei muss bezüglich dieser Anforderungen, wie Field of View (FoV), Eyebox, Tiefenhinweise und Dynamikbereiche, Winkelauflösung etc., oft ein Kompromiss eingegangen werden (Xiong et al., 2021).

AR ermöglicht das Hinzufügen und Anpassen von virtuellen Inhalten an die realen Welt, was diese Anwendung besonders für Echtzeitanwendungen interessant macht (Fortin & Hebert, 2006). Einer der Hauptvorteile der Verwendung einer erweiterten Umgebung ist zum einen die direkte Interaktion der Nutzer in der Realität, und zum anderen die Erweiterung eines begrenzten physischen Raumes. Um eine realistische Augmentation zu erzielen, müssen reale und virtuelle Objekte aufeinander abgestimmt werden, sodass physische Interaktionen zwischen ihnen realitätsgetreu simuliert werden. Dabei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, um eine überzeugende und nahtlose Integration zu gewährleisten. Augmentation eines begrenzten Raumes durch virtuelle Objekte, die mithilfe von Tiefenhinweisen simulierte Entfernungen hinter den Wänden vortäuschen, vernachlässigt die Okklusion und stellt eine herausfordernde Aufgabe für das visuelle System dar, was sich auf das subjektive Wohlbefinden auswirken kann (Fortin & Hebert, 2006). Defizit 4

Cybersickness

Seit der Entwicklung des ersten HMD durch Sutherland im Jahr 1964 (Vovk et al., 2018) ist Cybersickness, charakterisiert durch Symptome wie visuelle Ermüdung, Kopfschmerzen, Blässe, Schwitzen, Übelkeit, Desorientierung, Apathie, Schwindel, Ataxie und Schläfrigkeit, ein verbreitetes Problem bei der Nutzung von AR-/VR-HMDs. Diese Symptome sind studienübergreifend dokumentiert (Davis, Nesbitt & Nalivaiko, 2014; Descheneaux et al., 2020).

Neben Cybersickness werden in der Literatur häufig die Begriffe Simulator –und Reisekrankheit synonym verwendet. Tatsächlich wird, ausgehend von den sich überschneidenden Symptomen diskutiert, ob sich die Begriffe wirklich abgrenzen lassen (Dennison & Krum, 2019). Dies soll aber nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit sein. Nichtsdestotrotz hat es sich gezeigt, dass bis zu 80% die teilnehmenden Personen, während sie sich in einer VR-Umgebung befanden, eine Art von Cybersickness erleben. Etwa 25% - 34% berichten hier von Übelkeit. Bis zu 17% können das Eintauchen in VR aufgrund negativer Auswirkungen nicht fortsetzen (Lawson, 2014). Auch wenn AR-Umgebungen die gleichen Probleme mit sich bringen können, sind Forschungsarbeiten zum Nachweis der gleichen Auswirkungen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen (Vovk et al., 2018).

Insbesondere bei der Verwendung von VR-Geräten tritt sie häufiger auf als bei mobilen, tabletbasierten AR-Anwendungen (Moro, Štromberga & Stirling, 2017). In einer Studie aus dem Jahr 2020 berichteten Teilnehmer einer HoloLens-Gruppe über ein höheres Maß an Unwohlsein, Müdigkeit, Kopfschmerzen, Schwindelgefühl und augenbezogenen Symptomen. Besonders Schwindel wurde von dieser Gruppe im Vergleich zur mobilen, tabletbasierten AR-Anwendung deutlich höher bewertet (Condino et al., 2020). Ein möglicher Faktor könnte der VAC sein, der durch 3D-Visualisierungstechnologien wie VR- oder AR HMDs ausgelöst werden kann und zu beeinträchtigter Sehleistung und visueller Ermüdung führt (Hoffman et al., 2008). Ähnliche Bedenken gibt es auch bei der Verwendung von immersiven VR-Geräten (Howarth & Costello, 1997). Untersuchungen, die den Grad der Übelkeit zwischen AR- und VR-HMDs vergleicht stehen ebenfalls noch aus (Geyer & Biggs, 2018).

Visuelle Ermüdung – Visual Fatigue

In den letzten Jahren hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass bei manchen Menschen ein Phänomen auftritt, das als "visuelle Ermüdung" bezeichnet wird, wenn sie einer großen Menge an visuellen Informationen ausgesetzt sind. In dem folgenden Kapitel werden einige der Ursachen für visuelle Ermüdung erörtert und die Auswirkungen untersucht, die dies auf die sportliche Leistung haben kann.

Im Kontext der visuellen Ermüdung wurde im Laufe der letzten Jahrzehnte diese insbesondere im Zusammenhang mit Bildschirmgeräten im Allgemeinen und stereoskopischen Bildschirmen eingehend untersucht. Dabei wird in der Literatur visuelles Unbehagen als eines der bedeutendsten Gesundheitsprobleme genannt (Lambooj et al., 2009). Visuelle Ermüdung umschreibt ein recht breites Spektrum von visuellen Symptomen einschließlich Müdigkeit, Kopfschmerzen und schmerzende bzw. trockene Augen. Vor dem Hintergrund eines angenehmen Seherlebnis auf einen stereoskopischen Bildschirm ist eine umfassende Untersuchung des visuellen Unbehagens erforderlich. Anders als in vielen Literaturquellen sollte zwischen visuellem Unbehagen und visueller Ermüdung bzw. Stress unterschieden werden. Die visuelle Ermüdung bezieht sich auf einen Leistungsabfall des menschlichen Sehsystems, die objektiv gemessen werden kann, während visuelles Unbehagen ihr subjektiv empfundenes Gegenstück ist. Dieser Zusammenhang wird im Allgemeinen angenommen, ist aber bisher nicht systematisch überprüft worden (Howarth, 2011; Lambooj et al., 2009). In Anlehnung an Lambooj et al., (2009) soll in der vorliegenden

Arbeit daher die Unterscheidung zwischen visueller Ermüdung und visuellem Unbehagen konsequent beibehalten werden. So kann durch die Messung subjektiver Parameter visuellen Unbehagens (HRV, EDA, EMG, Pupillendurchmesser, Blinzelrate) einen Hinweis auf objektiv messbare visuelle Ermüdung liefern.

Asthenopie bezeichnet dabei den allumfassenden diagnostischen Begriff (formal ICD-9 368.13) für Sehermüdungen und -beschwerden und kann sich auf die Augen direkt beziehen, als allgemeiner Kopfschmerz diffus sein oder im Nacken und in den Schultern auftreten. Dabei ist die Augenermüdung ein sehr häufiges Symptom bei Computernutzern und anderen Personen mit anspruchsvollen visuellen Tätigkeiten auf kurzer Distanz (Nahar et al., 2007). Auch wenn in der Vergangenheit viel zur Asthenopie, insbesondere zur Messung und Vorbeugung von Asthenopie, geforscht wurde, bleibt ihre Konzeptualisierung weitestgehend mehrdeutig (Watten, 1994). Eine allgemeingültige Definition gibt es bislang nicht. Darüber hinaus stellt, trotz der Bekanntheit, die visuelle Ermüdung auch bei neuen HMDs weiterhin ein Problem dar, insbesondere bei stereoskopischen HMDs (Fuchs, 2017).

Unabhängig der Nutzungsdauer von 10, 45 oder 50 Minuten zeigen Videospiele in VR, dass bestimmte okulomotorische Funktionen, wie die Akkommodation und Konvergenz, im Vergleich zu einer Baselinemessung beeinflusst werden (Alhassan et al., 2021; Souchet et al., 2022). 40 Minuten nach der VR-Nutzung waren die Werte wieder auf dem Ausgangsniveau. Des Weiteren konnte in der Studie von Souchet et al. (2022) auch gezeigt werden, dass eine Exposition in VR von weniger als 10 Minuten keinen Einfluss auf das visuelle System des Nutzers hatte, während sich bei einer Dauer von 10 und 50 Minuten die Vergenz und Akkommodation nicht unterschiedlich veränderten. Vergleichbare Forschungsarbeiten, die sich mit den Auswirkungen von VR-basierten Videospiele auf die Vergenz und Akkommodation beschäftigen, werden in mehreren Forschungsarbeiten, teils mit widersprüchlichen Ergebnissen, vorgestellt. Munsamy et al. (2020) untersuchten die Veränderung der Akkommodations- und Vergenzfunktion vor und nach einer Exposition in einer virtuellen Realität für die Dauer von 25 Minuten. Hierbei konnte keine Abnahme der Akkommodations- und Vergenzfunktion festgestellt werden. In einer Untersuchung von Long et al. (2020) konnte gezeigt werden, dass sich die akkommodativen Fähigkeiten nach 10 Minuten zweimal täglicher Nutzung und über den Zeitraum von zwei Wochen signifikant verbesserte. Die Werte zu Sehschärfe und Refraktionsfehler waren unverändert. Zudem wurden keine Veränderungen der Pupillengröße und der visuellen Ermüdung festgestellt.

Vergence- Accommodation-Conflict

Der VAC, der manchmal auch als "Accommodation-Vergence-Mismatch" bezeichnet wird, ist ein bekanntes Problem, welches nur beim binokularen Sehen auftritt (Cakmakci & Rolland, 2006; Condino et al., 2020). Hierbei handelt es sich um Symptome die während oder nach einer Exposition mit virtuellen Umgebungen auftreten können. Schätzungen zufolge sind etwa 30–80 % der Personen davon betroffen. Besonders Frauen sind anfällig für diese Symptome (Grassini & Laumann, 2021).

Einen empirischen Nachweis des VAC als potentieller Auslöser für Ermüdungserscheinungen gelang Hoffman et al. (2008) anhand einer Versuchsreihe mit einem volumetrischen Display. Dabei wurde der Einfluss des VAC auf die räumliche Wahrnehmung, die binokulare Fusion und subjektive Ermüdungserscheinungen mittels unterschiedlicher Fragebögen untersucht. An zwei aufeinanderfolgenden Tagen wurden die Probanden mit unterschiedlichen Szenarien konfrontiert. An Tag eins wurden den Probanden Stereobilder gezeigt, die den Konflikt stimulieren sollten (cues-inconsistent), indem die Fokusebene auf die mittlere Entfernung fixiert war und die Vergenzebene $\pm 0,67$ Dioptrin davon abwich. An Tag zwei sahen sie Stereobilder ohne die Provokation des Konflikts (cues-consistent), bei denen die Fokus- und Vergenzebene in einer von drei Entfernungen übereinstimmte. Die Teilnehmer bewerteten eine Reihe von Symptomen, die alle im Modus der inkonsistenten Cues etwas schlechter waren als im Modus der konsistenten Cues. Um den VAC zu verstehen, soll im Folgenden insbesondere der Zusammenhang zwischen der Akkommodation und der Vergenz dargestellt werden. Bei dem physiologischen Vorgang wirken viele verschiedene Prozesse simultan und in einer wechselseitigen Beziehung zueinander. Die Reizleitung auf neuronaler Ebene ist noch nicht in Gänze erforscht, daher sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass einzelne Aspekte nicht in aller Vollständigkeit betrachtet werden können.

Bei der Akkommodation und Vergenz handelt es sich um zwei duale und parallel ablaufende Regelsysteme der Augen, die über Querverbindungen interagieren. Beide Systeme reagieren hierbei über Distanzinformationen, wie z. B. bildliche Tiefenhinweise in Form von Objektgröße und Hinweise auf Bewegung in der Tiefe (Lambooi et al., 2009). Während bei dem natürlichen Sehen in der Realität diese beiden Systeme (Vergenz und Akkommodation) auf die gleiche Entfernung konvergieren und akkommodieren, ist die Entfernung, des durch Akkommodation und Vergenz wahrgenommenen Objektes bei HDMs unterschiedlich (Lambooi et al., 2009; Shibata et al., 2011). Das über ein HMD projizierte Bild befindet sich

auf einer festen Brennweite, was eine feste Akkommodation in der gegebenen Brennweite erfordert. Die Vergenz dagegen ist auf das virtuelle Objekt im Raum gerichtet. Infolgedessen werden die natürlich gekoppelte Akkommodation und Vergenz in stereoskopischen Darstellungen zwangsläufig entkoppelt, was den VAC, schematisch dargestellt in der Abbildung 2, verursacht (Lambooij et al., 2009).

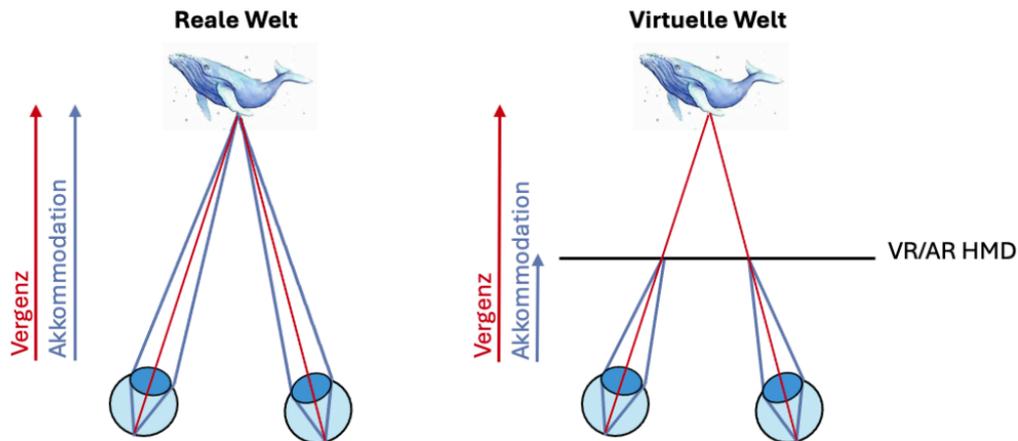


Abbildung 2: Schematische Darstellung des VACs. links: das natürliche Sehen, rechts: Virtuelle Realität. Eigene Darstellung angelehnt an Peillard et al., (2020, S. 4)

Unabhängig davon, ob herkömmliche HMDs monokular oder binokular, durchsichtig oder immersiv sind, haben sie alle gemeinsam, dass sie nicht in der Lage sind, korrekte Fokushinweise für digitale Informationen wiederzugeben, die sich in verschiedenen Entfernungen von der virtuellen Bildebene befinden können. Das binokulare Sehen wird simuliert, indem für jedes Auge des Benutzers links und rechts versetzte Bilder angezeigt werden. Dementsprechend verschmilzt das visuelle System die linken und rechten Bilder, um eine einzige dreidimensionale virtuelle Umgebung zu schaffen. Die simulierte Tiefe wird durch Veränderung des Versatzes (Disparität) zwischen den auf jedes Auge projizierten linken und rechten Bildern erzeugt. Ist die Disparität klein, erscheint ein Objekt in der Nähe, ist die Disparität groß, erscheint das Objekt weiter weg. Dementsprechend kann die Vergenz in verschiedenen Tiefen stattfinden, die in der virtuellen Umgebung simuliert werden. Die Akkommodation findet jedoch in der Regel in der Tiefe des Bildschirms statt und unterscheidet sich von den Tiefen, die während einer VR-Erfahrung simuliert werden. Daher können herkömmliche HMDs keine natürliche Anpassungsreaktion der Augen (Akkommodation) und auch keine Unschärfefeffekte auf der Netzhaut stimulieren (Szpak et

al., 2019). Bei den leistungsstarken Objektiven, die üblicherweise in HMDs verwendet werden, können bereits kleine Diskrepanzen bei der Platzierung der einzelnen Bildschirmlinsen, die durch einen Fehler des Herstellers oder aber einen Fehler bei der Fokussierung der Nutzenden verursacht werden, die Fokustiefe des Bildes um ein paar Dioptrien verändern. In der Folge kann es zu einem binokularen Akkommodationsreiz oder, wenn die Verschiebung zwischen den beiden Bildschirmen ungleich ist, zu einem ungleichen anisometropen Akkommodationsreiz bei beiden Augen führen (Marran & Schor, 1997).

Das Fehlen korrekter Fokushinweise in HMDs führt zu mehreren Konflikten bei den visuellen Hinweisen. Ein Konflikt bei transparenten AR-Displays, egal ob sie monokular oder binokular sind, besteht in der Diskrepanz der Akkommodationshinweise zwischen dem virtuellen und dem realen Objekt. Wenn sich reale und virtuelle Bilder auf unterschiedlichen Fokusebenen befinden, können beide nicht gleichzeitig scharf sein, obwohl sie sich an ähnlichen Orten im Raum zu befinden scheinen (Liu, Cheng & Hua, 2008). Das Gehirn des Betrachters wird so gezwungen, sich unnatürlich an widersprüchliche Signale anzupassen. Die Fusionszeit der binokularen Bilder wird dadurch erhöht, während gleichzeitig die Fusionsgenauigkeit abnimmt (Bharadwaj & Candy, 2009). Das Eintauchen in eine virtuelle Umgebung kann zu visueller Müdigkeit oder Athenopie führen. Nach Evans (2007), der sich auf die *American Optometric Association* beruft, entspricht diese Müdigkeit im Allgemeinen der Ermüdung der Augen und Kopfschmerzen. Sheppard und Wolffsohn (2018) nennen diesbezüglich die Symptome: Augenermüdung, Kopfschmerzen, verschwommenes Sehen, trockene Augen und Schmerzen im Nacken und in den Schultern. Die subjektive Bewertung dieser Symptome ist visuelles Unbehagen. Eine visuelle Ermüdung ist nicht auf rein extrinsische Faktoren zurückzuführen, sondern auf eine Schwäche der Augen oder des Sehvermögens in Form einer visuellen oder okulären Anomalie. Lambooi et al. (2009) weisen in ihrem Review darauf hin, dass eine übermäßige Beanspruchung des visuellen Systems eine physiologische Stressreaktion hervorruft. Die Autoren haben das Phänomen der visuellen Ermüdung im Zusammenhang mit der Nutzung digitaler Medien untersucht und konnten zeigen, dass ein großer Teil der Bevölkerung gefährdet ist. VR- oder AR-basierte Geräte wurden hierbei allerdings nicht untersucht oder bewertet.

Anders Terzic und Hansard (2017) beleuchten in ihrem Review die Ursachen von Sehstörungen sowie potenzielle zukünftige Probleme im Zusammenhang mit HMDs, die stereoskopische Inhalte darstellen. Darunter der durch die Stereoskopie induzierte VAC

(Brunnström et al., 2017; Iskander, Hossny & Nahavandi, 2019; Kuze & Ukai, 2008; Lambooi et al., 2009; Matsuura, 2019; Penn et al., 2018; Ukai & Howarth, 2008). Während diese Probleme sowohl in AR als auch VR auftreten können, kommt bei AR eine weitere Belastung der Augen durch den Wechsel von Realität und der virtuellen Realität hinzu. Es wird vermutet, dass in einer AR-basierten Anwendung dieses Problem gravierender ist, als in VR, da das augmentierte Bild die reale Welt mit korrekten Tiefenangaben überlagert (Xiong et al., 2021). Diese Einschränkung wird noch verschärft, wenn ein relativ nahes reales Objekt durch ein virtuelles Bild oder eine virtuelle Information ergänzt wird, wie z. B. in der chirurgischen Ausbildung oder beim Experimentieren (Liu et al., 2008).

Iskander et al. (2019) konnten zeigen, dass der reale Vergenzwinkel während der Immersion signifikant höher war als der berechnete ideale Vergenzwinkel. Zudem wies dieser eine deutlich höhere Variabilität auf. Darüber hinaus scheint der VAC zu einem gewissen Grad von der Dynamik, mit der sich Objekte in der Tiefe ändern, abhängig zu sein (J. Kim, Kane & Banks, 2014). Auch die Fähigkeit der Benutzer, virtuelle Objekte mit den Augen zu manipulieren und somit die Möglichkeit der Interaktion durch den Blick, wie es bei den neuen AR-Brillen möglich ist, nimmt mit zunehmender Tiefe ab (Shibata et al., 2011). In einer anwendungsorientierten Studie untersuchten Szpak et al. (2019) visuelle und kognitive Effekte bei der Verwendung von HDMs und deren Zusammenhang mit der Angabe von Krankheitssymptomen, welche über den Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) erhoben wurden. Hierbei zeigten Veränderungen in der Akkommodation, aber keine gleichzeitige Veränderung in der Vergenz. Was aller Wahrscheinlichkeit nach auf die Entkopplung der Akkommodation und der Vergenz in VR zurückzuführen ist. Darüber hinaus korrelierte die Schwere der Krankheitssymptome mit einer größeren Veränderung der Akkommodation. Dies deutet den Autoren zu Folge darauf hin, dass die Entkopplung von Akkommodation und Vergenz deutlich nachteiliger für die Nutzenden sein könnte als bisher angenommen.

In den meisten Studien wurde der VAC mit Hilfe von Disparitätsbildern und sphärischen Linsen oder in VR-Umgebungen provoziert und nachgewiesen. Studien zur Kombination von realen und virtuellen Objekten in AR sind nicht existent. Wie bereits beschrieben wird das Auge der Nutzer bei der Betrachtung von AR-Inhalten mit einem transparenten Display aufgefordert, sich an die semitransparente Projektionsfläche anzupassen, um die virtuellen Informationen in den Fokus zu bringen, und gleichzeitig ist es gezwungen, sich an die Tiefe des realen 3D-Objekts anzupassen, auf das die digitalen Informationen überlagert werden

(Condino et al., 2020). Der Abstand zwischen dem virtuellen 2D-Bild auf dem semitransparenten Display und dem realen Objekt kann größer sein, als das menschliche Auge gleichzeitig aufnehmen können, was zu einer fokalen Rivalität (FR) (Oshima et al., 2016) führt, wenn der Benutzer versucht, gleichzeitig die reale Umgebung und die Daten der virtuellen Realität gleichzeitig zu betrachten (Hua & Javidi, 2014; Hua, 2017).

Laut Hughes et al. (2020) ist die mögliche physiologische Fehlanpassung nach längerer AR-Exposition, die sich von derjenigen bei der Exposition gegenüber VR unterscheiden dürfte, ein besorgniserregender Bereich. Eine solche Fehlanpassung wird möglicherweise durch Einschränkungen in Bezug auf die Art und das Ausmaß der Wahrnehmungsprobleme verursacht, die für HMDs charakteristisch sind. Darunter fallen Diskrepanzen zwischen visuell dargestellten Informationen und anderen Sinnen, ein eingeschränktes Sichtfeld oder etwa ein unangepasster Augenabstand. Die damit verbundenen Wahrnehmungseinschränkungen können sich so negativ auf den Lernerfolg auswirken (Hughes et al., 2020).

VAC und FR sind ein großes Problem bei manuellen Präzisionsaufgaben, z. B. bei der AR-geführten Chirurgie (Kramida, 2016; Shao et al., 2014), wo virtuelle Daten und Informationen genau auf das reale Ziel ausgerichtet werden müssen. Gleiches gilt für exakte Bewegungsausführungen im Bereich Sport. Mehrere Studien haben bereits die negativen Auswirkungen von FR- und VAC-Konflikten auf die visuelle Ermüdung und das Scheitern der Fusion gezeigt (Hoffman et al., 2008; Lambooy et al., 2009; Renner, Velichkovsky & Helmert, 2013; Wann, Rushton & Mon-Williams, 1995), wobei auch eine Verringerung dieser Effekte festgestellt wurde, sobald eine Fokuskorrektur durchgeführt wurde (Hoffman et al., 2008). Die meisten kommerziell erhältlichen Systeme wie die HoloLens von Microsoft, Lumus Meta, und Ora-2, haben eine feste Fokusebene von 2 m oder mehr (oft unendlich). Bei einer manuellen Aufgabe werden so virtuelle Inhalte außerhalb der Schärfentiefe des Auges des Benutzers projiziert, was eine FR zwischen realen und virtuellen Inhalten und dem bekannten VAC führt. Die Nichtbeachtung der Herstellerrichtlinien (z. B. empfiehlt Microsoft für die HoloLens 1 AR-Inhalte nicht näher als 1.25 m zu projizieren) führt nicht nur zu visueller Ermüdung, sondern auch zu einer nachweislichen Verringerung der Leistung des Nutzers bei der Erledigung einer Aufgabe, die es erfordert, sowohl das Reale als auch das Virtuelle gleichzeitig im Fokus zu behalten, z. B. um Punkte mit einer Linie zu verbinden (Condino et al., 2020) oder um virtuelle und reale Informationen für eine Leseaufgabe zu integrieren (Hua, 2017).

Eine 2020 publizierte Studie konnte einen signifikanten Einfluss des wahrgenommenen visuellen Unbehagens und der mentalen Arbeitsbelastung auf die Leistung des Benutzers während der Ausführung einer AR-geführten manuellen Aufgabe mit der Microsoft HoloLens der ersten Generation zeigen (Condino et al., 2020). Es konnte festgestellt werden, dass die Leistung des Benutzers bei den Tests mit bloßem Auge signifikant besser war als bei AR-geführten Aufgaben. Die Wirkung des VACs wurde bei solchen Studien in der Regel anhand von Fragebögen bewertet. Diese haben den großen Nachteil, dass sie für alle üblichen Fallstricke subjektiver Messungen anfällig sind. Die Untersuchung der physiologischen Reaktion auf visuelles Unbehagen konzentrierte sich meist auf EEG/ERP und okulomotorische Reaktionsanalysen im Zusammenhang mit passiven 3D-Seherfahrungen und VR (Frey, Pommereau, Lotte & Hachet, 2014; Iatsun, Larabi & Fernandez-Maloigne, 2013; Mun et al., 2012). Ob sich das empfundene visuelle Unbehagen bei AR-Aufgaben und die daraus resultierende Leistungsver schlechterung auch auf die Aktivität des autonomen Nervensystems (ANS) auswirkt, wurde hingegen nur am Rande untersucht (C. J. Kim et al., 2013; Kramida, 2016; Oyamada et al., 2007). Das ANS spielt jedoch eine entscheidende Rolle bei Stress, geistiger Ermüdung und Arbeitsbelastung (Greco et al., 2019; Vernet-Maury et al., 1993).

Für eine fehlerhafte Tiefenwahrnehmungen in AR-Umgebungen sind Kruijff, Swan und Feiner (2010) zu Folge verschiedene Ursachen verantwortlich. Ein Wahrnehmungsproblem kann nicht nur durch die Kombination von realen und virtuellen Objekten oder Informationen verursacht werden, sondern auch in der Repräsentation der virtuellen Welt selbst begründet sein. Dies ist der Fall, wenn virtuelle Elemente nicht realitätstreu dargestellt werden und Tiefenhinweise fehlen. Es wird davon ausgegangen, dass das Sichtfeld des rechten Auges die gespiegelte Version des linken Auges ist. Das kombinierte binokulare Gesichtsfeld entlang des horizontalen Meridians wird dann durch Verdoppelung des größeren Winkels entweder aus der temporalen oder nasalen Richtung berechnet. Um die binokulare Kontur zu erhalten, werden die monokularen Sichtfelder zusammengeführt, indem der Maximalwert von jedem Auge entlang jedes Meridians genommen wird. Die binokulare Überlappung ist der Bereich des binokularen Gesichtsfelds, der von beiden Augen gleichzeitig gesehen wird. Zur Quantifizierung berechnen wir das Verhältnis zwischen dem überlappten Bereich und dem binokularen Bereich. Diese Berechnungen beruhen auf der Annahme einer perfekten IPD-Ausrichtung, d. h. das Zentrum des Gesichtsfeldes der Testperson ist bei geradem Blick auf

das Zentrum des Gesichtsfeldes des Headsets ausgerichtet. Bei der Tiefenwahrnehmung und der Anpassung an die Umgebung erfüllt das okulomotorische System eine wesentliche Rolle. Unter natürlichen Sehbedingungen sieht das rechte Auge eine rechte Ansicht der Umwelt und das linke Auge eine linke. Das Gehirn verschmilzt diese beiden versetzten Blickwinkel zu einer nahtlosen dreidimensionalen Perspektive der Welt – bezeichnet wird dies als binokulares Sehen (Mon-Williams & Wann, 1998; Szpak et al., 2019). Während der binokularen Fixation sind die okulomotorischen Funktionen wie Vergenz und Akkommodation dafür verantwortlich, dass ein einziger klarer Brennpunkt auf der Netzhaut erreicht wird. Die Vergenz beschreibt dabei die Winkeleinstellung und somit die Drehung der Augen nach innen. Dies ist essenziell, um ein einziges verschmolzenes Bild am Fixationspunkt zu erhalten. Passiert dies nicht, führen Vergenzfehler zu einer Diplopie (Doppelsehen). Im Zusammenspiel mit der Akkommodation, bei der der Ziliarmuskel kontrahiert und der Krümmungswinkel der Linse sich verändert, wird die Brechkraft des Auges angepasst, um ein klares Netzhautbild eines Zielobjektes zu gewährleisten. Fehler der Akkommodation führen zu verschwommenem Sehen. Vergenz und Akkommodation sind aufgrund von Lebenserfahrungen (Fincham & Walton, 1957) und ihrer physiologischen Reaktionen synergistisch eng miteinander gekoppelt, sodass Änderungen der Sehentfernung zu Änderungen beider Mechanismen führen (Banks et al., 2016; Mon-Williams & Wann, 1998; Vishwanath & Blaser, 2010). Die entkoppelten Vergenz- und Akkommodations-Tiefeninformationen könnten sich auch indirekt auf die wahrgenommene Tiefe auswirken, indem sie mit der binokularen Disparität interagieren und zu konvergenzinduzierten Akkommodation oder umgekehrt zu einer akkommodationsinduzierter Vergenz führen (Inoue & Ohzu, 1997; Vienne et al., 2014). In der Regel tritt die konvergenzinduzierte Akkommodation auf, wenn das Auge auf ein virtuelles Objekt in unterschiedlichen Tiefen konvergiert. Dies geschieht jedoch mit deutlich geringerer Stärke als die tatsächliche Tiefenvariation der Konvergenz. Die konvergenzinduzierte Akkommodation tritt in der Regel auf, wenn das Auge auf virtuelle Objekte in unterschiedlichen Tiefen konvergiert, jedoch mit deutlich geringerer Stärke als die tatsächlichen Konvergenztiefenvariationen (Inoue & Ohzu, 1997; Takeda et al., 1999).

Konzentrationsfähigkeit

Eine der primären Anwendungen von AR im Sporttraining ist die gezielte Steuerung der Aufmerksamkeit von Athleten durch visuelle Hinweise über ein AR-HMD (Geisen & Klatt, 2022; Soltani & Morice, 2020). Unterschiedliche visuelle Reize können die selektive Aufmerksamkeit lenken und somit die Wahrnehmung relevanter Informationen in einer Aufgabe unterstützen und ihre Leistung optimieren (Bos et al., 2019; Geisen & Klatt, 2022; Soltani & Morice, 2020). Laut Abernethy (2001) ist eine effektive sportliche Leistung abhängig von der gezielten Lenkung der Aufmerksamkeit auf relevante Merkmale, was aufgrund der hohen Informationskomplexität in den meisten Sportarten entscheidend ist.

Sowohl Aufmerksamkeit als auch Konzentration sind wesentliche kognitive Funktionen, die das menschliche Informationsverarbeitungssystem steuern. Dabei wird im Alltag zwischen den beiden Begriff meist nicht klar differenziert (Westhoff & Hagemeister, 2001). Aufgrund ihrer vielfältigen Bedeutungen gibt es zudem weder für das Konstrukt Aufmerksamkeit noch die Konzentration eine allgemeingültige und operationalisierbare Definition (Westhoff & Hagemeister, 2001). Dennoch lässt sich die Aufmerksamkeit immer auf das Wahrnehmen und die Konzentration auf das Arbeiten und Handeln (Handlungskontrolle) (Westhoff & Hagemeister, 2001) beziehen.

Die Auswahl der richtigen Informationen stellt eine kontinuierliche Herausforderung dar und bildet einen zentralen Bestandteil sämtlicher Sportarten und Disziplinen (Moran & Toner, 2018). Die Aufmerksamkeit spielt dabei eine entscheidende Rolle, indem sie hilft, relevante Informationen aus der Umgebung auszuwählen, die mit inneren Zuständen in Einklang stehen (Moran, 2012). Ein Beispiel aus dem Bereich des Handballs verdeutlicht diesen Prozess: Bevor ein Spiel beginnt, konzentrieren wir uns darauf, die Anweisungen des Trainers genau zu verstehen, anstatt darüber nachzudenken, wie wir den Gegner besiegen können (Kiss & Balogh, 2019). Aufmerksamkeit ist ein vielschichtiger Begriff, der drei Hauptarten umfasst. Selektive Aufmerksamkeit ermöglicht es uns, relevante Informationen für eine bestimmte Aufgabe herauszufiltern, während wir störende Reize ignorieren. Geteilte Aufmerksamkeit ist eine geistige Fähigkeit, die es uns ermöglicht, mehrere Aktivitäten gleichzeitig auszuführen. Konzentration hingegen bezieht sich auf die bewusste Entscheidung einer Sportlerin oder eines Sportlers, die geistige Energie auf bestimmte Informationen zu lenken. Die Konzentration kann hier auch als anhaltende Aufmerksamkeit oder tiefe Fokussierung auf einen bestimmten Aspekt betrachtet werden (Kiss & Balogh, 2019). Die Fähigkeit, die

Aufmerksamkeit zu fokussieren und aufrechtzuerhalten, unterscheidet erfolgreiche Sportler voneinander (Moran & Toner, 2018).

Eine Person gilt als effizient, wenn sie Arbeitsaufgaben schnell und genau erledigen kann. Studien belegen, dass Unterschiede in der Konzentrationsfähigkeit durch Variationen in den Aufgabenanforderungen bedingt sein können. Diese Variationen betreffen beispielsweise die Komplexität der Stimulusgrundlage und die Reaktionsanforderungen (Westhoff & Kluck, 1984) sowie die Notwendigkeit zur Sequenzierung und Koordination kognitiver Teilprozesse (Bühner et al., 2005; Oberauer et al., 2003; Schmidt-Atzert, Bühner & Enders, 2006). Demzufolge ist Konzentration ein Aspekt der Intelligenz, der je nach Aufgabenanforderungen perzeptuelle, zentral-koordinierende und motorische Prozesse umfasst (Miyake et al., 2000; Oberauer et al., 2003; Schmiedek et al., 2007; Schweizer, Moosbrugger & Goldhammer, 2005). Meist finden hierbei Testverfahren Anwendung, die die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung und Konzentration testen (Pieters & van der Ven, 1982; Westermann, 1985).

Studien aus dem Bereich der kognitiven Neurowissenschaft zeigen, dass visuelle Prozesse, die für ein klares und stabiles binokulares Sehen verantwortlich sind, kognitive Prozesse und die Aufmerksamkeitsleistung beeinflussen können (Daniel & Kapoula, 2016, 2019; Szpak et al., 2019). In ihrer Untersuchung im Jahr 2016 demonstrierten Daniel und Kapoula durch die Anwendung von Prismen zur Induktion des VAC, dass sich die Fehlerquote erhöhte. Dies deutet darauf hin, dass eine Verbindung zwischen der Fähigkeit zur Konvergenz und der Interferenzleistung im Stroop-Test besteht. Sie führen dies auf die Tatsache zurück, dass die Vergenzkontrolle und die kognitiven Funktionen dieselben kortikalen Areale mobilisieren, zum Beispiel die parietofrontalen Areale. Darüber hinaus wurde in Studien gezeigt, dass Schwierigkeiten mit der Akkommodation, der Vergenz oder einer ineffektiven Synergie zwischen beiden die Lesefähigkeit signifikant beeinträchtigen können. Tatsächlich haben einige Untersuchungen darauf hingewiesen, dass eine unzureichende Koordination der sakkadischen Augenbewegungen während des Lesens häufig bei Personen mit Vergenzstörungen auftritt (Bucci et al., 2011).

Souchet et al. (2018; 2019) haben die Auswirkungen der visuellen Ermüdung im Kontext Lernen und Lernerfolg in VR untersucht. Dabei haben sie sich in zwei unterschiedlichen Experimenten das Erlernen von Vorstellungsgesprächen mit einem Serious Game angeschaut. Obwohl die visuelle Ermüdung in der HMD-Gruppe höher und die Erfahrungen geringer

waren, kann in dieser Gruppe eine bessere Lernkurve nachgewiesen werden. Somit scheint die visuelle Ermüdung zwar die Erlebnisqualität, nicht aber das Lernen negativ zu beeinflussen.

Auch wenn die Evidenz hierzu noch nicht ausreichend vorhanden ist, weisen einige wenige Studien auf die Risiken einer kognitiven Überlastung im Zusammenhang mit einer visuellen Ermüdung hin (Souchet et al., 2022). Arbeiten, die sich auf Gehirnaktivitäten während der Ausführung von visuell stressauslösenden Aufgaben konzentrierten, zeigen, dass die visuelle Ermüdung eine zusätzliche Belastung für das Arbeitsgedächtnis darstellen und so die Lernleistung beeinträchtigen kann (D. Kim et al., 2011; Leigh & Zee, 2015). Ein Aspekt, der sicherlich im Kontext Sport das Bewegungslernen und die Verbesserung einer bestimmten Technik diskutiert werden sollte, da über das Arbeitsgedächtnis Wahrnehmungsinhalte und aktivierte Gedächtnisinhalte miteinander kombiniert und notwendige Anforderungsinformationen für die momentanen bzw. die folgenden Aufgaben bereitgestellt werden. So steuern und beeinflussen aktivierte Inhalte des Arbeitsgedächtnisses die Orientierung der Aufmerksamkeit (Knudsen, 2007; Soto et al., 2008). Darauf aufbauend konnten Furley und Memmert (2013) im Bereich Sport zeigen, dass Informationen im Arbeitsgedächtnis die Ausrichtung der Aufmerksamkeit beim Treffen von taktischen Entscheidungen beeinflussen. Gewisse Entscheidungen werden so schneller getroffen und sind adäquater als andere. Im Zusammenhang mit dem Lernen in VR, scheinen, sowohl, was die kognitive Belastung als auch für die visuelle Ermüdung anbelangt, keine evidenzbasierten Beiträge vorzuliegen. Dennoch weisen einzelne Studien auf Risiken einer kognitiven Überbelastung und visuellen Ermüdung hin. Studien, die sich lediglich auf eine kognitive Überbelastung basierend auf der Theorie des Cognitive Load in AR konzentrieren findet man insbesondere im Kontext Lernen (Thees et al., 2020); mögliche visuelle Überbelastungen werden allerdings dort nicht berücksichtigt. Obwohl visuelle Ermüdung sich negativ auf das Arbeitsgedächtnis auszuwirken scheint, muss der Lernerfolg davon nicht immer tangiert sein (Souchet et al., 2022). Während der Exposition in die VR werden, nur in seltenen Fällen Live-Daten erhoben, vielmehr bestehen die meisten Versuchsparadigmen aus der Messung der kognitiven Belastung sowie der visuellen Ermüdung vor und nach der Nutzung. Neben der Bewertung und Analyse von Leistungsindikatoren wie z. B. der Fehlerquote oder der Zeit bis zur Lösungsfindung, können insbesondere auch Fragebögen oder Interviews zum Einsatz kommen und Aufschluss über das Ausmaß der subjektiv empfundenen Stressbelastung geben

(Guzsvinecz et al., 2020). Eine weitere Möglichkeit besteht in der Beobachtung und Auswertung physiologischer Veränderungen wie z. B. der Augenbewegungen (Card, Moran & Newell, 1986).

Es ist unklar, inwieweit die Exposition in AR, bei der der VAC kontinuierlich induziert wird *Defizit* einen Einfluss auf die Kognition, insbesondere die Konzentrationsfähigkeit hat. Diese Frage gewinnt insbesondere vor dem Hintergrund an Bedeutung, dass der VAC das visuelle System belastet, da eine Diskrepanz zwischen der Akkommodationsreaktion und der Vergenzreaktion besteht. Obwohl das visuelle System diese Fehlanpassung teilweise kompensieren kann, wie bei Erwachsenen (Bharadwaj & Candy, 2009) nachgewiesen wurde, könnte diese Kompensationsanstrengung selbst visuelle Aufmerksamkeitsressourcen beanspruchen und sich somit negativ auf kognitive Prozesse wie die Konzentrationsfähigkeit auswirken.

KAPITEL 3

METHODE

Um die Fragen nach dem Einfluss des VAC unter verschiedenen Bedingungen auf die Augen und das Wohlbefinden zu untersuchen, wird nachfolgend das methodische Vorgehen der einzelnen Untersuchungen dargelegt. Grundlage bilden dabei die neun Klassifikationskriterien für Untersuchungsdesigns, wie sie bei Döring und Bortz (2016, S. 183) zu finden sind. Bei dem wissenschaftstheoretischen Ansatz aller durchgeführten Studien handelt es sich um ein Mixed-Method Design, bei der die Kombination einer qualitativen und quantitativen Vorgehensweise vorliegt. Die Analyse qualitativer und quantitativer Daten verdoppelt nicht nur die Auswertung, sondern berücksichtigt darüber hinaus auch die Interaktion zwischen den beiden Datensträngen und liefert so zusätzliche Informationen (Bortz, 1993; Döring & Bortz, 2016; Kuckartz, 2014), mit dem Ziel des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns in Bezug auf die methodenadäquate Gestaltung sport- und trainingsspezifischer Anwendungen mit Smartglasses. Allgemein handelt es sich bei allen Untersuchungen um empirische (Original-)Studien mit eigenem Studiendesign und den resultierenden Daten zur Lösung des inhaltlichen Forschungsproblems. Während es sich bei der ersten Studie an Tag eins um eine quasiexperimentelle und an Tag zwei um eine randomisiert kontrollierte Studie (with-in-subject und between subject) handelt, wurde bei der zweiten und dritten Studie ein quasiexperimentelles Design gewählt.

Um mögliche Umwelt- bzw. untersuchungsbedingte Störvariablen weitestgehend auszuschließen und eine hohe interne Validität zu generieren fanden alle Untersuchungen im Labor 165 (Gebäude 57) an der RPTU statt.

Basierend auf bereits vorhandenen Studien wird insbesondere der Aufbau und die Auswahl und Voraussetzungen der Erhebungs- und Messinstrumente im Folgenden detailliert vorgestellt. In den sich anschließenden Kapiteln werden der Ablauf, die Stichprobe, die Datenerhebung und die Ergebnisse für die Studie 1 (Kapitel 4), Studie 2 (Kapitel 5) und Studie 3 (Kapitel 6) ausführlich dargestellt und diskutiert. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Datenanalyse aller Studien in Zusammenhang gebracht und diskutiert.

3.1 Verwendete Messtechnik und Messsysteme

In allen drei Untersuchungen wurde die von Microsoft entwickelte HoloLens 2 verwendet. Die Unity-Software (Unity Technologies, Version 2021.1.0, San Francisco, USA) wurde verwendet, um HoloLens-Anwendungen (Apps) zu erstellen und die HoloLens mit der Eye-Tracking-Software von Pupil Labs (Berlin, Germany) zu verbinden. Mit Hilfe des Kioskmode,

der die Steuerung der HoloLens über den Laptop ermöglicht, war für die Probanden keinerlei Interaktion zum Starten der einzelnen Anwendungen nötig.

Eyetracking – Pupillometrie

Sowohl die Veränderung der Augen als auch das Wohlbefinden lassen sich mit Hilfe des Eyetrackings quantifizieren. In der Forschung wird die Veränderung des Pupillendurchmessers als Marker für kognitive Belastung, Aufmerksamkeit und geistige Beanspruchung verwendet. Von Erregung, Interesse und Anstrengung bis hin zu sozialen Entscheidungen, können Veränderungen der Pupillengröße verschiedene kognitive und emotionale Zustände widerspiegeln (Sirois & Brisson, 2014). Gleichzeitig ist die Größe der Pupille ein zuverlässiges Maß für den Grad der Müdigkeit und wird als Sicherheitsindex beim Autofahren genutzt. Während bei Ermüdung der Pupillendurchmesser abnimmt (Morad et al., 2000) geht eine Erweiterung der Pupille mit einem erhöhten psychischen Stress einher (P. F. Lee & Lee, 2017; Yamanaka & Kawakami, 2009).

Um den Einfluss des VACs auf die Augen zu quantifizieren, wurden in der vorliegenden Arbeit zum einen Fragebögen und zum anderen das Eyetracking verwendet. Für die Datenerhebung wurde die Eyetracker Pupil Core der Firma Pupil Labs verwendet, welche neben der Hardware eine Open-Source-Plattform, die in der Regel für die Verbindung mit VR- und AR-Geräten verwendet wird (Jang et al., 2017; Kassner, Patera & Bulling, 2014; Pelargos et al., 2017). Mit Hilfe eines 3D Druckers wurden Halterungen für die Add-Ons-Elemente hergestellt, um die Eyetracker nach dem Vorbild der Add-Ons für die HoloLens 1 an der Brille zu befestigen (Abbildung 3). Die Add-On-Elemente enthalten drei Kameras, eine für die Weltsicht (Weltkamera) und die anderen beiden für die Verfolgung der Augenbewegung (Augenkameras), die Daten mit 120 Hz und einer räumlichen Genauigkeit von einem Grad aufzeichnet. Bei den verwendeten Eyetrackern der Firma Pupil Labs handelt es sich um ein infrarotbasiertes Verfahren. Wenn eine feste Lichtquelle auf das Auge gerichtet ist, variiert die Menge des Lichts, die zu einem festen Detektor zurückreflektiert wird, mit der Position des Auges. Dabei wird die diffuse Reaktion von Infrarot(IR-)licht an der Stirnfläche des Augapfels gemessen. Zur Beleuchtung wird eine Reihe von IR-Lichtquellen verwendet, während Fotodetektoren das reflektierte Licht empfangen und das Signal auffangen. Um die relative Augenrotation zu messen, verfolgen die Systeme den Limbus oder die Pupillen-Iris-Grenze (Singh & Singh, 2012).

Die Daten werden hierbei als kontinuierliches Signal über die Zeit dargestellt (Dan, Dinsoreanu & Muresan, 2020).

Um Änderungen des Pupillendurchmessers im Zeitverlauf zu analysieren und zu bewerten, wurde jede Datenaufzeichnung in 5 Blöcke à 60 Sekunden unterteilt. Schließlich wurde die Pupillendurchmesser beider Augen während den einzelnen Anwendungen und unterteilt in die einzelnen Blöcke vor der statistischen Analyse gemittelt (Maffei & Angrilli, 2019).

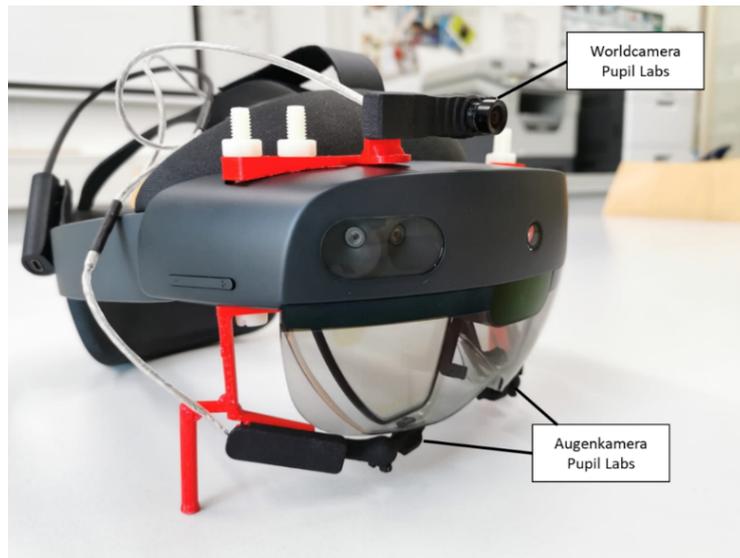


Abbildung 3: HoloLens 2 mit Pupil Lab Eye-Trackern

Herzratenvariabilität

Eine Möglichkeit die aktuelle Belastung nicht-invasiv und objektiv zu messen, ist die Analyse der Herzratenvariabilität (HRV) (Tümler et al., 2008). Die HRV spiegelt das autonome Gleichgewicht des Organismus wider, weshalb sie sich als ideales Messverfahren für psychophysiologische Tests sowie in virtuellen oder augmentierten Umgebungen bewährt hat (Tümler et al., 2008).

In Abhängigkeit des Belastungszustandes der untersuchten Person in situ unterliegt die Folge der einzelnen Herzschläge einer mehr oder weniger ausgeprägten Variabilität.

In der ersten Studie wurden daher die physiologischen Signale von 45 Teilnehmern aufgezeichnet. Anschließend wurden die aufgezeichneten Reaktionen während verschiedenen Zeitabschnitten, vor und während der Exposition in AR analysiert, um die psychophysiologischen Auswirkungen der Erfahrungen in AR auf die Teilnehmenden zu

bestimmen. In erster Linie sollen so die physiologischen Reaktionen als Bewertungsmethode dienen, um den Grad der Belastung auf das Wohlbefinden zu bestimmen, die die Probanden während der Exposition in AR erleben.

In der Literatur wird über eine Vielzahl an zeit- und frequenzbasierten Indikatoren berichtet, die aus einer Aufzeichnung extrahiert werden und die bei einer Bewertung helfen können (Malik et al., 1996; Xhyheri et al., 2012). Im Rahmen der ersten Untersuchung liegt der Fokus auf folgenden fünf Indikatoren². Dabei sind die mittlere HF (bpm) sowie die SDNN und der RMSSD, gemessen in Millisekunden, aus dem zeitbasierten, die letzten drei, gemessen in quadrierten Millisekunden, aus dem frequenzbasierten Bereich (Malik et al., 1996):

<i>Mittlere HF:</i>	<i>durchschnittliche Anzahl an Herzschlägen pro Minute</i>
<i>SDNN:</i>	<i>Standardabweichung der NN-Intervalle im Signal</i>
<i>RMSSD:</i>	<i>Differenz der aufeinander folgenden NN-Intervalle</i>
<i>LF:</i>	<i>Leistung des Signals im niederfrequenten Spektrum (0.04-0.15 Hz)</i>
<i>HF:</i>	<i>Leistung des Signals im hochfrequenten Spektrum (0.15-0.5 Hz)</i>
<i>LF/HF:</i>	<i>Quotient der sympathovagalen Balance</i>

Symptom- und Befindlichkeitsfragebögen

Zur Quantifizierung visueller Ermüdung und Belastung der Augen kommen neben dem Eyetracking oft Fragebögen zur Erfassung von Symptomen zum Einsatz. In zahlreichen einschlägigen Studien wurde der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) häufig als bevorzugte Methode zur Erfassung von Symptomen in virtuellen bzw. erweiterten Realitätsumgebungen verwendet (Bimberg, Weissker & Kulik, 2020). Trotz seiner Verbreitung weist der SSQ jedoch mehrere Einschränkungen auf, insbesondere wenn die Symptome geringfügig ausgeprägt sind. Der SSQ besteht aus 16 Items, die diverse körperliche Symptome im Zusammenhang mit Simulatorkrankheit erfassen. Diese Items werden im Anschluss gewichtet, um die drei Unterkategorien (Übelkeit, Okulomotorik und Desorientierung) zu bilden. Ein Problem in der Faktorenstruktur des SSQ liegt darin, dass bestimmte Symptome in mehreren Subkategorien vertreten sind. Die Teilnehmenden bewerten den Schweregrad

² Für eine genauere Erläuterung der einzelnen Parameter der HRV sei an dieser Stelle auf (Xhyheri et al. (2012) verwiesen.

ihrer Symptome auf einer vierstufigen Skala, die von "keine" (0), über "leicht" (1) und "mäßig" (2) bis "schwer" (3) reicht. Diese Bewertungen werden anschließend multipliziert, wodurch selbst "leichte" Einschätzungen rasch zu einem Wert von 10 oder höher führen können (Kaufeld et al., 2022). Da die mittels des SSQ erfassten Daten nicht intervallskaliert sind, erfüllen sie nicht die Voraussetzungen für die Durchführung einer Varianzanalyse (ANOVA). Konsequenterweise können streng genommen keine Mittelwerte berechnet werden (Kaufeld et al., 2022). Eine zusätzliche Einschränkung des SSQ liegt in seiner Länge, da er in der Regel 16 Items umfasst, was es unpraktisch macht, ihn während der Präsentation des Stimulus auszufüllen. Das Ausfüllen des Fragebogens während der Aufgabe könnte das Engagement der Teilnehmer beeinträchtigen und möglicherweise die Entwicklung von Reisekrankheitssymptomen beeinflussen, insbesondere im Kontext von AR. Die Symptome neigen dazu, sich rasch zu verringern, nachdem die Exposition gegenüber dem Stimulus endet (Cha et al., 2021). Um insbesondere den zweiten Aspekt während der Exposition in AR zu umgehen wurde der Fragebogen nach Hoffman et al. (2008) (Anhang I) verwendet. Der etwas umfangreichere Visual Fatigue Questionnaire (VFQ, Bangor, 2000), unter Berücksichtigung der deutschen Übersetzung durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA, 2016) (Anhang II) fand jeweils fünf Minuten nach und in der letzten Untersuchung vor der Versuchsdurchführung in AR statt.

Der Fragebogen von Hoffman et al., (2008) enthielt folgende Fragen:

Wie müde sind Ihre Augen?

Wie klar ist die Sicht?

Wie irritiert sind Ihre Augen?

Wie stark sind Ihre Nackenschmerzen?

Wie stark sind Ihre Rückenschmerzen?

Wie stark sind Ihre Kopfschmerzen?

Wie sehr ist Ihnen übel?

In allen Fällen wurden die Teilnehmer gebeten anzugeben, wie stark ihre Symptome unmittelbar nach dem jeweiligen Interventionstyp waren. Die Fragen 1, 2, 5 und 6 betrafen Symptome, von denen man annimmt, dass sie durch den VAC bei 3D-Displays beeinflusst werden. Frage 3 und 4 betraf den Nacken und den Rücken, die von dem Konflikt nicht

betroffen sein sollten. Analog zu der Vorgehensweise von Hoffman et al. (2008) in ihren Studien wurde untersucht, ob die Teilnehmenden auf jede Frage spezifisch in Bezug auf das abgefragte Symptom oder allgemeiner reagierten. Gleichzeitig wurde, ähnlich wie in der Studie von Shibata et al. (2011), der Fragebogen um das Item "Übelkeit" erweitert, und die Teilnehmenden wurden gebeten, sich selbst auf einer fünfstufigen Likertskala (Tabelle 1) einzuschätzen.

Tabelle 1: Skala des Symptomfragebogens

Bewertung	Verbal Report
1	keine
2	ok
3	leichte/moderat
4	mittel
5	schwer

Der VFQ, (Bangor, 2000, Adaption der deutschen Übersetzung durch BAuA, 2016) umfasst folgende 16 Fragen:

Ich habe trockene Augen

Meine Augen tränen

Meine Augen sind gereizt und brennen

Ich habe Schmerzen in meinen oder um die Augen

Ich habe schwere Augen

Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können

Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen

Text springt vor meinen Augen hin und her

Ich sehe Buchstaben oder Linien verschwommen

Ich werde durch Lichter oder freie Flächen geblendet

Ich habe eine verschwommene Sicht

Ich sehe Dinge doppelt

Ich habe Kopfschmerzen

Ich habe Nackenschmerzen

Ich verspüre Übelkeit

Ich verspüre geistige Ermüdung

Mein Gesicht ist schweißnass

Die Teilnehmer der drei Untersuchungen hatten die Auswahl einer Reihe an Aussagen, denen sie im Sinne von „lehne voll und ganz ab“, „lehne teilweise ab“, „teils/teils“, „stimme teilweise zu“, „stimme voll und ganz zu“, zustimmen oder die sie ablehnen konnten.

Die Zeitpunkte der Symptom- und Beschwerdeabfrage variierten in Abhängigkeit vom jeweiligen Studiendesign. Daher wird in den einzelnen Kapiteln der Studien auf die methodische Herangehensweise sowie den Ablauf der Untersuchungen in jedem einzelnen Fall verwiesen.

Determinationstest

Um die Konzentrationsfähigkeit zu testen wurde der Determinationstest (DT) des Wiener Testsystems eingesetzt. Der Test untersucht die Aufnahmekapazität, die reaktive Stresstoleranz unter kontinuierlich und schnellwechselnden akustischen und visuellen Reizen (Kiss & Balogh, 2019). Dabei stellt das Wiener Testsystems ein valides und reliables Testverfahren dar, mit dem die charakteristischen Persönlichkeitsmerkmale von Personen sowie deren kognitive und psychomotorischen Aktivitäten erfasst werden können. Die Reize, die während des Tests dargeboten werden, sind nicht vorhersehbar, wodurch die Teilnehmenden gezwungen sind, zufällig darauf zu reagieren (Schuhfried, 2013). Neben der Effizienz und Schnelligkeit der Entscheidungsfindung können die quantitativen und qualitativen Aspekte von Aufmerksamkeit und Konzentration objektiv gemessen werden (Kiss & Balogh, 2019).

Die interne Konsistenz des Tests (Cronbach Alpha) zeigt Werte zwischen $r = 0.98$ und $r = 0.99$ (Schuhfried, 2013). Zudem zeigen Untersuchungen aus der Verkehrspsychologie, dass die Reliabilität des Tests ebenfalls gegeben ist, sodass der Test als reliables und valides Beurteilungsinstrument angesehen werden kann (Karner & Neuwirth, 2000).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Kurzform des DT verwendet. Zur Auswertung wurden der Median Reaktionszeit (MDRT), Summe falscher und ausgelassener Reaktionen (SFA), verspätete (V) sowie zeitgerechte (Z) und richtige Reaktionen (ZV) herangezogen.

3.2 Datenaufbereitung

Eyetracking Daten

Die Daten wurden vor der deskriptiven und interferenzstatistischen Analyse über die OpenSource Software Pupil Labs Player (Version: v3.5, Pupil Labs GmbH, Deutschland) aufbereitet und qualitativ auf Fehler und Artefakte mit Hilfe der Software Blickshift (Version: 1.2.14.0, Blickshift GmbH, Deutschland) visuell einzeln gesichtet und kontrolliert. Dazu gehört das Bereinigen der Daten und das Entfernen von Artefakten und Fehlern. Im Anschluss wurden spezifische Datenpunkte zur Beantwortung der einzelnen Forschungsfragen identifiziert. Die Pupil Detection erfolgte hierbei posthoc über das vorhandene Videomaterial beider Pupillen.

HRV

Die mittels Brustgurt aufgezeichneten Daten der HRV können Artefakte beinhalten. Diese künstlich eingefügten Herzschläge können unterschiedlichen Ursprungs sein und die Parameter der HRV stark beeinflussen. Entsprechend der Richtlinien der Task Force of European Society of Cardiology (Malik et al., 1996) wurden zur Analyse der HRV lediglich Aufzeichnungen, die weniger als 5 % Artefakte aufwiesen, zur anschließenden Auswertung herangezogen. A posteriori erfolgte die Kontrolle und Bereinigung der Artefakte manuell und blickdiagnostisch über die Software Kubios HRV Standard (3.5.0, 2016). Die Auswertung erfolgte im Zeit- (SDNN, RMSSD) und Frequenzbereich (LF, HF).

Fragebögen

Die beiden Fragebögen wurden auf fehlende Angaben hin durchsucht und anschließend für die weitere Analyse kodiert.

3.3 Deskriptive und inferenzstatistische Verfahren

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden Mittelwert (M), Standardabweichung (SD) sowie das 95%ige Konfidenzintervall (CI) berechnet. Zudem werden entsprechende Voraussetzungsprüfungen und Einschränkungen berichtet.

Die Normalverteilung, welche eine der elementaren Voraussetzungen parametrischer Verfahren darstellt, wurde je nach Stichprobengröße mittels Shapiro-Wilk- oder Kolmogorov-

Smirnov-Test berechnet und visuell mit Hilfe von Q-Q-Plots geschätzt. Die Lilliefors-Korrektur wurde für den Kolmogorov-Smirnov-Test bei kleineren Stichprobenumfängen ($n < 30$), durch den Shapiro-Wilk-Test ersetzt (Untersteiner, 2007). Generell kann die Aussagekraft der Tests aufgrund einzelner, extrem abweichender Werte in Verbindung mit dem Stichprobenumfang eingeschränkt sein, weshalb eine Inspektion der Q-Q Plots empfehlenswert ist und in der vorliegenden Arbeit zusätzlich betrachtet wurde.

Alle Daten wurden in Microsoft Excel (Version 16.0.10386.20017, 2019 MSO) erfasst und anschließend mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics (Version 28.0.1.0) und RStudio (Version 2023.12.1) berechnet.

Prüfung von Zusammenhängen

Die Spearman-Korrelation ist eine nichtparametrische statistische Methode, die dazu verwendet wird, den monotonen Zusammenhang zwischen zwei ordinalen oder rangskalierten Variablen zu messen. Im Gegensatz zur Pearson-Korrelation, die auf der Annahme einer linearen Beziehung basiert und bei der die Daten normalverteilt sein müssen, erfordert die Spearman-Korrelation keine dieser Annahmen (Bortz & Schuster, 2010). Stattdessen verwendet sie die Ränge der Daten, um den Grad der Assoziation zwischen den Variablen zu bewerten. Der resultierende Koeffizient liegt zwischen -1 und 1. Ein positiver Wert deutet auf einen monotonen Anstieg hin, während ein negativer Wert auf einen monotonen Abstieg hinweist. Ein Koeffizient von 0 zeigt an, dass es keine monotone Beziehung zwischen den Variablen gibt. Die Spearman-Korrelation wird, wie in der vorliegenden Arbeit der Fall, oft verwendet, wenn die Daten nicht normal verteilt sind. Ein Zusammenhang unter $|0.30|$ gilt als schwach, bis $|0.60|$ als moderat und darüber als hoch (Brace, Kemp & Snelgar, 2006).

Prüfung von Unterschieden

Zur Beurteilung des zeitlichen Verlaufs der Veränderungen in den einzelnen Parametern wurde für jedes abgefragte Symptome, die Parameter der HRV sowie dem Eyetracking eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt. Korrektur der Kumulierung des α -Niveaus erfolgte post-hoc durch die Bonferroni-Korrektur. Die Messzeitpunkte sind an Tag eins und zwei die jeweiligen Zeitpunkte der Intervention (ToM). Darüber hinaus wurden diese Parameter hinsichtlich der unterschiedlichen

Interventionstypen (VAC 1, VAC 2, VAC3 und VAC 4), sowie an Tag 2 beide Gruppen mittels einer Mixed ANOVA mit Messwiederholung (Mixed-rmANOVA) miteinander verglichen. Gemäß Platen et al. (2002) kann hierbei das Problem der Abhängigkeit der verglichenen Daten vernachlässigt werden, da die Abhängigkeit der Daten, die an einer Person gemessen wurden, nicht zwangsläufig größer ist als innerhalb einer Gruppe. Bei den Daten des ET, HRV und dem DT handelt es sich um metrische Daten, somit ist die weitere Voraussetzung der ANOVA, dass mindestens intervallskalierte Daten vorliegen müssen, erfüllt. Weiterhin sind die Ratingskalen der beiden Fragebögen als intervallskaliert annehmbar (Baur & Blasius, 2014; Westermann, 1985), da diese fünf Stufen haben und damit gleiche Abstände gewährleistet sind (Bühner, 2011). Die ANOVA zeigt eine "weitgehende Robustheit gegenüber Verletzungen der Normalverteilung und der Varianzhomogenität [...]. Das bedeutet, dass sie trotz Abweichungen von der Annahme der Normalverteilung des Merkmals oder der Varianzhomogenität in den meisten Fällen zuverlässige Ergebnisse liefert" (Rasch et al., 2014, S. 31). Dies trifft laut Bortz und Schuster (2010) insbesondere auf gleichgroße Gruppen zu. Unterschiedliche Untersuchungen zeigen des Weiteren, dass Abweichungen nur minimale Auswirkungen auf die Ergebnisse haben, sofern die Stichprobengröße zu jedem Messzeitpunkt 25 oder mehr beträgt (Backhaus et al., 2014) bzw. wenn die Verletzung der Normalverteilung die einzige Annahme ist die verletzt wurde (Berkovits, Hancock & Nevitt, 2000) kann diese auch bei kleineren Stichproben toleriert werden. Für die erste Studie mit einer Stichprobengröße für die HRV von $n = 28$ an Tag 1 ist eine Abweichung somit vertretbar. Dennoch können in solchen Situationen konventionelle Analysen unzureichende Ergebnisse liefern (Wilcox, 2017). Entsprechend den Empfehlungen von Wilcox (2017) für solche Situationen wurden sowohl Standard- als auch robuste Analysen durchgeführt. Die robuste Analysen verwenden dabei getrimmte Mittelwerte und wurden in RStudio (Version: 2023.12.1) unter Verwendungen von Funktionen aus Wilcox (2017) und dem WRS2-Paket (Mair & Wilcox, 2020) durchgeführt. Zudem kann diese Art der Analyse auch verwendet werden, wenn neben der Nonnormalität eine Verletzung der Sphäritätsannahme in Designs mit wiederholten Messungen auftreten. Dies wurde durch den Mauchly-Test bei der Varianzanalyse mit Messwiederholung überprüft. Da auf einige Parameter diese Annahme nicht zutraf, wurde bei der konventionellen Analyse eine Korrektur der Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geiser vorgenommen.

Bei der einfaktoriellen rmANOVA testet die Methode der getrimmten Mittelwerte jedoch eine modifizierte Nullhypothese, die sich auf die Gleichheit der getrimmten Mittelwerte der Population über wiederholte Messungen hinweg bezieht, anstatt auf die Gleichheit der üblichen Populationsmittelwerte, was ihre Verwendung in bestimmten Forschungsszenarien inakzeptabel machen kann. Andererseits haben einige Forscher (Wilcox, 1998; Bühner et al., 2005) argumentiert, dass Forscher mehr an getrimmten Mittelwerten als an klassischen Statistiken interessiert sein sollten, da die Ergebnisse dieser Analysen robuster sind und daher eher akzeptiert werden können.

Der Mann-Whitney-U-Test wurde zur Unterschiedsprüfung der Mittelwerte der Pre- und Posttests zwischen den Gruppen des VFQ-Fragebogens angewendet. Als non-parametrische Alternative zu dem ungepaarten t-Test findet er Anwendung bei Verletzung normalverteilter Residuen. Die Ergebnisse werden Cohen zufolge als kleine |0.20|, mittlere |0.50| und starke |0.80| Effekte klassifiziert (Cohen, 1988, 1992). Vor Durchführung des Mann-Whitney-U-Tests wird zudem die Verteilungsform mittels Kolmogorov-Smirnov überprüft. Je nach Verteilungsform müssen die Ergebnisse anders interpretiert werden. Sofern die Verteilungen zwischen den getesteten Gruppen gleich ist vergleicht der Mann-Whitney-U-Test die Mediane der beiden Verteilungen, während er bei einem Unterschied die Lage und Form miteinander vergleicht (Divine et al., 2018; Hart, 2001). Verbundene Stichproben wurden mit dem nichtparametrischen Test nach Wilcoxon analysiert.

Friedmann Test

Der Friedmann-Test gilt als nichtparametrisches Äquivalent der einfaktoriellen rmANOVA und findet Anwendung, wenn die Voraussetzungen für eine Varianzanalyse nicht erfüllt sind (dritte Studie).

Die Größe des Effekts wurde mit Hilfe der Einteilung nach Cohen (1992) beurteilt:

$r = .10$: schwacher Effekt

$r = .30$: mittlerer Effekt

$r = .50$: starker Effekt

Ergänzend zur Ergebnisdarstellung im Text können die Kennzahlen der deskriptiven und inferenzstatistischen Analysen den jeweiligen Tabellen im Anhang entnommen werden. Auf

diese Tabellen wird an den entsprechenden Stellen verwiesen. In der Darstellung und Berichterstattung der Ergebnisse innerhalb der einzelnen Studien werden die relevantesten Ergebnisse hervorgehoben.

STUDIE 1 - VERGENCE-ACCOMMODATION-CONFLICT IN AUGMENTED REALITY-SZENARIEN

Untersuchung zum Einfluss des VACs auf die Vergenz, das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit von Studierenden des Studiengangs Lehramt BBS
Gesundheit

4 Darstellung der empirischen Untersuchung

Das Ziel dieser ersten Studie war es den Einfluss des VACs in AR-Szenarien zu erforschen und die Frage zu beantworten, wie sich dieser auf die Augen, das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit von Studierenden auswirkt. Hierzu absolvierten alle Probanden unterschiedliche Tests.

4.1 Ablauf der Studie

Die gesamte Studie umfasst einen Zeitraum von acht Wochen (20.5.2021 bis 14.7.2021). Vorab wurde bei jeder Probandin und jedem Probanden die Normsichtigkeit mit Hilfe einer Visustafel überprüft. Zur besseren Übersicht ist das allgemeine Studiendesign in Abbildung 4 für Tag 1 und in Abbildung 4 für Tag 2 schematisch dargestellt.

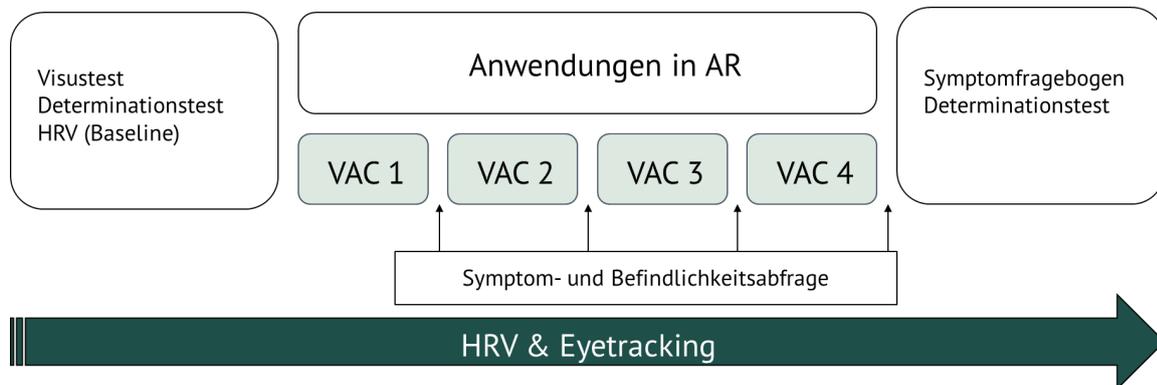


Abbildung 4: Schematische Darstellung Studienablauf Tag 1

Beim ersten Termin absolvierten die Probanden den Visustest mit Hilfe einer standardisierten Visustafel. Im Anschluss an die Baselinemessung (BL) der HRV erfolgte der DT an dem Wiener Testsystem (SCHUHFRIED GmbH, Mödling, Austria, Version: 8.15.2.47323) und die Anwendungen in AR. Währenddessen wurden kontinuierlich Daten zum Blickverhalten (Eyetracker) und der HRV erhoben. Nach jeder Applikation wurden die Probanden mit Hilfe des Symptom- und Befindlichkeitsfragebogens nach Hoffman et al. (2008) (Kapitel 3) zu ihrem Wohlbefinden befragt. Im Anschluss an die komplette Einheit im Labor und in der augmentierten Umgebung folgte die Durchführung des Determinationstests.

Im Anschluss daran erhielten die Probanden eine fünfminütige Wartezeit, um eventuell aufgetretene Symptome zu manifestieren. Abschließend füllten sie einen weiteren

Fragebogen zu ihren Symptomen und dem subjektiven Vergleich der einzelnen Interventionen aus.

An Tag zwei (Abbildung 5) war der Ablauf gleich. Statt vier Anwendungen in AR wurden jedoch nur drei durchgeführt, da der Fokus auf den Einfluss des VACs bei unterschiedlichen festen Distanzen lag³.

Um Crossover-Effekte zwischen den Einheiten zu vermeiden, wurde – analog zur Studie von Shibata et al. (2011) – ein Intervall von 24 Stunden zwischen den Sitzungen eingehalten.

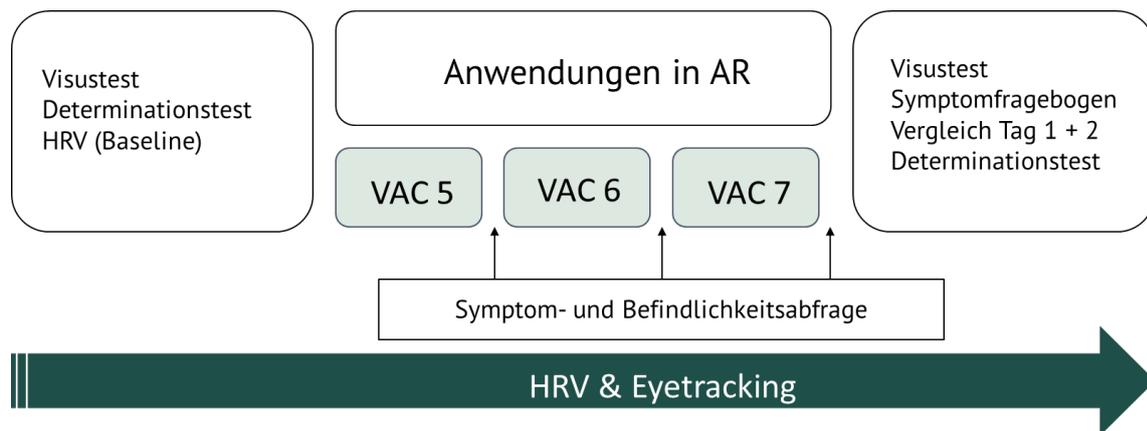


Abbildung 5: Schematische Darstellung Studienablauf Tag 2

4.1.1 Probandenstichprobe

Der Fokus der Studie lag auf Studierenden des Studiengangs BBS Gesundheit an der RPTU am Standort Kaiserslautern. Alle Probanden wurden schriftlich über die Studie, sowie deren Ziele, den Ablauf und den Nutzen informiert. Zusätzlich wurden sie am Tag der Erhebung über zu den Untersuchungsinstrumenten aufgeklärt und instruiert. Sämtliche Teilnehmer bekundeten schriftlich ihre freiwillige Zustimmung zur Teilnahme an der Studie sowie zur Verwendung der erhobenen und anonymisierten Daten. Die Anzahl betrug insgesamt 45 Personen (männlich: 17; weiblich: 28; divers: 0). Teilnahmevoraussetzung für die Probanden war ein normales oder korrigiertes Sehvermögen, welches vorab mittels einer normierten Visustafel überprüft wurde.

³ Die Interventionstypen VAC 5, 6 und 7 unterscheiden sich zu VAC 1, 2 und 3 lediglich durch feste statt variierender Distanzen.

Dropouts

Während der zwei Tage andauernden Studie kam es zu Dropouts bei einzelnen Testvariablen:

HRV

Für die Probanden VP2106, VP2111, VP2131, VP2132, VP2133, VP2134, VP2135, VP2142 und VP2143: standen wegen technischer Probleme nicht ausreichend oder keinerlei HRV Daten zur Verfügung, sodass keine Auswertung durchgeführt und für diese Probanden keine Aussage über den Einfluss des VAC auf die HRV getroffen werden konnte.

Bei VP2122, VP2125, VP2137, VP2140, VP2141 und VP2144 mussten die Daten aufgrund zu vieler Artefakte, die eine Korrektur von >5% erfordert hätte, an Tag eins und zwei verworfen werden.

In die Auswertung der Studie flossen somit 28 (weiblich 17; männlich 11; divers: 0) bzw. an Tag zwei 14 Probanden pro Gruppe ein.

Eyetracking

Wie schon bei den Daten zu HRV konnten nicht alle ET Daten ausgewertet werden. Zum einen aufgrund technischer Probleme und zum anderen zeigten sich in der visuellen Analyse, dass die sich die Aufzeichnungen qualitativ nicht zur weiteren Analyse eigneten. Lediglich Aufnahmen mit einer erfassten Confidence von > 60% bei der Pupillenerkennung flossen in die Auswertung mit ein, sodass insgesamt an Tag eins die Daten von 41 und an Tag zwei von 35 (Gruppe 0.7: 15; Gruppe 2.5: 20) Personen ausgewertet werden konnten.

Fragebögen und Determinationstest

Bezüglich der beiden durchgeführten Fragebögen sowie dem DT am Wiener Testsystem waren alle Daten der 45 Probandinnen und Probanden vorhanden und konnten ausgewertet werden.

4.1.2 Untersuchungsgruppen

Die Probanden wurden nach den Tests und der Intervention an Tag eins für Tag zwei randomisiert den beiden Gruppen mit unterschiedlichen Distanzen (Tabelle 2) zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgte, einfach verblindet, über eine Randomisierungsliste.

Tabelle 2: Anthropometrische Daten n = 45

Distanz	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]
2.5 m (n=23)	23.48 ± 3.66	181.54 ± 4.31	75.01 ± 5.33
0.70 m (n=22)	22.82 ± 2.01	180.38 ± 6.95	76.35 ± 10.46

4.1.3 Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Untersuchungsumgebung und Anwendungen

Die Studie fand in Labor 165 der Sportwissenschaft an der RPTU in Kaiserslautern statt (Abbildung 6).

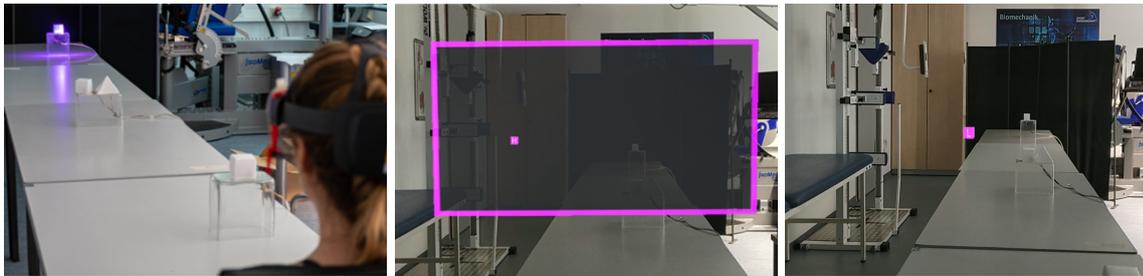


Abbildung 6: Untersuchungsumgebung Tag 1 und Tag 2

Die sieben Interventionen bzw. Anwendungen wurden mit VAC 1, VAC 2, VAC 3 und VAC 4 (Tag 1) sowie VAC 5, VAC 6 und VAC 7 betitelt. In der Applikation VAC 1 (QR-Code⁴ – VAC 1) tauchten bzw. leuchtet im Wechsel sowohl virtuelle Cubes im Raum als auch reale Cubes und eine Pyramide auf einem Tisch an unterschiedlichen Stellen und Distanzen auf. Die Probanden waren aufgefordert diese, sobald sie aufleuchteten mit den Augen zu fixieren und den Blick erst beim Aufleuchten des nächsten Cube wegzulenken. Um den visuellen Fokus der Probandinnen und Probanden zu gewährleisten, sollten diese mit einem Handgerät Zähler das Aufleuchten der realen Pyramide vor ihnen zählen und am Ende der Versuchsleitung mitteilen, welcher realer Würfel zweimal hintereinander aufleuchtet. VAC 2 beinhaltete einen kleinen virtuellen Rahmen, der die Positionen von virtuellen Buchstaben und Zahlen markierte (QR-Code – VAC 2). Die Buchstaben und 18 Zahlen erschienen in



VAC 1



VAC 2



VAC 3



VAC 4

⁴ Die einzelnen Interventionen sind über die QR-Codes als Video abrufbar. Die Interventionen an Tag zwei (VAC 5, 6, 7 entsprechen VAC 1, 2, 3 des ersten Tages)

unterschiedlichen Distanzen zum Probanden, welche in richtiger Reihenfolge und dem entsprechenden Kästchen auf einem Blatt eingetragen werden mussten. Bei diesen beiden Applikationen gab es somit immer wieder den Wechsel zwischen realen (Blatt) und virtuellen Objekten. Die Applikation VAC 3 (QR-Code – VAC 3) zeigte den Probanden einen virtuellen Rahmen, in dem sich Cubes von links nach rechts und von oben nach unten bewegten. Ähnlich wie es bei dem Lesen eines Textes oder einer Tabelle verlangt wird. Die Distanz der Cubes und des Rahmens variierte. Um den Fokus der Augen zu gewährleisten, mussten die Probanden die Buchstaben, die dabei aufleuchteten, der Versuchsleiterin laut nennen. Zuletzt absolvierten die Teilnehmer der Studie den Interventionstyp VAC 4. Hierbei bewegten sich virtuelle Cubes auf die Probanden zu und entfernten sich von diesem wieder (QR-Code – VAC 4). Die Cubes beinhalteten Zahlen und Farbänderungen, die der Versuchsleiterin laut gesagt werden sollten, um auch hier den visuellen Fokus zu gewährleisten. Die Reihenfolge der Apps war randomisiert.

4.2 Ergebnisse

Die Darlegung der Ergebnisse aus Studie 1 wird im Rahmen dieses Kapitels vorgenommen. In einem ersten Schritt erfolgt die Vorstellung sämtlicher Ergebnisse auf zwei Ebenen: zuerst auf der deskriptiven Ebene, gefolgt von der Inferenzstatistik. Die Ergebnisse der einzelnen in Kapitel 3 vorgestellten Testinstrumente werden hierbei nacheinander vorgestellt.

Vor dem Hintergrund einer kumulativen Ausprägung (z. B. Grad der Müdigkeit) werden die über die komplette Zeit der Intervention erhobenen Parameter, wie HRV, ET und Symptome, zu den einzelnen Messzeitpunkten und damit unabhängig des Interventionstyps, als auch sortiert zu den einzelnen Interventionstypen betrachtet.

4.2.1 Deskriptive Statistik

Eyetracking

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der deskriptiven Statistik für den *Pupillendurchmesser* jeden Auges und jeden Zeitpunkt, während den einzelnen Interventionstypen (VACs) dargestellt und Besonderheiten herausgestellt, die für die weitere inferenzstatistische Analyse relevant sind. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Interventionstypen erfolgt diese lediglich Interventionsabhängig und unterteilt in fünf Blöcke

à 60 Sekunden (t1-t5). Die detaillierten Kennzahlen sind den Tabellen im Anhang V zu entnehmen.

In den deskriptiven Kennwerten der ersten *Intervention* (VAC 1) zeigte sich, dass der Mittelwert des Pupillendurchmessers über die verschiedenen Zeitpunkte und zwischen den Augen leicht schwankt. Zu Beginn sind tendenziell minimal höhere Mittelwerte (linkes Auge t1: $M = 37.39 \pm 6.16$ mm; rechtes Auge t1: $M = 33.98 \pm 5.75$ mm) zu beobachten, während die Werte bei den späteren Zeitpunkten tendenziell abnehmen (linkes Auge t5: $M = 35.85 \pm 6.29$ mm; rechtes Auge t5: $M = 32.73 \pm 5.68$ mm). Diese Tendenz ist hinsichtlich der Standardabweichung sowohl beim Durchmesser der linken als auch der rechten Pupille nicht ersichtlich. Der Vergleich der Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigt, dass die Distribution des Pupillendurchmessers über alle Zeitpunkte nicht signifikant von einer Normalverteilung abweicht.

Tag 1
VAC 2

Für den *Interventionstyp* VAC 2, variiert der Mittelwert des Pupillendurchmessers über die einzelnen Zeitabschnitte hinweg, wobei die höchsten Durchschnittswerte für das linke Auge bei t3 ($M = 36.74 \pm 8.15$ mm) und für das rechte Auge bei t3 ($M = 36.84 \pm 7.75$ mm) beobachtet werden kann. Die Normalverteilungsüberprüfung nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test zeigt für das rechte Auge sowie für die Zeitpunkte t1 und t2 sowie t3 des linken Auges einen p -Wert größer als 0.05. Somit kann hier von normalverteilten Daten ausgegangen werden. Für t4 und t5 des linken Auges trifft dies nicht zu.

VAC 2

Im Mittel variiert die Größe der Pupille leicht zwischen den einzelnen Zeitblöcken (t1-t5) des *Interventionstyps* VAC 3. Eine Tendenz zu höheren Werten ist in dem dritten Zeitlock (t3) zu beobachten, wobei für das linke Auge ein Mittelwert von $M = 36.44 \pm 7.66$ mm und für das rechte Auge ein Mittelwert von $M = 33.26 \pm 7.31$ mm gemessen wurde. Im Gegensatz dazu zeigen die anderen Testzeitpunkte etwas niedrigere Mittelwerte, wobei die Differenzen jedoch gering sind. Während für das linke Auge bei t3 eine Normalverteilung vorliegt ($p < .05$), wird diese für das rechte Auge zu demselben Zeitpunkt nicht bestätigt ($p > .05$).

VAC 3

Beim Vergleich für die fünf aufeinanderfolgenden Testzeitpunkte des *Interventionstyps* VAC 4 sind für das jeweilige Auge nur geringe Unterschiede im Mittel und über die Zeit ersichtlich. Der Mittelwerte des Augendurchmessers zeigt tendenziell eine leichte Zunahme über die Testzeitpunkte hinweg, wobei die höchsten bei t4 ($M = 38.98 \pm 7.35$ mm/35.86 \pm 7.61 mm für das linke/rechte Auge) zu verzeichnen sind. Der Vergleich der Normalverteilung mittels des

VAC 4

Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigt für alle Zeitpunkte eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung ($p < .05$), sowohl für das linke als auch das rechte Auge.

Für Tag zwei werden die beiden Gruppen hinsichtlich der festen Distanz von 0.7 m bzw. 2.5 m getrennt voneinander betrachtet. Tag 2

Die einzelnen Kennwerte der deskriptiven Statistik können der Tabelle 3 entnommen werden. In beiden Gruppen wird der höchste Mittelwert unmittelbar zu Beginn innerhalb der ersten 60 Sekunden erreicht und nimmt gegen Ende des Interventionstyps VAC 5 wieder ab. Die Standardabweichung variiert ebenfalls über die einzelnen Zeitblöcke, wobei keine klare Tendenz erkennbar ist. Vor allem für das rechte Auge in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m sowie für beide Augen in der zweiten Gruppe bleibt die Streuung der Daten konstant und bis auf den Durchmesser des rechten Auges zum Zeitpunkt t5 in der Gruppe 2.5 m immer über $SD = 7.07$ mm. Anders bei der Standardabweichung des linken Auges in der Gruppe 0.7 m. Hier ist bei t4 mit $SD = 4.48$ mm ein deutlich geringerer Wert ersichtlich. Im Vergleich der beiden Gruppen sowie dem linken und rechten Pupillendurchmesser sind deutlich höhere Werte in der Gruppe 2.5 m und ausschließlich dem Pupillendurchmesser des linken Auges sichtbar. Nach Shapiro-Wilk kann von einer Normalverteilung der Daten zu allen Zeitpunkten ausgegangen werden ($p > .05$). VAC 5

Tabelle 3: Deskriptive Kennwerte Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 5, Tag 2

VAC 5 – Diameter linkes/rechtes Auge – Distanz 0.7							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	35.93/33.15	6.52/6.56	27.90/25.11	34.47/48.77	0.18/1.63	-0.81/2.86	p>0.05/p>0.05
t2	34.74/32.28	6.68/6.68	26.75/22.82	33.12/48.57	0.32/0.83	-0.51/-0.77	p>0.05/p>0.05
t3	34.02/31.52	6.64/6.29	25.20/19.39	31.71/46.97	0.52/0.52	-0.58/-0.17	p>0.05/p>0.05
t4	33.13/31.20	6.71/6.31	25.33/20.44	31.70/46.37	0.35/0.06	-1.08/-0.06	p>0.05/p>0.05
t5	32.98/30.43	6.84/6.32	26.00/19.17	32.06/44.44	0.28/0.51	-1.04/-0.21	p>0.05 /p>0.05

Distanz 2.5

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	33.19/29.30	9.00/7.07	18.91/18.05	47.46/40.54	-1.92/-0.82	3.72/1.73	p<0.05/p>0.05
t2	32.02/28.74	8.51/7.15	18.47/17.35	45.57/40.12	-1.84/-1.00	3.42/1.01	p>0.05/p>0.05
t3	30.57/27.97	7.57/6.93	18.52/16.95	42.62/38.99	-1.68/-0.49	2.80/0.14	p>0.05/p>0.05
t4	28.41/27.62	8.08/6.74	15.55/16.89	41.26/38.35	-0.01/-0.51	-3.04/-0.41	p>0.05/p>0.05
t5	31.18/27.53	7.85/5.85	18.68/18.23	43.68/36.83	-1.51/-1.00	2.53/-0.31	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Über die fünf aufeinanderfolgenden Blöcke (t1-t5) zeigen sich für den *Interventionstyp* VAC 6 tendenziell höhere Mittelwerte in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7m ($39.38 \leq M_{0.7\text{links}} \leq 40.73$ mm; $37.67 \leq M_{0.7\text{rechts}} \leq 38.87$ mm), im Vergleich zur zweiten Gruppe ($29.60 \leq M_{2.5\text{links}} \leq 32.17$ mm; $27.64 \leq M_{2.5\text{rechts}} \leq 32.93$ mm). Für das rechte Auge ist der höchste Wert bei t3 ($M = 40.73 \pm 6.48$ mm) festzustellen, während in der Gruppe mit einer festen Distanz von 2.5 m innerhalb der ersten 60 Sekunden der höchste Mittelwert bei t2 ($M = 32.17$ mm) zu beobachten ist. Der Test auf Normalverteilung der Daten in Gruppe 0.7 m mittels des Shapiro-Wilk-Tests zeigt für die meisten Zeitpunkte keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung ($p > .05$), sowohl für das linke als auch das rechte Auge. Lediglich für den Zeitpunkt t2 und t4 ist eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung für das rechte Auge in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m ($p < .05$) ersichtlich. Dies deutet darauf hin, dass die Daten an diesem Zeitpunkt möglicherweise nicht normalverteilt sind. Anders in der zweiten Gruppe, hier kann zu allen Zeitpunkten von einer Normalverteilung ausgegangen werden ($p = .05$).

Während dem *Interventionstyp* VAC 7 zeigen sich in beiden Gruppen ähnliche Mittelwerte, wobei die Werte in der Gruppe 2.5 m tendenziell etwas höher liegen als in der Gruppe 0.7 m. Dies gilt darüber hinaus auch für die Werte der Standardabweichung. Sowohl für den Pupillendurchmesser des linke als des rechten Auges ist der niedrigste Wert in beiden Gruppen zum Zeitpunkt t1 erkennbar (Abbildung 7). Die 95%- CI für den Pupillendurchmesser zeigen eine ähnliche Variation wie die SD-Werte über die Zeitpunkte hinweg. Sowohl die Werte für Schiefe als auch Wölbung bleiben in beiden Gruppen konstant und deuten darauf hin, dass diese annähernd symmetrisch und geringfügig abweichend von der Normalverteilung sind. Jedoch sind die Abweichungen nicht signifikant, wie durch den Shapiro-Wilk-Test bestätigt wird ($p > .05$).

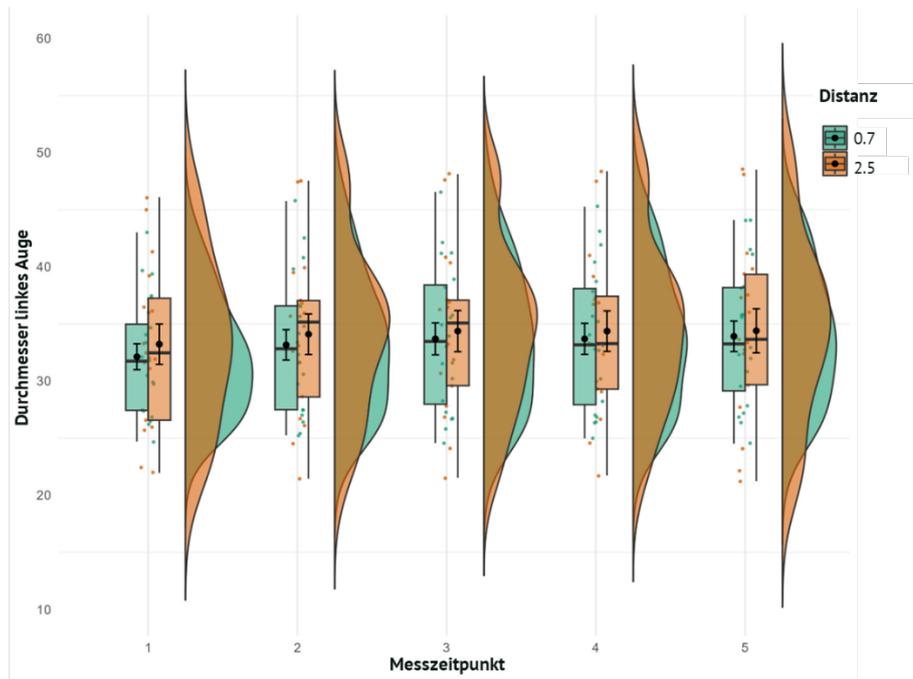


Abbildung 7: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für den VAC 7, Tag 2

Symptomfragebogen nach Hoffman et al. (2008)

In einem ersten Schritt werden die deskriptiven Kennwerte des Symptomfragebogens nach Hoffman et al. (2008) zu den einzelnen Messzeitpunkten sowie den Interventionstypen detailliert dargestellt. Hauptaugenmerk wird hierbei auf die Ergebnisse der Fragen gelegt, die von dem VAC betroffen sein sollten. In Bezug auf die Fragen 3 und 4, die den Nacken und Rücken betreffen (Kapitel 3), wird, abgesehen von der grafischen Darstellung in Abbildung 8, nicht weiter eingegangen, sondern lediglich auf die entsprechenden Tabellen im Anhang V verwiesen.

Betrachtet man die einzelnen Items sowohl zu den Messzeitpunkten als auch den Interventionstypen an Tag eins (Abbildung 8) fällt auf, dass die Werte zur „Müdigkeit der Augen“ im Mittel am höchsten sind.

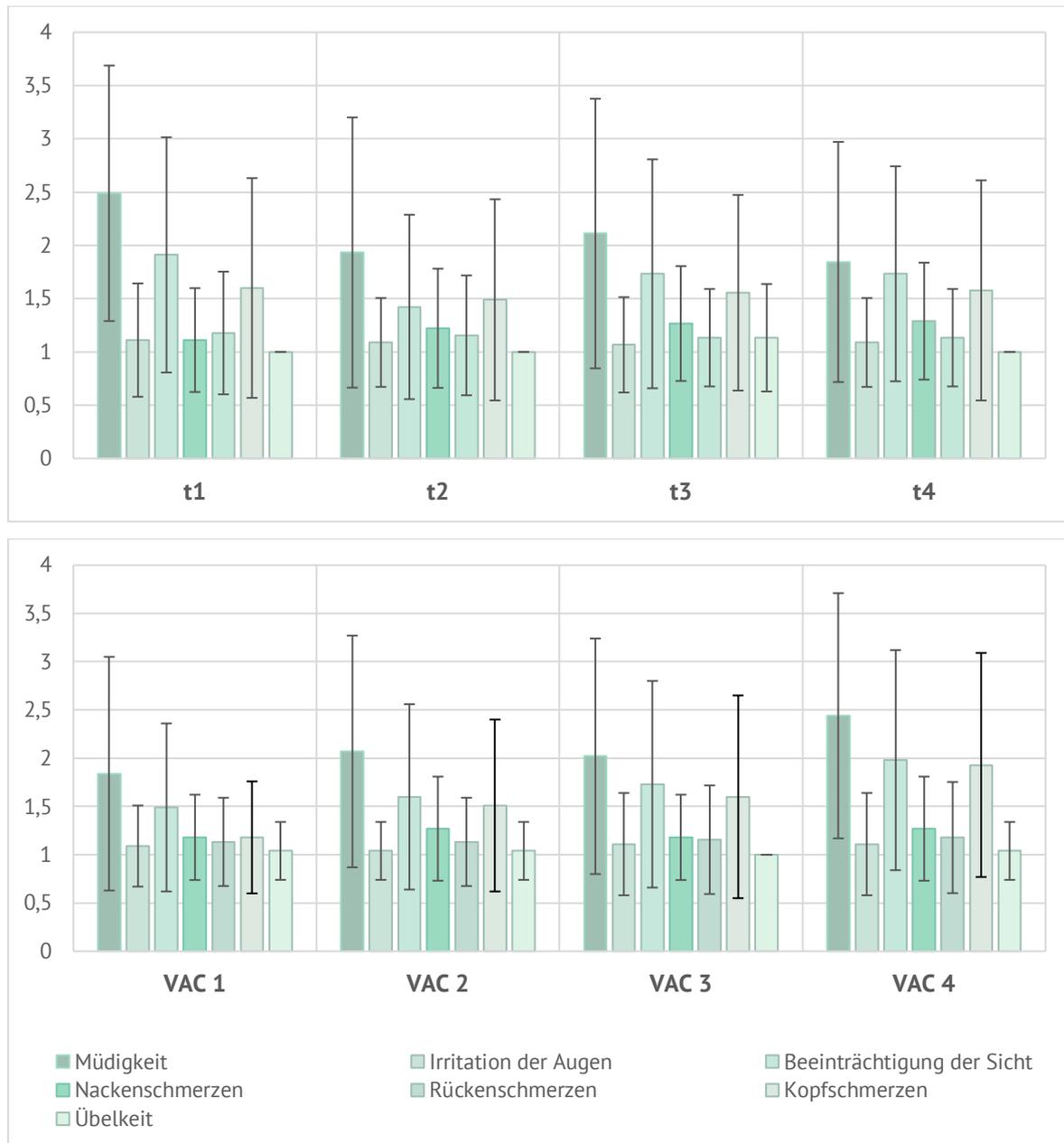


Abbildung 8: Bewertung der Symptome und Beschwerden zu den einzelnen Messzeitpunkten t1-t4 (oben) und Interventionstypen (VAC), Tag 1

Tag 1

Müdigkeit der Augen

Zu den einzelnen Messzeitpunkten differieren die Mittelwerte der Gesamtstichprobe hinsichtlich des Items „Müdigkeit der Augen“ kaum und liegen zwischen 1.84 und 2.49. Der höchste Mittelwert tritt direkt nach der ersten Intervention in AR auf ($M = 2.49 \pm 1.20$), der niedrigste zum vierten Messzeitpunkt ($M = 1.84 \pm 1.13$). Betrachtet man die Werte der männlichen und weiblichen Probanden getrennt voneinander, zeigt sich bei den Frauen zum Messzeitpunkt drei ein Anstieg des Mittelwerts im Vergleich zum Messzeitpunkt zwei (t2: M

= 1.82 ± 1.25 ; t3: $M = 2.14 \pm 1.33$), während bei den Männern kaum Unterschiede zwischen diesen Zeitpunkten bestehen (t2: $M = 2.12 \pm 1.32$; t3: $M = 2.06 \pm 1.09$).

Bei der *interventionsabhängigen Betrachtung* an Tag eins zeigt der Interventionstyp VAC 4 den höchsten Mittelwert für Augenmüdigkeit (Männer: $M = 2.47 \pm 1.38$; Frauen: $M = 2.43 \pm 1.23$). Hier sind auch die Standardabweichungen am höchsten, was auf eine größere Streuung hinweist. Männer bewerteten den Grad der Müdigkeit durchweg höher als Frauen, mit Ausnahme von VAC 1.

An Tag zwei zeigen die Mittelwerte, dass die Müdigkeit der Augen in der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m von *Messzeitpunkt* zu *Messzeitpunkt* abnimmt (t1: $M = 2.45 \pm 0.84$; t3: $M = 2.22 \pm 0.51$), während sie in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m zunimmt (t1: $M = 2.28 \pm 0.55$; t3: $M = 2.45 \pm 0.74$). Die deskriptiven Werte hinsichtlich des *Interventionstyps* an Tag zwei zeigen für den VAC 2 in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m den geringsten Mittelwert ($M = 2.05 \pm 0.21$), während die höchsten Werte für VAC 3 sowohl in dieser als auch in der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m verzeichnet werden.

Die Verteilung der Werte über alle *Messzeitpunkte*, aufgeteilt auf die beiden Gruppen ist in der folgenden Abbildung 9 grafisch dargestellt. Auffällig sind hierbei einzelne Ausreißer an Tag zwei.

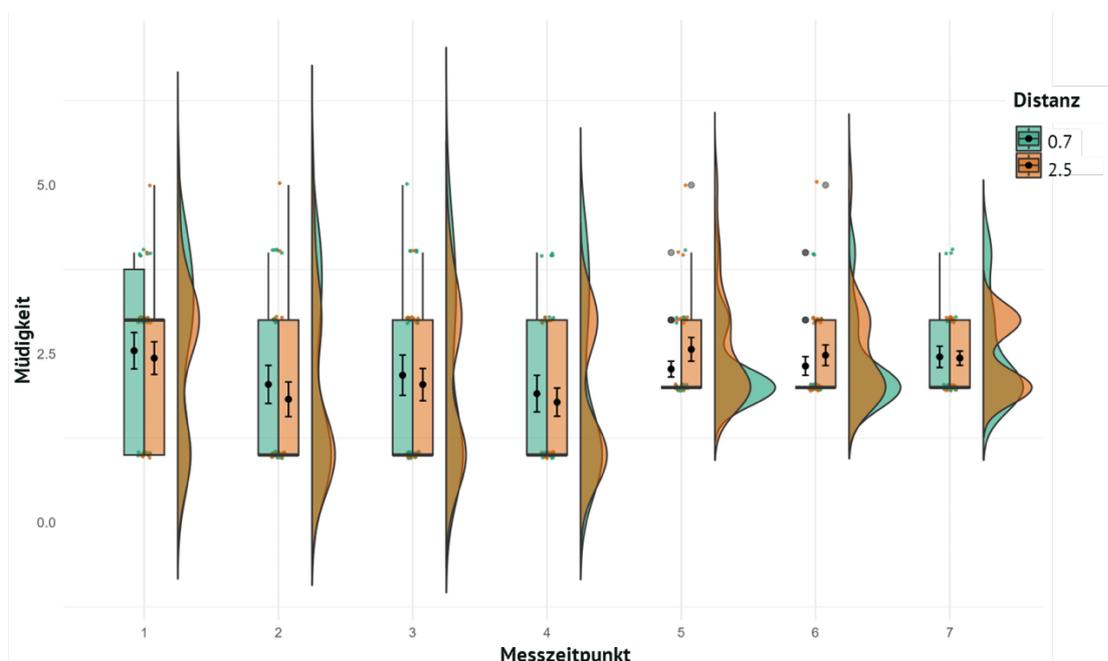


Abbildung 9: Raincloud Plots, Boxplots und Histogramme für das Item Müdigkeit zu den einzelnen Messzeitpunkten Tag 1 und 2

Irritation der Augen

Zu den einzelnen *Messzeitpunkten* variieren die Mittelwerte der Gesamtstichprobe für das Item „*Irritation der Augen*“ nur geringfügig ($1.07 \leq M_{\text{Gesamt}} \leq 1.11$). Die Werte der Standardabweichung sind ebenfalls ähnlich, mit dem höchsten Wert zum Messzeitpunkt t1 und dem niedrigsten zum Messzeitpunkt t2 und t4 ($0.42 \leq SD_{\text{Gesamt}} \leq 0.53$). Für die Gesamtstichprobe zeigt sich der höchste Mittelwert der Augenirritation bei dem *Interventionstyp* VAC 4 ($M_{\text{Gesamt}} = 1.11 \pm 0.53$). Dieser *Interventionstyp* weist auch die größte *SD* auf, was auf eine größere Varianz hinweist. Ähnliche Werte sind für den VAC 3 ersichtlich. Bei den männlichen und weiblichen Teilnehmern zeigen sich die höchsten Mittelwerte und Standardabweichungen bei den *Interventionstypen* VAC 3 und VAC 4 ($M_{\text{Männer}} = 1.18 \pm 0.73$; $M_{\text{Frauen}} = 1.07 \pm 0.38$).

Tag 1

Insgesamt liegen die Mittelwerte der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m über denen der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m. Die Standardabweichungen sind vergleichbar ($0.50 \leq SD_{0.7} \leq 0.67$; $0.46 \leq SD_{2.5} \leq 0.52$). In der Gruppe 0.7 m gibt es keine intragruppalen Unterschiede zwischen den *Interventionstypen*. In der Gruppe 2.5 m hingegen variieren die Mittelwerte je nach *Interventionstyp*. Für den *Interventionstyp* VAC 1 sind mit $M_{2.5} 2.35 \pm 0.71$ die höchsten Werte ersichtlich.

Tag 2

Beeinträchtigung der Sicht

Betrachtet man die deskriptiven Werte der „*Beeinträchtigung der Sicht*“ zu den einzelnen *Messzeitpunkten* an Tag eins, zeigt sich, dass zum Messzeitpunkt t2 die geringsten Mittelwerte auftreten, sowohl über die Gesamtstichprobe als auch getrennt nach Geschlecht. Die höchsten Werte sind zum Messzeitpunkt t1 zu verzeichnen ($M_{\text{Gesamt}} = 1.91$; $M_{\text{Männer}} = 2.06$; $M_{\text{Frauen}} = 1.87$). Bei den männlichen Teilnehmern ist die *SD* zum Messzeitpunkt t3 höher als bei t1 ($1.20 \leq SD_{\text{Männer}} \leq 1.22$). Die obere Grenze des Konfidenzintervalls liegt bei den Männern durchgehend über 2.05.

Tag 1

Die deskriptive Statistik der Beeinträchtigung der Sicht für die verschiedenen *Interventionstypen* an Tag eins zeigt, dass der VAC 4 mit einem Mittelwert von 1.98 den höchsten Wert aufweist, gefolgt von VAC 3 ($M = 1.73$), VAC 2 ($M = 1.60$) und VAC 1 ($M = 1.49$). Auch die größte Streuung lässt sich bei den Werten des VAC 4 verorten, was zu dem breitesten Konfidenzintervall (95%- CI = 1.64-2.32) führt. Bei einem detaillierten Vergleich der einzelnen *Interventionstypen* und geschlechtsspezifischen Unterschiede zeigt sich, dass der VAC 4 bei

beiden Geschlechtern die höchsten Mittelwerte aufweist ($M_{\text{Männer}} = 1.88$; $M_{\text{Frauen}} = 2.04$). VAC 3 hingegen zeigt bei beiden Gruppen die niedrigsten Werte.

Mit Blick in die Tabelle 4 zeigt sich in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m für die *Messzeitpunkte* t1 und t2 an Tag zwei die gleichen Werte hinsichtlich der Lage- und Streuungsparameter sowie der Verteilungscharakteristika. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich in der zweiten Gruppe allerdings bei den Messzeitpunkten t2 und t3. Des Weiteren ordneten die teilnehmenden Personen in dieser Gruppe die Beeinträchtigung der Sicht durchgehend bei 2 ein, sodass die *SD* bei 0.00 liegt und somit, weder Werte für Schiefe noch Wölbung herangezogen werden können.

Tabelle 4: Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
t2	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
t3	2.14	0.47	1.93	2.34	3.62	13.27	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.04	0.21	1.95	2.13	4.80	23.00	p<0.001
t2	2.00	0.00	2.00	2.00	-	-	-
t3	2.00	0.00	2.00	2.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Im Vergleich zu den Werten der einzelnen *Messzeitpunkte* in Tabelle 4 sind die Werte der unterschiedlichen Interventionstypen in beiden Gruppen identisch bzw. unterscheiden sich lediglich hinsichtlich ihrer „Reihenfolge“. So entsprechen die Werte beider Gruppen zum Messzeitpunkt t1 dem VAC 7, t2 dem VAC 6 und t3 dem VAC 5 (Tabelle 5).

Tabelle 5: Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 5	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
VAC 6	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
VAC 7	2.14	0.47	1.93	2.34	3.62	13.27	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 5	2.00	0.00	2.00	2.00	-	-	-
VAC 6	2.00	0.00	2.00	2.00	-	-	-
VAC 7	2.04	0.21	1.95	2.13	4.80	23.00	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kopfschmerzen

Die Mittelwerte des Items „Kopfschmerzen“ der Gesamtstichprobe zu den einzelnen Messzeitpunkten reichen von $1.49 \leq M_{\text{Gesamt}} \leq 1.69$. Der niedrigste Wert ist bei t2, der höchste direkt zu Beginn bei t1 ersichtlich. Tag 1

Für alle Messzeitpunkte der Männer sind für den Mittelwert ($1.12 \leq M_{\text{Männer}} \leq 1.35$) sowie die Standardabweichung ($0.49 \leq SD_{\text{Männer}} \leq 0.79$). Auffällig sind hier die hohen Werte der Schiefe und Wölbung zum Messzeitpunkt t4 und insbesondere t2. Die Werte der Frauen liegen im Mittel über denen der Gesamtstichprobe und damit deutlich über denen der männlichen Probanden ($1.71 \leq M_{\text{Frauen}} \leq 1.82$). Gleichzeitig weisen höheren Werte der Standardabweichung und des CIs auf eine größere Streuung hin.

Die höchsten Mittelwerte sind bei den beiden Interventionstypen VAC 3 und VAC 4 zu finden, wobei die Daten des VAC 4 ($M = 1.93$) den höchsten Durchschnitt aufweist. Die Standardabweichung variiert ebenfalls zwischen den einzelnen Interventionstypen, wobei die Werte zwischen $0.58 \leq SD_{\text{Gesamt}} \leq 1.16$ liegen. Für den Interventionstyp VAC 1 zeigen sich bei den männlichen Teilnehmern keinerlei Streuung ($SD = 0.00$). Insgesamt liegen die Mittelwerte der Männer ($1.00 \leq M_{\text{Männer}} \leq 1.47$) tendenziell unter denen der Frauen ($1.29 \leq M_{\text{Frauen}} \leq 2.21$) und gleichzeitig auch unter denen der Gesamtstichprobe. Mit Blick auf die Werte der Standardabweichung sind auch hier höhere Werte bei den Frauen sichtbar.

Besonders auffällig ist an Tag zwei, dass die Streuung zum *Zeitpunkt* t3 ($SD = 0.55$) nahezu *Tag 2* doppelt so hoch ist wie zum Zeitpunkt t1. In der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m zeigt sich die höchste Streuung mit 0.62 zum Messzeitpunkt t1.

Während die Gruppe 0.7 m durchschnittlich Kopfschmerzen im Zusammenhang mit dem *Interventionstyp* VAC 7 am höchsten bewertet, zeigt die zweite Gruppe im Vergleich zu den anderen Interventionstypen die höchste Bewertung für VAC 6.

Übelkeit

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik weisen darauf hin, dass die Gesamtstichprobe *Tag 1* lediglich bei t3 Veränderungen bezüglich der Frage nach dem Grad der „Übelkeit“ zeigt. Dies zeigt sich insbesondere durch die Standardabweichung von 0.51 sowie die Werte der Schiefe ($\gamma_p = 3.60$) und der erhöhten Kurtosis ($\beta_2 = 11.43$). Bei Männern bleiben die Werte über alle *Messzeitpunkte* an Tag eins konstant, während die Gruppe der Frauen bei t3 eine gewisse Varianz aufweist, die auf eine leichte Veränderung in der Verteilung hindeuten könnte und auf die die Veränderung auch in der Gesamtstichprobe zurückzuführen ist. Anders als bei der Betrachtung der einzelnen Messzeitpunkte zeigt sich bei den *Interventionstypen* eine etwas größere Varianz, deren zentrale Tendenz bei den gemittelten Werten bereits ersichtlich ist. Die Mittelwerte differieren leicht im Bereich von 1.00 bis 1.04. Während die Werte für die zentrale Tendenz, Streuung und die Charakteristika der Datenverteilung für VAC 1, VAC 2 und VAC 4 identisch sind, zeigt sich bei VAC 3 eine Besonderheit. Hier wurde dieser Interventionstyp von sämtlichen Teilnehmenden mit einer Bewertung von 1 hinsichtlich des Ausmaßes der Übelkeit beurteilt, sodass folglich die Standardabweichung bei 0.00 liegt. Zudem fallen bei den anderen Interventionstypen die hohen Werte der Kurtosis auf ($\beta_2 = 45.00$), was im Umkehrschluss eine höhere Wahrscheinlichkeit extremer Werte und einen konzentrierteren Datensatz impliziert. Die Annahme einer ungleichen Verteilung bestätigen die Tests nach Kolmogorov-Smirnov. Mit $p < .001$ kann von keiner Normalverteilung der Daten ausgegangen werden. Die statistischen Kennzahlen für Männer und Frauen in Bezug auf die unterschiedlichen Interventionstypen zeigt, dass die Gruppe der Männer die Übelkeit durchgehend mit 1 bewertet und hier keinerlei Streuung vorliegt. Die erhöhten Werte der Gesamtstichprobe für den VAC 1, VAC 2 und VAC 3 lassen sich somit auf die der weiblichen Teilnehmer zurückführen. Vereinzelt wird die Frage nach dem Grad der „Übelkeit“ hier mit 3

beantwortet. Diese ungleiche Verteilung spiegelt sich auch in den Schiefe- und Kurtosiswerten wider ($\gamma_p = 5.29$; $\beta_2 = 28.00$).

Ein Vergleich der Kennwerte in Tabelle 6 zeigt, dass die Mittelwerte und die Standardabweichung für beide Gruppen und alle *Messzeitpunkte* konstant bei 1.00 bzw. 0.00 bleiben. Lediglich in der Gruppe 0.7 m haben einzelne Personen die „Übelkeit“ höher bewertet, sodass die Werte hier im Mittel abweichen.

Tabelle 6: Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t3	1.09	0.43	0.90	1.28	4.69	22.00	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Bei Betrachtung der interventionstypabhängigen Werte in Tabelle 7 wird ersichtlich, dass die erhöhten Werte zum *Messzeitpunkt* t3 in Gruppe 0.7 m ausschließlich auf den *Interventionstyp* VAC 7 zurückzuführen sind. Die Rohdaten zeigen, dass lediglich eine Person diesen Interventionstyp zum Messzeitpunkt t3 mit 3 bewertet hat.

Tabelle 7: Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 5	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 6	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 7	1.09	0.43	0.90	1.28	4.69	22.00	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 5	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 6	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 7	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Nachfolgend können die Kennwerte der deskriptiven Statistik der beiden Items „Nacken – sowie Rückenschmerzen“ den Tabellen im Anhang V entnommen werden. Auf eine detaillierte Beschreibung soll an dieser Stelle aber verzichtet werden.

HRV

Neben dem Fragebogen nach Hoffman et al. (2008) wurden während der Intervention in AR Daten zur HRV erhoben. Die statistischen Kennwerte der Parameter der HRV sind in den jeweiligen Tabellen, Anhang V, detailliert dargestellt. Die Werte sind sowohl für beide Tage (Tag eins: n = 28; Tag zwei: Distanz 2.5 m: n = 15, Distanz 0.7 m: n = 15), als auch zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten und Interventionstypen beschrieben.

Mittlere HF

Bei Betrachtung der deskriptiven Werte der Gesamtstichprobe, weist die Baselinemessung (BL) der Mittleren HF die höchsten Werte aller *Messzeitpunkte* an Tag 1 auf. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen variieren allerdings kaum ($76.00 \leq M_{\text{Gesamt}} \leq 78.20$ bpm) als auch der Standardabweichung ($8.65 \leq SD_{\text{Gesamt}} \leq 9.39$ bpm). Die Schiefe nimmt durchgehend einen negativen Wert an, die Kurtosis lediglich zum Messzeitpunkt 2 und 3. Zu jedem der fünf Messzeitpunkte kann nach Kolmogorov-Smirnov von einer Normalverteilung ausgegangen werden.

Tag 1

Die Mittelwerte der männlichen Probanden ($72.82 \leq M_{\text{Männer}} \leq 75.00$ bpm) waren zu jedem Messzeitpunkt geringer als diejenigen der weiblichen Probanden ($78.38 \leq M_{\text{Frauen}} \leq 80.27$ bpm). Es zeigten sich die niedrigsten Werte beider Gruppen zum Zeitpunkt der vierten Intervention. Die durchschnittlich höchsten Werte, sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen, wurden zum Zeitpunkt der Baseline-Messung festgestellt. Des Weiteren nehmen die Schiefe-Werte kontinuierlich negative Werte an, was auf eine linksschiefe Verteilung hindeutet. Die Kurtosis-Werte reichten bei den Männern von -0.07 bis 1.19 und bei den Frauen von -0.62 bis -0.23.

Gemäß dem Shapiro-Wilk-Test wiesen die Werte der Männer und Frauen eine Normalverteilung auf ($p > .05$).

Der höchste Durchschnittswert wurde bei der BL-Messung am ersten Tag mit 78.20 ± 9.00 bpm verzeichnet, während der niedrigste Wert beim *Interventionstyp* VAC 1 mit 75.66 ± 8.91 bpm auftrat. Der Kolmogorov-Smirnov-Test deutet darauf hin, dass die Werte der durchschnittlichen Herzfrequenz in der Gesamtstichprobe am ersten Tag normalverteilt sind. Betrachtet man Männer ($n = 12$) und Frauen ($n = 16$) an Tag 1 getrennt voneinander, zeigt sich, dass die Frauen sowohl bei den Mittelwerten ($77.75 \leq M_{\text{Frauen}} \leq 80.27$ bpm) als auch der Standardabweichung ($8.08 \leq SD_{\text{Frauen}} \leq 9.23$ bpm) tendenziell höhere Werte erreichen, als die Männer ($72.43 \leq M_{\text{Männer}} \leq 75.00$ bpm; $6.10 \leq SD_{\text{Männer}} \leq 9.01$ bpm). Dies spiegelt sich auch in den Wertebereichen der Konfidenzintervalle wider (Abbildung 10). Sowohl bei den Männern als auch den Frauen kann von einer Normalverteilung nach Shapiro Wilk ausgegangen werden ($p > .05$).

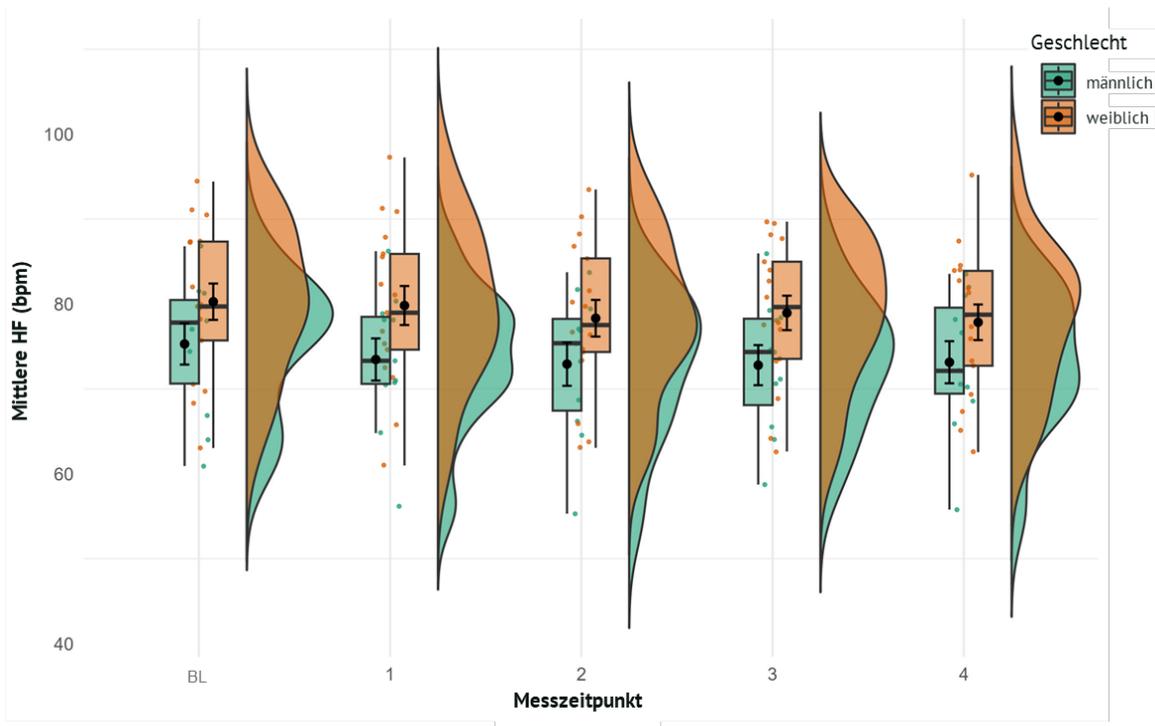


Abbildung 10: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der Mittelwerte der gesamten Mittleren HF zu der BL, den einzelnen Messzeitpunkten und Geschlecht

An Tag zwei differieren die Mittelwerte innerhalb sowie zwischen den beiden Gruppen kaum. Die Mittelwerte der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m sind dabei bei jeder Messung höher als die der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m. Im Gegensatz zu denen der Gruppe 0.7 m weisen die Werte der Gruppe 2.5 m eine höhere Standardabweichung ($8.70 \leq SD_{2.5} \leq 10.63$ bpm). Insbesondere während dem Messzeitpunkt t2 ist die Standardabweichung bei der Gruppe 0.7 m deutlich geringer. Für beide Gruppen ist nach Shapiro-Wilk über die BL-Messung sowie alle Messzeitpunkte eine Normalverteilung gegeben. Tag 2

Die Mittelwerte beider Gruppen weisen zwischen den Interventionstypen deskriptiv kaum Unterschiede auf. Dennoch sind die Werte in der Gruppe, in der die holografischen Objekte auf einer Distanz von 0.7 m präsentiert wurden, im Durchschnitt höher ($77.17 \leq M_{0.7} \leq 81.32$ bpm), als die der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m ($76.41 \leq M_{2.5} \leq 78.23$ bpm). Im Gegensatz dazu zeigt die Streuung bei der BL-Messung und dem Interventionstyp VAC 5 höhere Werte in der Gruppe mit der Distanz von 2.5 m. In beiden Gruppen kann davon ausgegangen werden, dass die Verteilung über alle Interventionstypen sowie bei der BL-Messung linksschief ist. Eine Ausnahme bildet lediglich der positive Schiefewert in der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m und dem Interventionstyp VAC 5. Leichte Unterschiede zeigen sich bei der Betrachtung der Kurtosiswerte. Zu allen Messzeitpunkten lagen die Werte der Gruppe mit einer Distanz Tag 2

von 2.5 m in einem Wertebereich von $-1.22 \leq \beta_2 \leq 0.31$. Die Werte der zweiten Gruppe dagegen differierten deutlicher und nehmen Werte von -0.98 bis 2.00 an. Gemäß dem Shapiro-Wilk-Test kann bei allen Daten von einer Normalverteilung ausgegangen werden ($p > .05$). Die genaue Verteilung ist in der Abbildung 11 für beide Gruppen grafisch dargestellt.

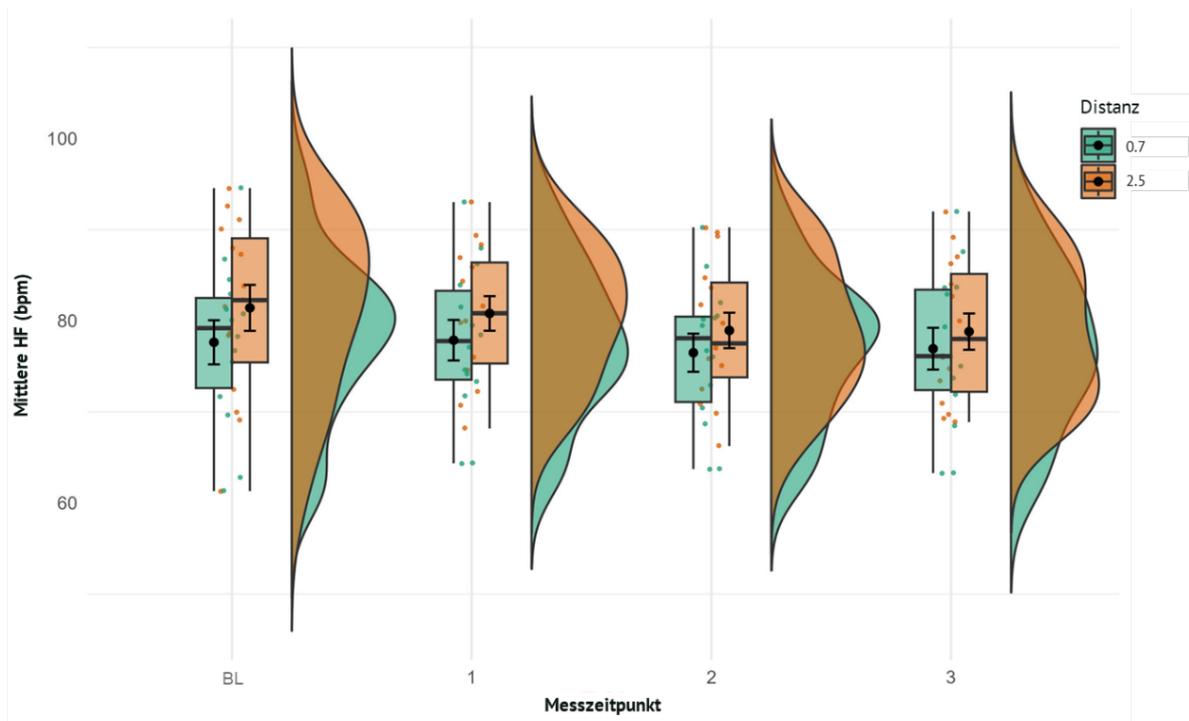


Abbildung 11: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der Mittleren HF an Tag 2 zu der BL, den unterschiedlichen Messzeitpunkten und Distanzen

RMSSD

Die Mittelwerte zeigen nur geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten ($41.83 \leq M \leq 44.23$ ms). Die SD , die durchweg Werte über 12.97 ms aufweisen, deuten auf eine große Streuung hin. Ähnlich Tendenz zeigt sich folglich für die 95%-CI, die bei den einzelnen Messzeitpunkten einen breiten Wertebereich aufweisen. Anhand der Schiefe- und Wölbungswerte können die Messzeitpunkte BL, t1 und t3 als annähernd normalverteilt angesehen werden. Dies bestätigt sich mit Hilfe der Tests nach Kolmogorov-Smirnov. Bei Betrachtung der deskriptiven Werte der Männer und Frauen zeigt sich, dass die der männlichen Probanden ($42.04 \leq M_{\text{Männer}} \leq 49.41$ ms) – außer zum Messzeitpunkt t2 – über denen der weiblichen Probanden ($40.02 \leq M_{\text{Frauen}} \leq 44.38$ ms) liegen. Dabei unterscheiden sich die Werte zwischen den Zeitpunkten um maximal ± 8.53 ms (BL). Die Werte der Standardabweichung sind bei den Frauen höher ($13.41 \leq SD_{\text{Frauen}} \leq 19.14$ ms) als bei den

Männern ($11.03 \leq SD_{\text{Männer}} \leq 14.62$ ms). Mit einem Wert von 17.25 ms zum Messzeitpunkt t4 liegt die Standardabweichung bei 43.35% des Mittelwerts ($M = 39.79$ ms). Somit weisen die Konfidenzintervalle ebenfalls breite Wertebereiche auf. Während bei den Männern zu allen Messzeitpunkten von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, trifft dies bei den weiblichen Probanden für den Zeitpunkt BL und t4 nicht zu.

Die Mittelwerte des RMSSD zu den einzelnen *Interventionstypen* an Tag eins nehmen Werte von 38.03 ms (VAC 4) bis 45.16 ms (VAC 2) an. Die Standardabweichungen liegen bei der BL stets bei über 12.28 ms, was insgesamt auf eine große Varianz innerhalb der Gesamtstichprobe hindeutet. Lediglich die BL-Messung weist, Kolmogorov-Smirnov zufolge, keine Normalverteilung auf.

Die Mittelwerte der weiblichen Probanden sind durchgehend geringer als die der Männer ($36.84 \leq M_{\text{Frauen}} \leq 42.53$ ms; $39.87 \leq M_{\text{Männer}} \leq 49.41$ ms). Eine Vorsaussetzungsverletzung der Normalverteilung liegt nach Shapiro-Wilk Testung bei der BL sowie dem Interventionstyp VAC 1 und VAC 3 in der Gruppe der Frauen vor ($p = < .05$).

Am zweiten Tag lassen sich geringfügige Unterschiede in den Mittelwerten der RMSSD Tag 2 zwischen den beiden Gruppen sowie in Bezug auf die *Messzeitpunkte* kaum feststellen. Ähnlich zu Tag eins sind die Werte der Standardabweichung hoch und nehmen Werte von $16.62 \leq SD_{2.5} \leq 19.13$ ms und $9.9 \leq SD_{0.7} \leq 19.63$ ms. Dies spiegelt sich auch in den Konfidenzintervallen wider. Die Werte für die Schiefe sind in der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m alle positiv ($0.76 \leq \beta_2 \leq 1.54$). In der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m ist die Verteilung - bis auf zum Messzeitpunkt t3 - rechtsschief. Bei der Kurtosis ist eine klare Tendenz innerhalb der Gruppen ersichtlich. Außer zum Messzeitpunkt t3 weisen die Werte der Gruppe 2.5 m auf eine geringere Wölbung hin als in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m. Auffällig ist hier auch der Wert der BL-Messung von $\beta_2 = 8.16$, was auf eine leptokurtische Verteilung schließen lässt. Des Weiteren lässt sich feststellen, dass die Werte für die Baseline-Messung in der Gruppe 0.7 m sowie den Messzeitpunkt t3 in der Gruppe 2.5 m nicht normalverteilt sind.

Die *interventionsabhängigen* Werte beider Gruppen unterscheiden sich an Tag zwei deutlicher bei den Interventionen VAC 6 ($M_{0.7} = 36.74 \pm 13.20$ ms; $M_{2.5} = 46.63 \pm 19.16$ ms) und VAC 7 ($M_{0.7} = 35.74 \pm 11.15$ ms; $M_{2.5} = 41.19 \pm 18.47$ ms), während die Werte der BL-Messung und des

VAC 5 beider Gruppen vergleichbar sind. Nach dem Shapiro-Wilk-Test kann von einer Normalverteilung für die Interventionstypen VAC 6 und VAC 7 in beiden Gruppen sowie für VAC 5 in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m ausgegangen werden. Dies trifft jedoch nicht auf die BL-Messung (Gruppe 0.7 m) und VAC 1 (Gruppe 2.5 m) zu ($p < .05$).

SDNN

Bei Betrachtung der Gesamtstichprobe weisen die Mittelwerte der BL-Messung mit 50.11 ± 12.96 ms die höchsten Werte auf, gefolgt von den Werten zum Messzeitpunkt t4 mit 46.00 ± 14.69 ms. Die geringsten Werte wurden zum Messzeitpunkt t1 ($M_{t1} = 44.10 \pm 9.81$ ms) gemessen. Ähnlich den Werten der RMSSD sind dabei die Werte der Standardabweichung höher ($9.81 \leq SD_{SDNN} \leq 14.69$ ms). Auch der Wertebereich der Konfidenzintervalle ist groß und nehmen für die Untere Grenze Werte von 39.25 bis 45.09 ms, für die Obere 47.90 bis 55.14 ms ein. Lediglich zum Messzeitpunkt t2 sind für die Schiefe ($\gamma_p = 1.01$) und Kurtosis Werte ($\beta_2 = 1.55$) ersichtlich. Alle anderen Werte liegen nahe dem Wert 0. Folglich kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden, was durch deren Testung nochmals bestätigt wurde. Die Durchschnittswerte der Frauen ($41.08 \leq M_{\text{Frauen}} \leq 43.41$ ms) sind über alle Messzeitpunkte hinweg niedriger sind als die der Männer ($45.41 \leq M_{\text{Männer}} \leq 14.10$ ms). Im Gegensatz dazu ist zum Zeitpunkt t1 mit 10.08 ms und t2, mit 12.49, die Streuung bei den Frauen höher als bei den Männern ($SD_{t1} = 9.48$ ms; $SD_{t1} = 9.39$ ms). Für beide Gruppen wiederum sind die Konfidenzintervalle recht groß, was auf die insgesamt großen Werte der Standardabweichung über alle Messzeitpunkte zurückzuführen ist. Dennoch sind zu allen Erhebungen – außer bei den Frauen t4 – die Daten normalverteilt.

Tag 1

Die Mittelwerte der SDNN an Tag eins variieren je nach *Interventionstyp* und über die Gesamtstichprobe betrachtet. Am höchsten sind sie bei der BL ($M = 50.11 \pm 12.96$ ms). Die niedrigsten Mittelwerte zeigen sich für den Interventionstyp VAC 1 ($M = 43.21 \pm 13.91$ ms). Die niedrigsten Werte sind für den Interventionstyp VAC 1 ($M = 43.21 \pm 13.91$ ms) ersichtlich. Bei sowohl männlichen als auch weiblichen Probanden zeigt sich, dass der Mittelwert zum Messzeitpunkt der BL-Messung am höchsten ($M_{\text{Männer}} = 50.11 \pm 12.96$ ms; $M_{\text{Frauen}} = 52.02 \pm 13.54$ ms) und zum Interventionstyp VAC 4 ($M_{\text{Männer}} = 43.62 \pm 12.81$ ms; $M_{\text{Frauen}} = 43.54 \pm 8.64$ ms) am niedrigsten ist. Sowohl die Wertebereiche der UG als auch die der OG des 95%-CIs liegt bei den Männern ($39.05 \leq UG_{\text{Männer}} \leq 43.41$ ms; $49.02 \leq OG_{\text{Männer}} \leq 60.62$ ms) über denen der Frauen ($34.83 \leq UG_{\text{Frauen}} \leq 38.14$ ms; $45.00 \leq OG_{\text{Frauen}} \leq 48.40$ ms). Bis auf die Schiefe bei

den männlichen Probanden mit den negativen Werten während dem VAC 3 und VAC 4 ist diese durchgehend leicht rechtsschief. Bei den Frauen und dem VAC 1 mit einem Wert von 2.09 etwas mehr als bei den anderen. Hier zeigt sich auch bei der Wölbung der höchste Wert ($\beta_2 = 5.51$). Zudem liegen bei diesem Interventionstyp keine Normalverteilung vor.

Die deskriptiven Kennwerte der SDNN zu den verschiedenen *Messzeitpunkten* zeigen an Tag *Tag 2* zwei mit Blick auf die einzelnen Mittelwerte kaum Unterschiede innerhalb, als auch zwischen den beiden Gruppen ($45.83 \leq M_{2.5} \leq 49.59$ ms; $44.30 \leq M_{0.7} \leq 46.99$ ms). Dem gegenüber unterscheiden sich die Standardabweichungen, ausgenommen zum Zeitpunkt der BL-Messung deutlich voneinander ($17.53 \leq SD_{2.5} \leq 22.66$ ms; $9.42 \leq SD_{0.7} \leq 18.90$ ms). Die großen Wertebereiche lassen dabei auf eine hohe Streuung innerhalb der Gruppen schließen. Während die Werte der Gruppe 2.5 m über alle Messzeitpunkte normalverteilt sind, trifft dies für die Messung der BL in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m nicht zu.

Die Mittelwerte der SDNN unterscheiden sich je nach *Interventionstyp* hinsichtlich dem Intergruppenvergleich. Differieren innerhalb der Gruppen aber kaum. Im Vergleich zu Tag eins fällt auf, dass auch an Tag zwei die Standardabweichung der Gruppe 2.5 m höher sind ($17.18 \leq SD_{2.5} \leq 21.78$ ms) als in der Gruppe mit einer Distanz der holgrafischen Inhalte von 0.7 m ($11.36 \leq SD_{0.7} \leq 18.90$ ms). Bis auf die Werte der BL in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m sind alle nach Shapiro-Wilk normalverteilt.

LF

Die deskriptiven Kennwerte LF können der folgenden (Tabelle 8) entnommen werden. Die *Tag 1* Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigen, dass die LF-Werte bei den *Messzeitpunkten* t2 ($M = 759.92 \pm 242.53$ ms²) und t4 ($M = 728.77 \pm 138.71$ ms²) keine Normalverteilung aufweisen ($p < .05$).

Tabelle 8: Deskriptive Werte der LF der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkte an Tag 1

	LF (ms ²) Gesamt, Tag 1						
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-S)
			UG	OG			
Baseline	923.99	144.34	854.42	999.56	-1.24	2.90	p>0.05
t1	714.17	136.50	648.38	779.96	-1.45	2.71	p>0.05
t2	759.92	242.53	643.02	876.81	2.79	10.24	p<0.05
t3	785.86	216.38	681.58	890.16	1.59	2.81	p>0.05
t4	728.77	138.71	661.91	795.62	-1.04	1.89	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Die Baseline weist den höchsten Mittelwert ($M = 923.99 \pm 144.34 \text{ ms}^2$) auf. Bei VAC 1 sinkt der Mittelwert deutlich auf $748.54 \pm 258.28 \text{ ms}^2$. Die Werte bei VAC 3 ($M = 721.15 \pm 155.41 \text{ ms}^2$) und VAC 4 ($M = 728.77 \pm 138.71 \text{ ms}^2$) sind dagegen vergleichbar. Die Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigen, dass die Verteilungen bei der Baseline und den *Interventionstypen* VAC 3 und VAC 4 normalverteilt sind ($p > 0.05$). Im Gegensatz dazu weichen die Verteilungen bei VAC 1 und VAC 2 signifikant von der Normalverteilung ab ($p < .05$).

An Tag zwei differieren die Werte weder inter- noch intragruppal stark. Zudem kann zu allen *Messzeitpunkten*, Shapiro-Wilk zu folge, von normalverteilten Daten ausgegangen werden ($p > .05$). Gleiches gilt für die *Interventionstypen* mit einer Ausnahme in der Gruppe 2.5 m. Hier kann bei VAC 5 von keiner Normalverteilung der Werte ausgegangen werden ($p < .05$). Tag 2

HF

Die Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigen, dass die Verteilungen der HF-Werte bei den *Messzeitpunkten* Baseline ($M = 775.56 \pm 137.01 \text{ ms}^2$), t1 ($M = 724.36 \pm 150.99 \text{ ms}^2$) und t3 ($M = 763.53 \pm 118.63 \text{ ms}^2$) keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung aufweisen ($p > 0.05$). Im Gegensatz dazu weichen die Verteilungen sowohl in der Gesamtstichprobe als auch in der Gruppe der Frauen bei t2 ($M = 780.89 \pm 118.39 \text{ ms}^2$) und t4 ($M = 769.39 \pm 262.90 \text{ ms}^2$) signifikant von der Normalverteilung ab ($p < .05$). Bei den Männern kann zum Zeitpunkt t3 von keiner Normalverteilung der Residuen ausgegangen werden. Tag 1

Die höchsten Werte der HF im Vergleich der einzelnen *Interventionstypen* lassen sich zum Zeitpunkt VAC 3 konstatieren ($M = 791.53 \pm 263.34 \text{ ms}^2$), die niedrigsten bei t2 ($M = 763.53 \pm 100.29 \text{ ms}^2$). Die Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigen, dass die Verteilungen der Herzfrequenzwerte bei den *Messzeitpunkten* Baseline und t2 signifikant von der

Normalverteilung abweichen ($p < .05$). Im Gegensatz dazu weisen die Verteilungen der *Messzeitpunkte* t1, t3 und t4 keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung auf ($p > .05$).

An Tag zwei sind die höchsten Werte zum *Messzeitpunkt* in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m zu finden (Abbildung 12). Keine Normalverteilung liegt in beiden Gruppen zum Zeitpunkt der BL-Messung vor ($p < .05$).

Tag 2

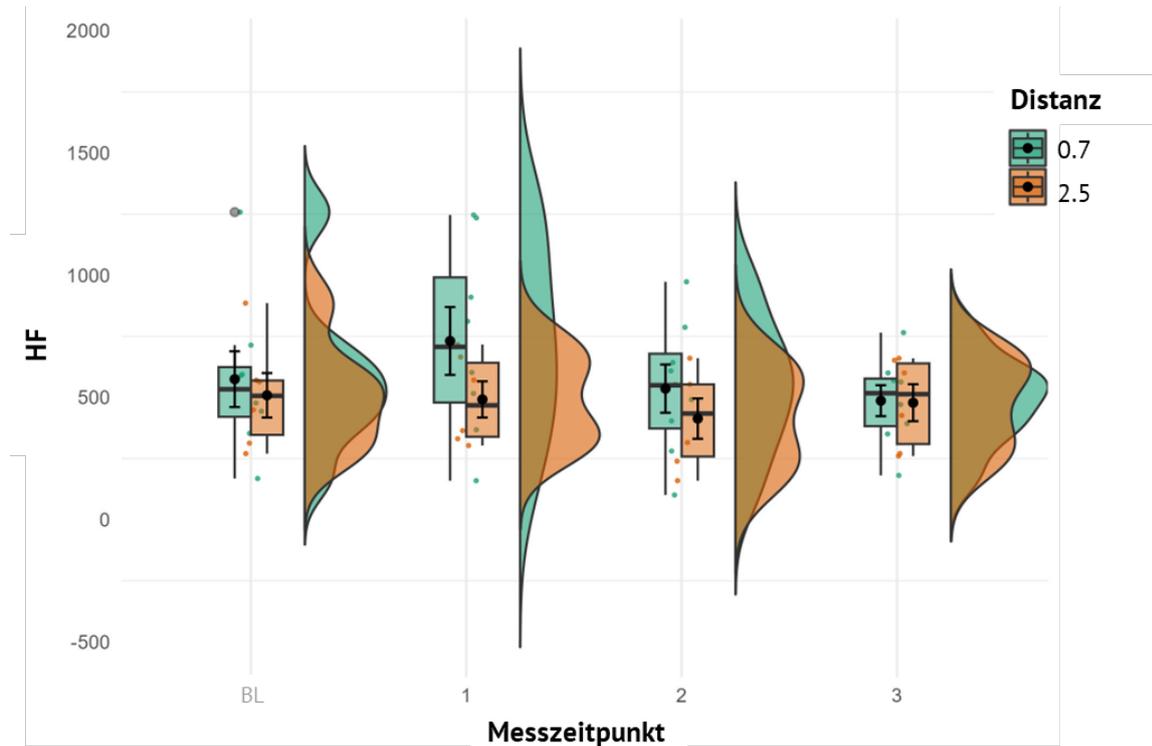


Abbildung 12: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der HF an Tag 2 zu der BL, den unterschiedlichen Messzeitpunkten und Distanzen

Bei den Daten der *Interventionsabhängigen Betrachtung* sind die Voraussetzungen normalverteilter Residuen in der Gruppe 0.7 m für den VAC 7 nicht erfüllt ($p < .05$).

LF/HF

Die LF/HF Ratio weisen an Tag eins insbesondere zum *Messzeitpunkt* der BL-Messung ($M = 1.23 \pm 0.66 \text{ ms}^2$) und t4 ($M = 1.23 \pm 0.66 \text{ ms}^2$) hohe Kurtosiswerte auf. Diese und die Kolmogorov-Smirnov-Tests deuten darauf hin, dass die Verteilungen der Werte bei den Messzeitpunkten BL, VAC 1 ($\beta = 14.25$), VAC 2 ($\beta = 4.03$) und VAC 3 ($\beta = 1.53$) von der

Tag 1

Normalverteilung abweichen ($p < .05$). Im Gegensatz dazu entspricht die Verteilung bei VAC 4 ($\beta = 1.95$) der Normalverteilungsannahme ($p > .05$).

Die für die einzelnen *Interventionstypen* berechneten deskriptiven Kennzahlen sind in der Tabelle 9 detailliert dargestellt. Auffällig ist hierbei der hohe Kurtosiswert zum Zeitpunkt der BL-Messung ($\beta = 12.30$). Von einer Normalverteilung kann nach Kolmogorov-Smirnov lediglich für den *Interventionstyp VAC 4* ausgegangen werden ($p > .05$).

Tabelle 9: Deskriptive Werte der LF/HF Ratio der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkten an Tag 1

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-S)
			UG	OG			
Baseline	1.23	0.34	1.07	1.40	3.13	12.30	$p < 0.05$
VAC 1	1.01	0.27	0.88	1.14	0.93	1.78	$p < 0.05$
VAC 2	0.96	0.23	0.86	1.07	1.65	3.12	$p < 0.05$
VAC 3	1.09	0.67	0.77	1.41	1.31	1.53	$p < 0.05$
VAC 4	1.01	0.28	0.88	1.14	-0.02	1.95	$p > 0.05$

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Die Werte an Tag zwei verhalten sich ähnlich zu denen der LF. Sodass auch hier über alle *Messzeitpunkte* hinweg in beiden Gruppen von einer Normalverteilung nach Shapiro-Wilk ausgegangen werden kann. Wiederum trifft dies auf die Verteilung des *Interventionstyps VAC 5* in der Gruppe 2.5 m nicht zu ($p > .05$). Tag 2

Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)

Die in Tabelle 10 dargestellten deskriptiven Kennzahlen der einzelnen Items zwischen den beiden Gruppen und Testzeitpunkten variieren im Mittel kaum. Für einzelne Items fallen allerdings insbesondere die hohen Kurtosiswerte auf, welche auf eine leptokurtische Verteilung schließen lassen. Die Überprüfung der Normalverteilung der Residuen mittels des Shapiro-Wilk-Tests für jedes der 16 Items ergab zu keinem Zeitpunkt und in keiner der beiden Gruppen eine Bestätigung für Normalverteilung ($p < .05$).

Tabelle 10: Deskriptiven Kennzahlen zu dem VQS

		„Ich habe trockene Augen“						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.86	1.21	1.33	2.40	1.00	-0.68	p<0.05
	Tag 2	1.95	1.33	1.37	2.54	1.03	-0.35	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	2.39	1.44	1.77	3.01	0.54	-1.22	p<0.05
	Tag 2	2.35	1.27	1.80	2.89	0.15	-1.70	p<0.05
		„Meine Augen tränen“						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.27	0.77	0.93	1.61	2.95	8.34	p<0.05
	Tag 2	1.41	1.10	0.92	1.90	2.63	6.04	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.30	0.63	1.03	1.58	1.99	2.94	p<0.05
	Tag 2	1.61	1.08	1.14	2.07	1.61	1.18	p<0.05
		„Meine Augen sind gereizt und brennen“						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.82	1.10	1.33	2.30	0.87	-0.82	p<0.05
	Tag 2	1.59	0.96	1.17	2.02	1.32	0.37	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	2.09	1.16	1.58	2.59	0.39	-1.49	p<0.05
	Tag 2	2.17	1.30	1.61	2.34	0.46	-1.61	p<0.05
		„Ich habe Schmerzen in meinen oder um die Augen“						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.45	1.06	0.99	1.92	2.66	6.73	p<0.05
	Tag 2	1.18	0.50	0.96	1.40	2.91	8.43	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.83	1.11	1.34	2.31	1.02	-0.40	p<0.05
	Tag 2	1.78	1.13	1.30	2.27	1.10	-0.33	p<0.05
		„Ich habe schwere Augen“						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	2.32	1.04	1.86	2.78	0.12	-1.13	p<0.05
	Tag 2	2.23	1.07	1.75	2.70	0.80	0.68	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	2.65	1.23	2.12	3.18	0.10	-1.14	p<0.05
	Tag 2	2.39	1.37	1.80	2.99	0.71	-0.49	p<0.05

„Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können“

				CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG			
Distanz 0.7	Tag 1	1.27	0.63	0.99	1.55	2.23	3.30	p<0.05
	Tag 2	1.14	0.47	0.93	1.34	3.62	13.27	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.13	0.46	0.93	1.32	3.71	13.96	p<0.05
	Tag 2	1.09	0.29	0.96	1.21	3.14	8.61	p<0.05

„Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen“

				CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG			
Distanz 0.7	Tag 1	1.63	1.00	1.19	2.08	1.46	1.02	p<0.05
	Tag 2	1.23	0.50	0.96	1.40	2.91	8.43	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.39	0.89	2.05	1.78	2.05	2.87	p<0.05
	Tag 2	1.26	0.69	0.96	1.56	3.27	11.75	p<0.05

„Text springt vor meinen Augen hin und her“

				CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG			
Distanz 0.7	Tag 1	1.18	0.50	0.96	1.40	2.91	8.43	p<0.05
	Tag 2	1.18	0.50	0.96	1.40	2.91	8.43	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.26	31.76	0.94	1.59	3.03	8.85	p<0.05
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

„Ich sehe Buchstaben oder Linien verschwommen“

				CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG			
Distanz 0.7	Tag 1	1.27	0.55	1.03	1.52	1.99	3.50	p<0.05
	Tag 2	1.23	0.53	0.99	1.46	2.39	5.46	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.30	0.63	1.02	1.58	1.99	2.94	p<0.05
	Tag 2	1.26	0.62	0.99	1.53	2.31	4.26	p<0.05

„Ich werde durch Lichter oder freie Flächen geblendet“

				CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG			
Distanz 0.7	Tag 1	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.09	p<0.05
	Tag 2	1.27	0.70	0.96	1.58	3.18	11.17	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.17	0.49	0.96	1.39	2.99	8.95	p<0.05
	Tag 2	1.22	0.52	0.99	1.44	2.47	5.86	p<0.05

„Ich habe eine verschwommene Sicht“

		CI (95%)						
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.32	0.57	1.07	1.57	1.67	2.15	p<0.05
	Tag 2	1.14	0.35	0.98	1.29	2.27	3.50	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.22	0.52	0.99	1.44	2.47	5.86	p<0.05
	Tag 2	1.22	0.42	1.04	1.40	1.47	0.16	p<0.05

„Ich sehe Dinge doppelt“

		CI (95%)						
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.09	p<0.05
	Tag 2	1.18	0.50	0.96	1.40	2.91	8.43	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.09	0.29	0.96	1.21	3.14	8.61	p<0.05
	Tag 2	1.04	0.21	0.95	1.13	4.80	23.00	p<0.05

„Ich habe Nackenschmerzen“

		CI (95%)						
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.64	1.05	1.17	2.10	1.37	0.47	p<0.05
	Tag 2	1.45	0.96	1.03	1.88	2.08	3.21	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.83	1.11	1.34	2.31	1.02	-0.40	p<0.05
	Tag 2	1.52	0.99	1.09	1.95	1.76	1.83	p<0.05

„Ich habe Kopfschmerzen“

		CI (95%)						
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.59	0.85	1.21	1.97	1.46	1.68	p<0.05
	Tag 2	1.50	0.96	1.07	1.93	1.93	2.72	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	2.30	1.36	1.72	2.89	0.57	-1.23	p<0.05
	Tag 2	1.74	1.14	1.25	2.23	1.58	1.94	p<0.05

„Ich verspüre Übelkeit“

		CI (95%)						
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Distanz 0.7	Tag 1	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.06	p<0.05
	Tag 2	1.14	0.47	0.93	1.34	3.62	13.27	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.04	0.21	0.95	1.13	4.80	23.00	p<0.05
	Tag 2	1.13	0.46	0.93	1.33	3.71	13.96	p<0.05

„Ich verspüre geistige Ermüdung“

				CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
		M	SD	UG	OG			
Distanz 0.7	Tag 1	2.09	0.75	1.76	2.42	0.59	0.86	p<0.05
	Tag 2	1.91	1.11	1.42	2.40	1.12	0.01	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	2.13	1.01	1.69	2.57	0.58	-0.61	p<0.05
	Tag 2	2.22	1.17	1.71	2.72	0.67	-0.23	p<0.05

„Mein Gesicht ist schweißnass“

				CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
		M	SD	UG	OG			
Distanz 0.7	Tag 1	1.14	0.47	0.93	1.34	3.62	13.27	p<0.05
	Tag 2	1.14	0.35	0.98	1.29	2.28	3.50	p<0.05
Distanz 2.5	Tag 1	1.04	0.21	0.95	1.13	4.80	23.00	p<0.05
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Determinationstest**Median Reaktionszeit (MDRT)**

Tabelle 11 zeigt für den Median Reaktionszeit (MDRT) neben dem Mittelwert und der Streuung auch die Kennzahlen des 95%-CI mit Unter- und Obergrenze sowie die Schiefe und Wölbung der Verteilung an Tag eins und zwei. Gleichzeitig wurde für die weitere inferenzstatistische Analyse geprüft, ob die Residuen normalverteilt sind.

Beim Vergleich der Mittelwerte unterscheiden sich diese an den einzelnen Tagen kaum. Ein deutlicherer Unterschied wird erst beim Vergleich beider Tage, besonders in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m, ersichtlich. Die Standardabweichung sowie die Unter- als auch Obergrenze des 95%CI's variieren kaum. Dem Shapiro-Wilk zu Folge trifft die Annahme einer Normalverteilung der Daten zu allen Testzeitpunkten zu.

Tabelle 11: Deskriptiven Kennzahlen der Median Reaktionszeit, Gruppe 0.7 m

				CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
		M	SD	UG	OG			
Tag 1_pre		0.75	0.03	0.74	0.77	-0.84	1.06	p>0.05
Tag 1_post		0.71	0.03	0.69	0.72	< 0.01	-1.33	p>0.05
Tag 2_pre		0.67	0.05	0.65	0.70	0.94	0.66	p>0.05
Tag 2_post		0.65	0.05	0.63	0.68	1.20	1.94	p>0.05

MDRT: Distanz 2.5 m

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	0.74	0.04	0.72	0.75	-0.82	-0.04	p>0.05
Tag 1_post	0.70	0.05	0.67	0.72	0.19	-0.23	p>0.05
Tag 2_pre	0.66	0.04	0.64	0.68	0.99	1.31	p>0.05
Tag 2_post	0.65	0.04	0.63	0.67	0.73	-0.58	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Summe der falschen und ausgelassenen Reaktionen (SFA)

Die *Summe der falschen und ausgelassenen Reaktionen (SFA)* nimmt im Mittel in beiden Gruppen von Testung zu Testung zu (Tabelle 12). Eine ähnliche Tendenz zeigt sich hinsichtlich der Streuung, wobei diese in der Gruppe 0.7 m an Tag eins vom Pre- zum Posttest etwas abnimmt. Die Breite des 95%-CIs bleibt dagegen relativ gleich. In der Gruppe mit einer festen Distanz von 0.7 m zeigen sich ausschließlich positive Schiefwerte. In der Gruppe 2.5 m trifft dies lediglich für die beiden Posttests zu. In dieser Gruppe liegen im Gegensatz zu der Gruppe 2.5 m alle Werte der Wölbung im negativen Bereich. Nach Shapiro-Wilk zu Folge kann von einer Normalverteilung der Residuen ausgegangen über alle Testzeitpunkte hinweg ausgegangen werden.

Tabelle 12: Deskriptiven Kennzahlen der Summe falscher & ausgelassener Reaktionen, Gruppe 0.7 m und 2.5 m.

SFA: Distanz 0.7 m

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	31.11	13.69	24.51	37.70	0.14	0.21	p>0.05
Tag 1_post	26.79	12.44	20.79	32.79	0.41	-0.80	p>0.05
Tag 2_pre	30.68	14.84	23.53	37.84	0.20	-0.88	p>0.05
Tag 2_post	34.00	17.21	25.70	42.30	0.27	-0.80	p>0.05

SFA: Distanz 2.5 m

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	30.37	14.77	23.25	37.49	-0.29	-0.37	p>0.05
Tag 1_post	36.58	19.31	27.27	45.89	0.07	-1.17	p>0.05
Tag 2_pre	36.53	15.37	29.12	43.93	-0.31	-0.26	p>0.05
Tag 2_post	33.26	15.76	25.67	40.86	0.27	-0.35	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Verspäteten Reaktionen (V)

Der Mittelwert der *verspäteten Reaktionen (V)* während dem DT zeigen intergrupale Unterschiede im Vergleich von Tag eins zu Tag zwei. Während die Gruppe 2.5 m bei dem Pretest an Tag zwei ($M = 72.95 \pm 19.17$) kaum über dem Wert des Posttests von Tag eins liegt ($M = 72.05 \pm 14.62$), ist der Wert der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m ($M = 79.53 \pm 16.19$) deutlich über dem des Posttests an Tag eins ($M = 73.37 \pm 19.45$). Die Spanne der 95%-CIs variiert dagegen kaum. In der Gruppe 2.5 m zeigen sich ausschließlich negative Schiefwerte. In der Gruppe 0.7 m trifft dies lediglich für den Pretest an Tag zwei zu. In dieser Gruppe liegen im Gegensatz zu der Gruppe 2.5 m alle Werte der Wölbung im negativen Bereich. Mit Ausnahme der Daten des Posttests in der Gruppe 2.5 m, kann nach Shapiro-Wilk von einer Normalverteilung der Residuen ausgegangen werden ($p > .05$).

Zeitgerechte Reaktionen (Z)

Tabelle 13 stellt die deskriptiven Kennwerte der *zeitgerechten Reaktionen (Z)* für die Gruppe 0.7 m und 2.5 m zu den einzelnen Datenerhebungen an Tag eins und zwei dar. In beiden Gruppen ist im Mittel eine Steigerung von Test zu Test erkennbar. Wobei diese in der Gruppe 2.5 m insbesondere an Tag zwei deutlicher ausfällt als in der anderen Gruppe. Gleichzeitig ist die Standardabweichung und damit die Streuung um den Mittelwert beider Gruppen vergleichbar, lediglich in der Gruppe 2.5 m ist sie an Tag zwei und dem Posttest mit 26.00 größer als im Vergleich zu der Gruppe mit einer festen Distanz von 0.7 m. Hinsichtlich der Werte des 95%-CIS, der Schiefe und Kurtosis zeigt sich diese Tendenz nicht. Zudem kann, anders als zu den Parametern des Determinationstests zuvor durchweg von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden (Tabelle 13).

Tabelle 13: Deskriptiven Kennzahlen der zeitgerechten Reaktionen, Gruppe 0.7 m und 2.5 m

	Z: Distanz 0.7 m						
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	178.16	16.59	170.16	186.15	-0.44	0.35	p>0.05
Tag 1_post	196.63	18.34	187.79	205.47	0.54	-0.18	p>0.05
Tag 2_pre	207.16	21.90	196.60	217.71	-0.43	-0.68	p>0.05
Tag 2_post	211.53	19.15	202.30	220.76	-0.08	0.04	p>0.05

Z: Distanz 2.5 m

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	73.00	14.70	65.92	80.08	-0.12	-0.64	p>0.05
Tag 1_post	72.05	14.62	65.00	79.10	-0.11	0.53	p>0.05
Tag 2_pre	72.95	19.17	63.71	82.19	-0.81	0.01	p>0.05
Tag 2_post	75.11	18.47	66.20	84.01	-1.20	0.75	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Zusätzlich liegen die Werte der Standardabweichung am ersten Tag in der Gruppe 0.7 m über denen der Gruppe 2.5 m, während am zweiten Tag wiederum die Werte der Gruppe 2.5 m über denen der anderen Gruppe liegen. Die weiteren Werte sind wiederum vergleichbar, wobei lediglich an Tag eins in der Gruppe 2.5 m die Breite des 95%-CIs geringer ist als im Vergleich zu der Gruppe 0.7 m. Die Prüfung auf Normalverteilung der Daten mittels des Shapiro-Wilk-Tests zeigt, dass dies auf alle Erhebungen, außer den Posttest an Tag zwei in der Gruppe 2.5 m, zutrifft.

Richtige Reaktionen (ZV)

Ähnlich zu den zeitgerechten Reaktionen verhalten sich die Kennzahlen der *richtigen Reaktionen (ZV)*. Im Mittel liegen hier die Werte der Gruppe 0.7 m an Tag eins unter denen der zweiten Gruppe (Tabelle 14).

Tabelle 14: Deskriptiven Kennzahlen der Rohwerte richtiger Reaktionen Gruppe 0.7 m und 2.5 m

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	240.95	29.72	226.62	255.27	-0.49	-0.59	p>0.05
Tag 1_post	270.00	29.22	255.91	284.09	-0.33	-0.56	p>0.05
Tag 2_pre	286.58	32.20	271.06	302.10	-0.18	-1.80	p<0.05
Tag 2_post	211.53	19.15	202.30	220.76	-0.08	0.04	p>0.05

ZV: Distanz 2.5 m

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	259.47	22.30	248.73	270.22	0.19	-1.42	p>0.05
Tag 1_post	272.74	27.13	259.66	283.12	-0.20	-0.84	p>0.05
Tag 2_pre	286.74	31.76	271.43	302.04	-0.68	0.36	p>0.05
Tag 2_post	222.95	26.01	210.41	235.48	-0.16	-1.19	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

4.2.2 Inferenzstatistik

Nach der detaillierten Untersuchung der Daten mittels deskriptiver Statistik werden im Folgenden die Ergebnisse der inferenzstatistischen Analyse dargestellt, um generalisierbare Schlussfolgerungen über die zugrundeliegenden Populationen ziehen zu können. Zur besseren Übersicht erfolgt anschließend eine zusammenfassende Darstellung der relevanten Ergebnisse der einzelnen Parameter als Zwischenfazit.

4.2.2.1 Pupillometrie

Zur Überprüfung der Ergebnisse, wurde bei einer Voraussetzungsverletzung normalverteilter Daten neben der standardmäßig durchzuführenden rmANOVA, eine robuste rmANOVA auf Grundlage getrimmter Mittelwerte durchgeführt. Dementsprechend werden im Folgenden die Ergebnisse beider Verfahren berichtet.

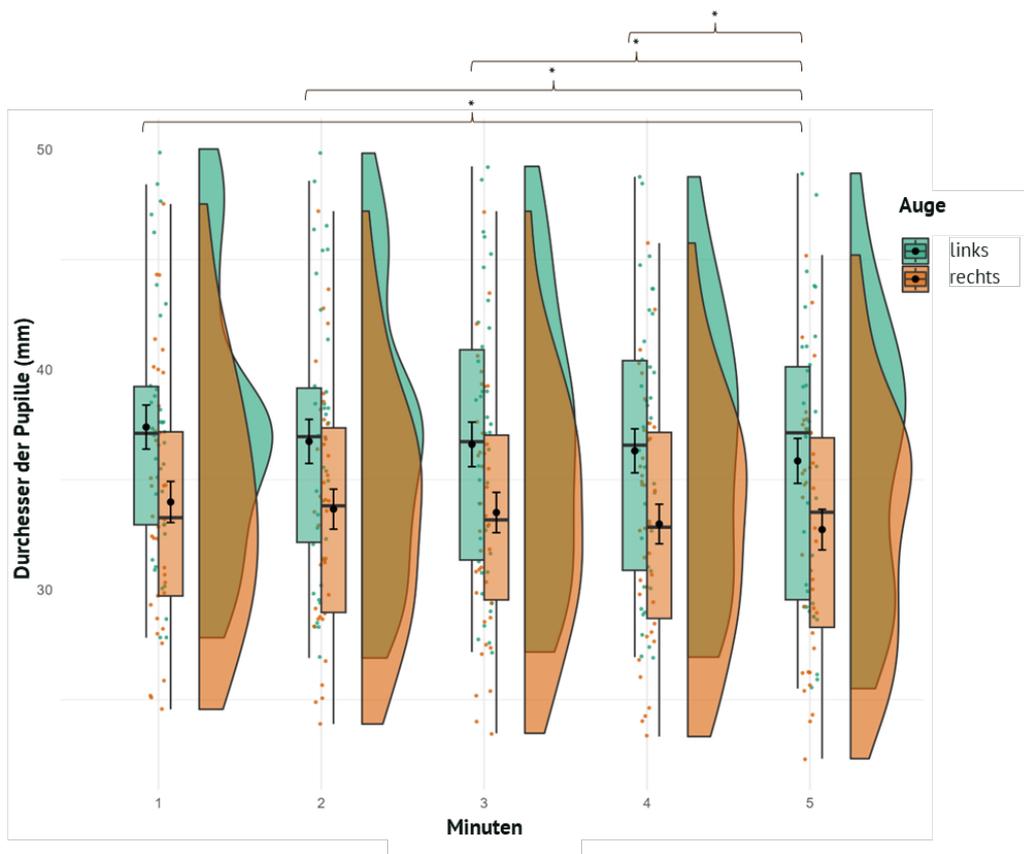
Unterschiede der Messzeitpunkte während der Exposition in AR –Interventionstyp VAC 1

Tag 1

Die Unterschiede zwischen den Werten des rechten und linken Auges über die fünf Messzeitpunkte wurde mit Hilfe eines nichtparametrischen Vorzeichen Tests analysiert. Für den *Interventionstyp VAC 1* ergab der Mauchly-Test bei beiden Augen einen signifikanten Verstoß gegen die Annahme der Sphärizität [$\chi^2_{(9)} = 94.62, p < .001$], weshalb eine Greenhouse-Geisser Korrektur der Freiheitsgrade vorgenommen wurde. Die standardmäßig durchgeführte rmANOVA weist hierbei auf einen signifikanten Einfluss der einzelnen Zeitpunkte auf den Pupillendurchmesser des linken ($F_{(1.67, 62.06)} = 6.05, p = .006, \eta_p^2 = .14$) und rechten Auges ($F_{(1.99, 73.57)} = 7.99, p < .001, \eta_p^2 = .18$) hin. Genauer zeigen sich die Unterschiede für das linke Auge mit Hilfe der Bonferoniadjustierten paarweisen Vergleiche zwischen *Minute 1 und 5* ($p = .046$, 95%-CI [0.02, 3.06]). Für das rechte Auge dagegen zwischen *Minute 1 und 4* ($p = .041$, 95%-CI

[0.03, 1.98], *Minute 1 und 5* ($p = .013$, 95%-CI [0.18, 2.34], *Minute 2 und 5* ($p = .039$, 95%-CI [0.03, 1.83]) sowie *Minute 3 und 5* ($p = .018$, 95%-CI [0.09, 1.47]).

Für das *linke Auge* liefert die 10% trimmbasierte rmANOVA zunächst knapp kein signifikantes Ergebnis ($F_{(2.91, 58.06)} = 2.91$, $p = .127$, $\eta_p^2 = .13$). Dennoch wurden nachfolgend paarweise Vergleiche mit einer Korrektur nach Hochberg (1988) durchgeführt. Zum einen bestätigt sich hier der signifikante Unterschied zwischen der *Minute 1 und 5* ($p = .002$, 95%-CI [0.16, 2.67]) und zum anderen sind im Vergleich von *Minute 2 zu 5* mit ($p = .003$, 95%-CI [0.08, 1.95], *Minute 3 zu 5* ($p = .002$, 95%-CI [0.08, 1.67]) sowie *Minute 4 zu 5* mit $p = .006$, 95%-CI [-0.01, 1.01] weitere signifikante Unterschiede ersichtlich (Abbildung 13). Für das *rechte Auge* ist zwar global betrachtet ein signifikantes Ergebnis ersichtlich $F_{(2.25, 67.51)} = 4.71$, $p = .010$, $\eta_p^2 = .14$) die paarweisen Vergleiche zeigen allerdings für keinen der Minutenvergleiche signifikante Unterschiede.



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 13: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der getrimmten Mittelwerte des linken und rechten Pupillendurchmesser, während dem Interventionstyp VAC 1

Die Ergebnisse des Vorzeichentests hinsichtlich der Unterschiede zwischen den beiden Augen zeigen, dass bei allen fünf Messzeitpunkten eine überwiegende Anzahl von Probanden

negative Differenzen zwischen den Augenwerten aufwiesen, während nur eine geringe Anzahl positive Differenzen auftraten. Es wurden keine Fälle von Gleichheit zwischen den Augenwerten beobachtet. Die Teststatistiken (Tabelle 15) zeigen, dass die Unterschiede zwischen den Werten des Durchmessers der Pupille zu allen fünf Messzeitpunkten statistisch signifikant ist ($p < .001$), wobei das rechte Auge tendenziell niedrigere Werte aufweist als das linke Auge.

Tabelle 15: Teststatistiken Vorzeichentest VAC 1, linkes rechtes Auge

	Rt1 – Lt1	Rt2 – Lt2	Rt3 – Lt3	Rt4 – Lt4	Rt5 – Lt5
Z	-5.03	-4.70	-4.70	-4.70	-4.38
Asymp. Sig. (2-seitig)	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Unterschiede der Messzeitpunkte während der Exposition in AR – Interventionstyp VAC 2

Entgegen der vorherigen Untersuchung des Durchmessers der Pupille zeigt sich während dem *Interventionstyp VAC 2* und mit Greenhouse-Geisser Korrektur kein signifikantes Ergebnis für das linke Auge ($F_{(1.31, 47.29)} = 1.46$, $p = .240$, $\eta_p^2 = .04$). Die nach Bonferroni korrigierten paarweisen Vergleiche verorten aber zwischen *Minute 1 und 3* ($M_{\text{Diff}} = -1.57$, 95%-CI [-2.53, -0.60], $p < .001$) sowie *Minute 1 und 5* ($M_{\text{Diff}} = -1.37$, 95%-CI [-2.37, -0.35], $p = .003$) einen statistisch signifikanten Unterschied. Die Überprüfung der Ergebnisse mit Hilfe der robusten rmANOVA und einem Trimm der Mittelwerte von 10% weist ebenfalls zunächst auf kein signifikantes Ergebnis hin ($F_{(1.29, 38.76)} = 1.21$, $p = .292$, $\eta_p^2 = .154$), dennoch zeigt sich auch hier ein Unterschied zwischen *Minute 1 und 3* ($p < .001$, 95%-CI [-2.53, -0.40]) sowie *Minute 1 und 5* ($p < .001$, 95%-CI [-2.47, -0.39]). Ähnlich verhalten sich die Werte auch für das rechte Auge. Zunächst ist auch hier kein Haupteffekt für den Faktor Zeit ersichtlich (Greenhouse Geisser $F_{(1.27, 45.80)} = 0.81$, $p = .402$, $\eta_p^2 = .02$), während die paarweisen Vergleiche wiederum einen signifikanten Unterschied äquivalent zu dem linken Auge zwischen *Minute 1 und 3* ($M_{\text{Diff}} = -1.09$, 95%-CI [-2.01, -0.18], $p = .010$) sowie *Minute 1 und 5* ($M_{\text{Diff}} = -1.09$, 95%-CI [-2.14, -0.03], $p = .040$) zeigt. Die Analyse der robusten rmANOVA bestätigt zum einen die fehlende Signifikanz bei der globalen Betrachtung des Haupteffekts Zeit ($F_{(1.24, 37.25)} = 0.61$, $p = .472$, $\eta_p^2 = .15$) zum anderen weisen die paarweisen Vergleiche auf einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen *Minute 1 und 3* ($p < .001$, 95%-CI [-2.05, -0.33]) sowie *Minute 1 und 5* ($p = .002$, 95%-CI [-2.22, -0.09]) hin.

Die Mittels Vorzeichentest untersuchten Differenzen zwischen dem linken und dem rechten Auge über die Zeit, aufgeteilt in fünf gleich große Zeitblöcke zeigt, dass bei allen fünf Messzeitpunkten eine überwiegende Anzahl von Probanden negative Differenzen zwischen den Werten des Durchmessers der Pupille aufwies, während eine geringere Anzahl positive Differenzen auftrat. Keiner der Fälle weist eine Gleichheit zwischen den Werten auf (Tabelle 16).

Tabelle 16: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 2

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	27	10	0	37
Rt2 – Lt2	25	12	0	37
Rt3 – Lt3	29	8	0	37
Rt4 – Lt4	26	11	0	37
Rt5 – Lt5	27	10	0	37

Um die statistische Signifikanz der Differenzen zu überprüfen, wurden Teststatistiken berechnet. Die Z-Werte und die zugehörigen asymptotischen Signifikanzwerte sind in der Tabelle 17 aufgeführt. Die Signifikanzwerte zeigen, dass die Nullhypothese der Symmetrie der Differenzverteilung zu allen Zeitpunkten verworfen wird ($p < .05$).

Tabelle 17: Teststatistiken Vorzeichentest VAC 2, linkes rechtes Auge

	Rt1 – Lt1	Rt2 – Lt2	Rt3 – Lt3	Rt4 – Lt4	Rt5 – Lt5
Z	-2.63	-1.97	-3.29	-2.30	-2.63
Asymp. Sig. (2-seitig)	.009	.049	.001	.021	.009

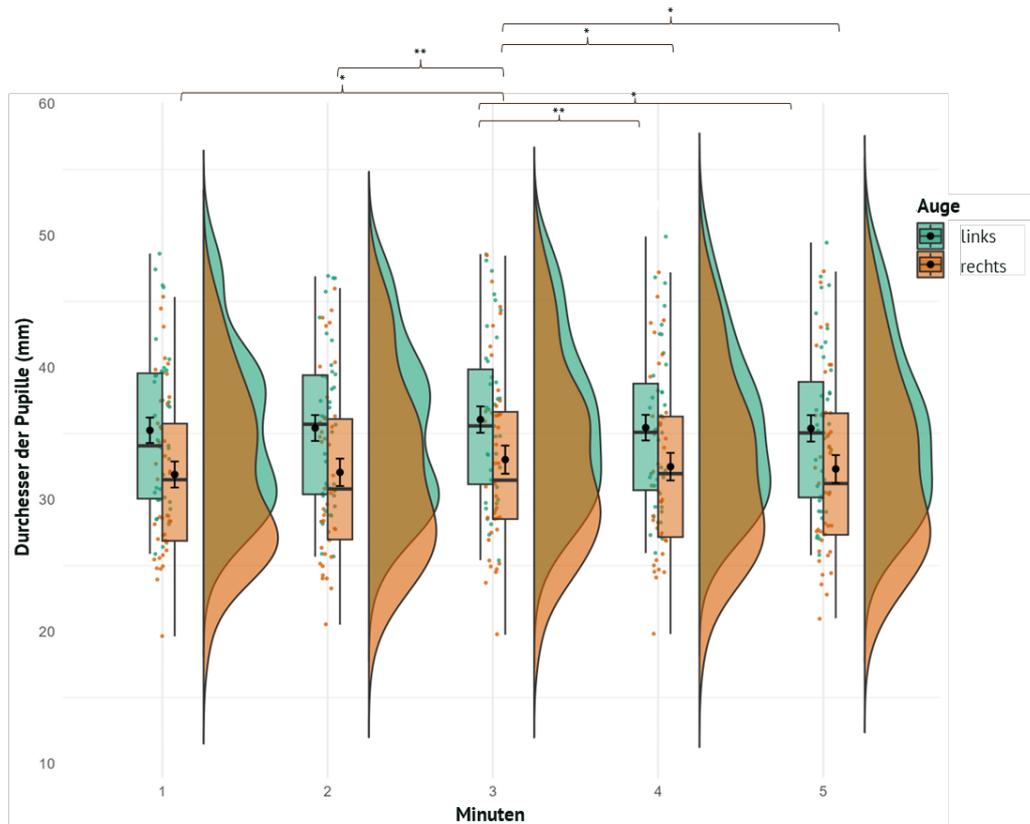
R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Unterschiede der Messzeitpunkte während der Exposition in AR – Interventionstyp VAC 3

Für den *Interventionstyp VAC 3* zeigen die Ergebnisse der wiederholten Messungen der standardmäßigen ANOVA für das linke Auge zunächst knapp keinen statistisch signifikanten Effekt an (Greenhouse Geisser Korrektur $F_{(2,19, 83.33)} = 2.59$, $p = .076$, $\eta_p^2 = .06$). Die nach Bonferroni korrigierten paarweisen Vergleiche der einzelnen Minuten ergeben allerdings signifikante Unterschiede beim Vergleich von *Minute 3 und 4* ($M_{\text{Diff}} = 0.66$, 95%-CI [0.22, 1.10], $p < .001$) und *Minute 3 und 5* ($M_{\text{Diff}} = 0.72$, 95%-CI [0.09, 1.35], $p = .016$).

Für das rechte Auge weist die Hauptanalyse bereits auf einen signifikanten Unterschied zwischen einzelnen Messzeitpunkten hin (Greenhouse Geisser Korrektur $F_{(1,90, 72.47)} = 6.81$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .15$). Genauer unterscheidet sich der Pupillendurchmesser des rechten Auges von

Minute 1 zu 3, Minute 2 zu 3, Minute 3 zu 4 und Minute 3 zu 5 signifikant voneinander (Abbildung 14).



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 14: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der getrimmten Mittelwerte des linken und rechten Pupillendurchmesser, während dem Interventionstyp VAC 3

Die Analyse der Werte der linken als auch rechten Pupille mit der robuste rmANOVA bestätigen die Ergebnisse der standardmäßig durchgeführten rmANOVA. Während für das linke Auge auch hier kein signifikanter Haupteffekt ersichtlich ist ($F_{(2,28, 73.00)} = 2.24$, $p = .107$, $\eta_p^2 = .07$), ist das Ergebnis der rmANOVA für das rechte Auge signifikant ($F_{(2,25, 67.51)} = 4.71$, $p = .010$, $\eta_p^2 = .14$). Bei den paarweisen Vergleichen für das linke Auge lässt sich sowohl ein signifikanter Unterschied zwischen Minute 2 und 3 ($p < .001$, 95%-CI [-1.25, -0.27]) sowie Minute 3 und 4 ($p < .001$, 95%-CI [0.17, 1.18]) verorten. Ein signifikanter Unterschied zwischen Minute 1 und 3 ($p = .042$, 95%-CI [-1.67, 0.29]) kann dagegen nicht bestätigt werden. Für die um 10% getrimmten Werte des rechten Auges zeigen sich wie schon bei der standardmäßig durchgeführten rmANOVA signifikante Unterschiede zwischen Minute 1 und 3 ($p = .001$, 95%-CI [-1.96, -0.16]), Minute 2 und 3 ($p < .001$, 95%-CI [-1.43, -0.56]) sowie zwischen Minute 3 und 4 ($p = .001$, 95%-CI [0.10, 1.01]) und Minute 3 und 5 ($p = .004$, 95%-CI [0.02, 1.35]). Zudem zeigt

sich bei den paarweisen Vergleichen der getrimmten Werte ein signifikanter Unterschied bei Minute 2 und 4 ($p = .005$, 95%-CI [-0.90, -0.001]).

Die Ergebnisse auf mögliche Unterschiede zwischen den beiden Pupillen zeigen, dass es in den meisten Fällen mehr negative als positive Differenzen gab (Tabelle 18):

Tabelle 18: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 3

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	35	4	0	39
Rt2 – Lt2	35	4	0	39
Rt3 – Lt3	31	8	0	39
Rt4 – Lt4	34	5	0	39
Rt5 – Lt5	33	6	0	39

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Des Weiteren wurden Vorzeichentests durchgeführt, um zu überprüfen, ob die Verteilung der Differenzen signifikant von null abweicht. Die Teststatistiken (Z-Werte) und die zugehörigen asymptotischen Signifikanzwerte sind in der folgenden Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19: Teststatistiken Vorzeichentest VAC 3, linkes rechtes Auge

	Rt1 – Lt1	Rt2 – Lt2	Rt3 – Lt3	Rt4 – Lt4	Rt5 – Lt5
Z	-4.80	-4.80	-3.52	-4.48	-4.16
Asymp. Sig. (2-seitig)	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Demnach kann in allen Fällen die Nullhypothese der Symmetrie der Differenzverteilung verworfen wird, was darauf hindeutet, dass eine systematische Abweichung von null vorliegt und somit der Unterschied zwischen dem linken und rechten Auge signifikant ist.

Unterschiede der Messzeitpunkte während der Exposition in AR – Interventionstyp VAC 4

Die für den Interventionstyp VAC 4 und das linke Auge berechnete rmANOVA zeigt keinen statistisch signifikanten Unterschied (Greenhouse-Geisser $F_{(1.97, 69.18)} = 1.62$, $p = .206$, $\eta_p^2 = .04$). Auch für das rechte Auge zeigt sich keine Signifikanz im Vergleich der einzelnen Minutenblöcke (Greenhouse-Geisser $F_{(1.65, 57.56)} = 0.72$, $p = .464$, $\eta_p^2 = .02$). Die robuste rmANOVA bestätigt diese Ergebnisse mit $F_{(2.27, 65.80)} = 1.29$, $p = .283$, $\eta_p^2 = .04$ für das linke und $F_{(1.69, 48.93)} = 0.51$, $p = .575$, $\eta_p^2 = .02$ für das rechte Auge.

Wie bereits bei den Interventionstypen zuvor wurde auch für den VAC 4 eine Analyse zu Häufigkeiten von negativen und positiven Differenzen sowie das Vorhandensein von Bindungen zwischen dem rechten und linken Auge zu den fünf verschiedenen

Minutenblöcken untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine vergleichbare Verteilung wie zu den Interventionstypen zuvor, mit einer klaren Überzahl an negativen Differenzen und keiner nachweisbaren Bindung zwischen den Blöcken (Tabelle 20).

Tabelle 20: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 4

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	30	6	0	36
Rt2 – Lt2	31	5	0	36
Rt3 – Lt3	31	5	0	36
Rt4 – Lt4	32	4	0	36
Rt5 – Lt5	31	5	0	36

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Die Ergebnisse der Teststatistiken des Vorzeichenstests (Z-Werte) und der zugehörigen asymptotischen Signifikanzwerte sind in der nachfolgenden Tabelle 21 aufgeführt:

Tabelle 21: Teststatistiken Vorzeichenstest VAC 4, linkes rechtes Auge

	Rt1 – Lt1	Rt2 – Lt2	Rt3 – Lt3	Rt4 – Lt4	Rt5 – Lt5
Z	-3.83	-4.17	-4.17	-4.50	-4.17
Asymp. Sig. (2-seitig)	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Die sehr geringen p -Werte weisen darauf hin, dass die Nullhypothese der Symmetrie der Differenzverteilung in allen Fällen verworfen wird. Dies deutet darauf hin, dass die festgestellte Asymmetrie systematisch und nicht zufällig ist.

Unterschiede der Messzeitpunkte während der Exposition in AR – Interventionstyp VAC 5

Tag 2

Die Untersuchung des Durchmessers der Pupille für den *Interventionstyp VAC 5* wurden mithilfe einer Mixed-rmANOVA untersucht, um neben der Zeit einen möglichen Einfluss der Gruppenzugehörigkeit zu analysieren. Aufgrund einer erneuten Verletzung der Voraussetzungen in Bezug auf die Sphärizität ($\chi^2_{(9)} = 159.63, p < .001$) wurde eine Korrektur nach Greenhouse-Geisser durchgeführt. Während der Effekt der Gruppenzugehörigkeit für das linke Auge statistisch nicht signifikant ist ($F_{(1, 38)} = 0.46, p = .503, \eta_p^2 = .012$), deutet der signifikante Haupteffekt Zeit ($F_{(1.37, 51.90)} = 5.46, p = .003, \eta_p^2 = .126$) darauf hin, dass sie Variation des Durchmessers der Pupille durch den Haupteffekt Zeit erklärt werden kann. Die Wechselwirkung zwischen der Gruppe und der Zeit ist wiederum statistisch nicht signifikant ($F_{(1.37, 51.90)} = 0.41, p = .591, \eta_p^2 = .011$). Vergleichbare Ergebnisse zeigt die robuste Mixed-rmANOVA mit einem Trimm der Mittelwerte von 10% (Tabelle 22).

Tabelle 22: Ergebnisse der robusten Mixed-ANOVA für das linke Auge und den Interventionstyp VAC 1, Tag 2 unter Verwendung von *bwtrim*

Effect	df ₁	df ₂	F(df ₁ , df ₂)	p	η _p ²
Gruppe	1	29.63	0.45	.508	.02
Messzeitpunkt	4	22.88	9.94	<.001**	.67
Gruppe x Messzeitpunkt	4	22.88	1.77	.170	.63

**p < .001

Für die Gruppe mit einer festen Distanz von 2.5m zeigt sich nach Greenhouse Geisser Korrektur für das linke Auge kein signifikanter Effekt über die Zeit ($F_{(1,35, 25.65)} = 2.71, p = .102, \eta_p^2 = .12$). Dennoch verorten die Bonferroniadjustierten paarweisen Vergleiche signifikante Unterschiede zwischen Minute 1 und 3 ($M_{\text{Diff}} = 3.46, 95\text{-CI [1.31, 5.61]}, p < .001$) und zwischen Minute 1 und 5 ($M_{\text{Diff}} = 2.71, 95\text{-CI [0.53, 4.89]}, p = .009$). Des Weiteren zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Minute 2 und 3 ($M_{\text{Diff}} = 1.93, 95\text{-CI [0.98, 2.89]}, p < .001$). Die paarweisen Vergleiche der trimmbasierten Analyse des WRS2 Packages in R geben für die Gruppe mit einer Distanz von 2.5 und das linke Auge knapp keine signifikante Unterschiede aus ($F_{(1,53, 22.98)} = 3.35, p = .064, \eta_p^2 = .18$).

Zwischen Minute 1 und 3 ($p < .001, 95\text{-CI [1.10, 4.91]}$), Minute 1 und 5 ($p = .002, 95\text{-CI [0.22, 4.39]}$), sowie zwischen Minute 2 und 3 ($p < .001, 95\text{-CI [0.74, 2.98]}$) zeigt sich nach Durchführung der paarweisen Vergleiche dennoch ein signifikanter Unterschied bei den getrimmten Werten der *rmmcp*-Funktion und entsprechen hinsichtlich ihrer Signifikanz der zuvor durchgeführten *rmANOVA*.

Die Ergebnisse der standardmäßig durchgeführten Mixed-*rmANOVA* sind in (Tabelle 23) aufgeführt. Dem nach weist lediglich der Haupteffekt Zeit einen signifikanten Einfluss auf den Durchmesser der Pupille des rechten Auges auf.

Tabelle 23: Ergebnisse der standardmäßig durchgeführten Mixed-*rmANOVA* für das rechte Auge und den Interventionstyp VAC 5, Zwischensubjektfaktor „Gruppe“, Tag 2

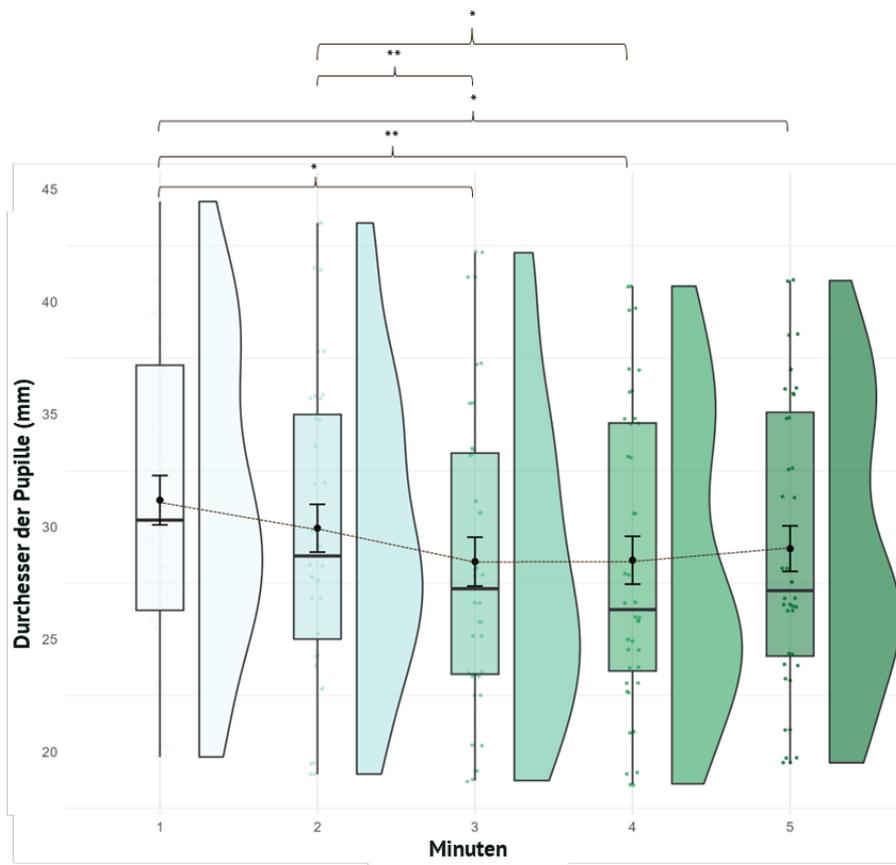
Effect	df ₁	df ₂	F(df ₁ , df ₂)	p	η _p ²
Gruppe	1	38.00	1.24	.273	.03
Messzeitpunkt	2.23	84.68	25.31	<.001**	.40
Gruppe x Messzeitpunkt	2.23	84.68	2.40	.091	.06

**p < .001

Einen statistisch signifikanten Haupteffekt ist bei der Untersuchung des Pupillendurchmessers des rechten Auges mit Hilfe der robusten Mixed-*rmANOVA* ebenfalls für den Faktor Zeit ersichtlich ($F_{(4, 23,57)} = 8.52, p < .001, \eta_p^2 = .591$). Anders als bei der vorherigen standardmäßig durchgeführten *rmANOVA* zeigt sich zu dem ein statistisch signifikantes Ergebnis bei der Interaktion von Gruppe und Zeit ($F_{(4, 23,57)} = 3.03, p = .038, \eta_p^2 = .340$). Im

Gegensatz dazu erklärt die Gruppenzugehörigkeit nicht die Varianz des Pupillendurchmessers während des *Interventionstyps VAC 5* ($F_{(1, 30.00)} = 0.88, p = .356, \eta_p^2 = .029$). Genauer lässt sich der signifikante Unterschied zwischen *Minute 1 und 2*, *Minute 1 und 3*, *Minute 1 und 4*, *Minute 1 und 5* sowie *Minute 2 und 3* und *Minute 2 und 5* verorten.

Bei der Untersuchung der beiden Gruppen getrennt voneinander bestätigt sich für das rechte Auge in der Gruppe 2.5 ein statistisch signifikanter Haupteffekt über die Zeit (Greenhouse-Geisser $F_{(2.37, 44.99)} = 14.93, p < .001, \eta_p^2 = .43$). Der Auswertung der paarweisen Vergleiche zu Folge sind die Unterschiede zwischen *Minute 1 und 3*, *Minute 1 und 4*, *Minute 1 und 5* sowie *Minute 2 vs. 3* und *Minute 2 vs. 4* zu finden. Die Analyse der getrimmten Werte bestätigt diese Ergebnisse (Abbildung 15).



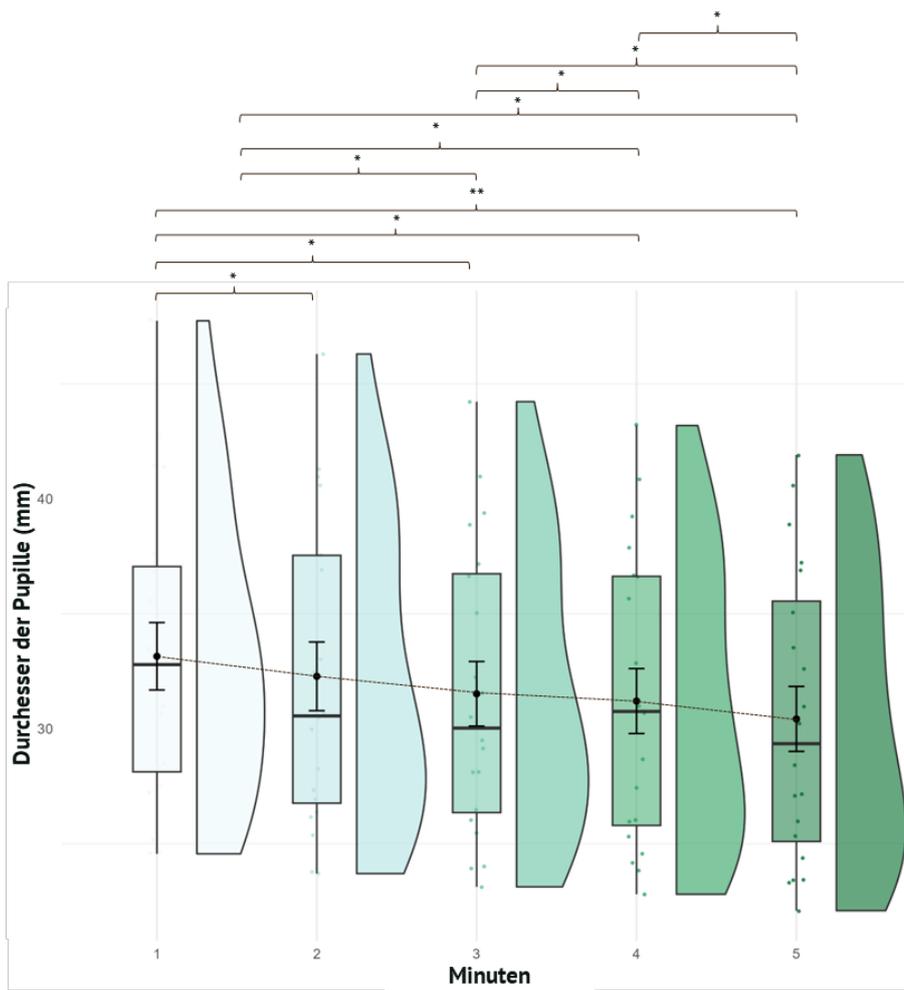
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 15: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für der getrimmten Mittelwerte rechten Pupillendurchmessers in der Gruppe 2.5 m, während dem Interventionstyp VAC 5, Tag 2

In der Gruppe mit einer festen Distanz der holografischen Objekte in AR von 0.7 m weist die Hauptanalyse der robusten *rmANOVA* auf keinen Einfluss der Zeit auf die Variation des Pupillendurchmessers des linken Auges hin ($F_{(1.42, 21.31)} = 2.30, p = .137, \eta_p^2 = .13$). Die nach Hochberg (1988) adjustierten paarweisen Vergleiche geben dennoch einen Unterschied

zwischen *Minute 1 und 2* ($p < .001$, 95%-CI [0.30, 1.87]), *Minute 1 und 3* ($p < .001$, 95%-CI [0.34, 2.96]), *Minute 1 und 5* ($p < .001$, 95%-CI [1.36, 4.28]) sowie *Minute 2 und 5* ($p = .001$, 95%-CI [0.28, 3.37]) an.

Andere Ergebnisse zeigen sich hinsichtlich des rechten Auges. Mit $F_{(2,18, 32,64)} = 9.03$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .38$ ist bereits vor Durchführung der paarweisen Vergleiche ein statistisch signifikanter Effekt ersichtlich. Genauer können diese zu allen Zeitpunkten mit Ausnahme von *Minute 2 und 3* sowie *Minute 3 und 4* nach Hochbergkorrektur (1988) konstatiert werden (Abbildung 16).



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 16: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der getrimmten Mittelwerte rechten Pupillendurchmessers in der Gruppe 0.7 m, während dem Interventionstyp VAC 5, Tag 2

Bei dem *Interventionstyp VAC 5* zeigen sich in beiden Gruppen vorwiegend negative Differenzen (Tabelle 24 und Tabelle 25).

Tabelle 24: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 5, Gruppe 0.7 m, Tag 2

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	17	3	0	20
Rt2 – Lt2	17	3	0	20
Rt3 – Lt3	17	3	0	20
Rt4 – Lt4	13	7	0	20
Rt5 – Lt5	16	4	0	20

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Tabelle 25: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 5, Gruppe 2.5 m

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	17	3	0	20
Rt2 – Lt2	17	3	0	20
Rt3 – Lt3	17	3	0	20
Rt4 – Lt4	13	7	0	20
Rt5 – Lt5	15	5	0	20

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Die Ergebnisse zeigen signifikante Unterschiede zwischen der rechten und linken Pupille für die Zeitpunkte t1 bis t3 für beide Gruppen ($p = .003$) und für den Zeitpunkt t5 für die Gruppe mit einer festen Distanz von 2.5 m ($p = .041$). Für den Zeitpunkt t4 zeigt sich in beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied ($p = .263$).

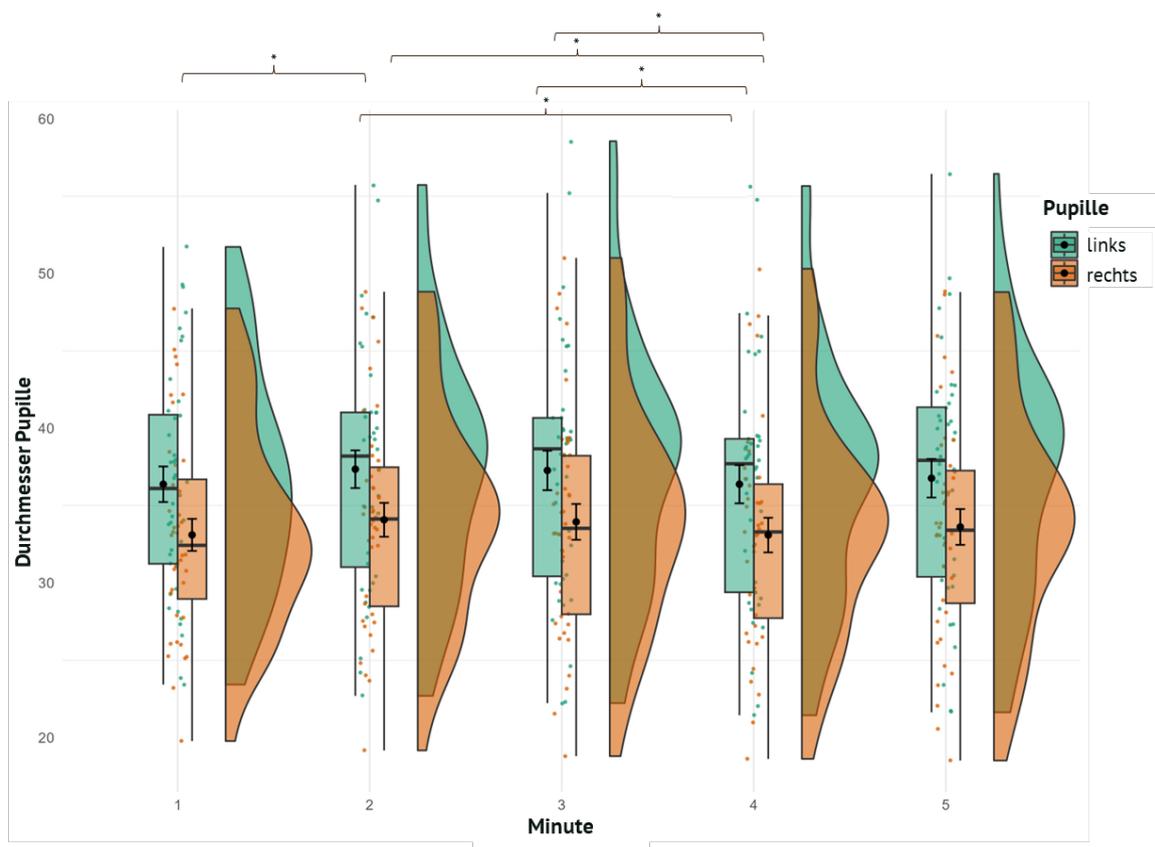
Unterschiede der Messzeitpunkte während der Exposition in AR – Interventionstyp VAC 6

Bei der zweiten *Intervention* an Tag zwei, dem VAC 6 ist bei der standardmäßig durchgeführten Mixed-rmANOVA ein statistisch signifikantes Ergebnis bei dem Durchmesser der linken Pupille für den Hauptfaktor Zeit (Greenhouse-Geisser $F_{(2.41, 91.59)} = 3.12, p = .040, \eta_p^2 = .08$) ersichtlich. Für den Faktor Gruppe ($F_{(1, 38.00)} = 0.75, p = .392, \eta_p^2 = .02$) sowie dessen Interaktion mit dem Faktor Zeit sind nicht signifikant ($F_{(2.41, 91.59)} = 0.66, p = .545, \eta_p^2 = .02$). Die paarweisen Vergleiche der einzelnen Minutenblöcke mit Bonferroni-Korrektur zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Teilmessungen. Ähnlich verhalten sich die Werte des rechten Auges. Auch hier zeigt sich lediglich mit Blick auf den Hauptfaktor Zeit ein statistisch signifikantes Ergebnis ($F_{(2.66, 101.07)} = 4.46, p = .008, \eta_p^2 = .11$) während der Hauptfaktor Gruppe ($F_{(1, 38.00)} = 0.81, p = .375, \eta_p^2 = .02$) als auch die Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit keinen Einfluss auf den Durchmesser der Pupille hat ($F_{(2.66, 101.07)} = 0.81, p = .478, \eta_p^2 = .02$).

Das Ergebnis der robusten Mixed-rmANOVA für den Pupillendurchmesser des linken Auges zeigt ein statistisch signifikantes Ergebnis für den Hauptfaktor Minute ($F_{(4, 22.94)} = 7.08, p < .001, \eta_p^2 = .55$). Der Hauptfaktor Gruppenzugehörigkeit ($F_{(1, 29.83)} = 0.71, p = .41, \eta_p^2 = .02$) sowie die

Interaktion zwischen den beiden Faktoren ist dagegen nicht signifikant, was das Ergebnis der zuvor durchgeführten standardmäßigen Mixed-rmANOVA bestätigt. Bei den paarweisen Vergleichen der einzelnen Messzeitpunkte mit Hochberg (1988) Korrektur ist ein Unterschied zwischen *Minute 2 und 4* ($p = .004$, 95%-CI [0.01, 1.83]) und *Minute 3 und 4* ($p = .003$, 95%-CI [0.05, 1.50]) ersichtlich.

Für das rechte Auge ist den Ergebnissen der robusten Mixed-rmANOVA vergleichbar zu denen des linken Auges kein signifikanter Einfluss der Gruppe ($F_{(1, 29.60)} = 0.79$, $p = .382$, $\eta_p^2 = .03$) aber des Hauptfaktor Zeit ($F_{(4, 22.58)} = 7.78$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .58$) ersichtlich. Die Wechselwirkung von Gruppe und Zeit weist wiederum keine Signifikanz ($F_{(4, 22.58)} = 1.41$, $p = .263$, $\eta_p^2 = .20$) auf. Ein Unterschied zeigt sich auf Basis der paarweisen Vergleiche zwischen *Minute 1 und 2* ($p = .002$, 95%-CI [-1.67, -0.07]) sowie zwischen *Minute 2 und 4* ($p = .002$, 95%-CI [0.08, 1.80]) und *Minute 3 und 4* ($p = .002$, 95%-CI [0.07, 1.40]) (Abbildung 17).



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 17: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der Mittelwerte des linken und rechten Pupillendurchmessers, während dem Interventionstyp VAC 6, Tag 2.

Für die Gruppe, in der die holografischen Objekte auf einer festen Distanz von 0.7 m platziert wurden, zeigen die in Tabelle 26 dargestellten Häufigkeiten der Differenzen, dass über alle Zeitpunkte hinweg mehr negative als positive Differenzen vorliegen. Die entsprechenden Teststatistiken (Tabelle 27) weisen für jede Teilmessung einen Wert von $p < .001$ auf, was darauf hindeutet, dass die Differenzen zwischen der linken und rechten Pupille für alle gemessenen Zeitpunkte statistisch signifikant verschieden ist.

Tabelle 26: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 6, Gruppe 0.7 m, Tag 2

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	18	2	0	20
Rt2 – Lt2	18	2	0	20
Rt3 – Lt3	20	0	0	20
Rt4 – Lt4	19	0	0	20
Rt5 – Lt5	18	2	0	20

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Tabelle 27: Teststatistiken Vorzeichentest VAC 6, linkes rechtes Auge, Gruppe 0.7 m, Tag 2

	Rt1 – Lt1	Rt2 – Lt2	Rt3 – Lt3	Rt4 – Lt4	Rt5 – Lt5
Exakte Sig. (2-seitig)	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Die Häufigkeiten der Differenzen in der zweiten Gruppe zeigen ein ähnliches Muster wie in der Gruppe 0.7 m. Auch hier zeigen sich mehr negative als positive Differenzen (Tabelle 28). Die Teststatistiken zeigen ebenfalls für jede Messung signifikante Abweichungen von Null ($p < .05$) (Tabelle 29).

Tabelle 28: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 6, Gruppe 2.5, Tag 2

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	17	3	0	20
Rt2 – Lt2	16	4	0	20
Rt3 – Lt3	16	4	0	20
Rt4 – Lt4	16	4	0	20
Rt5 – Lt5	16	4	0	20

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Tabelle 29: Teststatistiken Vorzeichentest VAC 2, linkes rechtes Auge, Gruppe 2.5, Tag 2

	Rt1 – Lt1	Rt2 – Lt2	Rt3 – Lt3	Rt4 – Lt4	Rt5 – Lt5
Exakte Sig. (2-seitig)	.003	.041	.003	.012	.012

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Unterschiede der Messzeitpunkte während der Exposition in AR – Interventionstyp VAC 7

Für den Pupillendurchmesser während des *Interventionstyps* VAC 7 zeigt sich ein ähnliches Bild. Die standardmäßig durchgeführte Mixed-rmANOVA zeigt, dass die Zeit einen

signifikanten Einfluss auf den Pupillendurchmesser des linken Auges hat ($F_{(2.56, 89.76)} = 11.09$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .24$), während die Gruppenzugehörigkeit hingegen keinen signifikanten Einfluss zeigt ($F_{(1.00, 35.00)} = 0.13$, $p = .724$, $\eta_p^2 = .003$). Des Weiteren ergab die Interaktion zwischen den beiden Hauptfaktoren Gruppe und Zeit keine signifikanten Effekte ($F_{(2.56, 89.76)} = 0.44$, $p = .695$, $\eta_p^2 = .01$). Es ist daher anzunehmen, dass die Beziehung zwischen den Gruppen und der Zeit keine zusätzliche Varianz in den beobachteten Ergebnissen erklärt. Die paarweisen Vergleiche inklusive Bonferronikorrektur zeigen allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Minuten.

Die robuste Mixed-rmANOVA liefert ähnliche Ergebnisse. Bei einem Trimm der Mittelwerte von 10% zeigt sich ein statistisch signifikanter Einfluss des Hauptfaktors Zeit ($F_{(4, 19.95)} = 6.00$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .55$) während auch hier der Hauptfaktor Gruppe ($F_{(1, 27.78)} = 0.17$, $p = .687$, $\eta_p^2 = .01$) sowie deren Interaktion mit der Zeit ($F_{(4, 19.95)} = 0.66$, $p = .628$, $\eta_p^2 = .012$) keine Signifikanz aufweisen. Anders als bei den zuvor standardmäßig durchgeführten paarweisen Vergleichen zeigt sich bei den trimmbasierten Vergleichen ein signifikanter Unterschied zwischen *Minute 1 und 2* ($p < .001$, 95%-CI [-1.60, -0.26]), *Minute 1 und 3* ($p < .001$, 95%-CI [-2.20, -0.52]), *Minute 1 und 4* ($p < .001$, 95%-CI [-2.27, -0.51]) sowie *Minute 1 und 5* ($p < .001$, 95%-CI [-2.39, -0.55]). Für den Pupillendurchmesser des rechten Auges zeigt sowohl bei der mit Greenhouse-Geisserkorrektur standardmäßig durchgeführten (Tabelle 30) als auch der robusten Mixed-rmANOVA (Tabelle 31) ähnliche Ergebnisse wie schon bei dem linken Auge. Auch hier zeigt sich lediglich für den Hauptfaktor Zeit ein statistisch signifikantes Ergebnis.

Tabelle 30: Ergebnisse der standardmäßig durchgeführten Mixed-rmANOVA nach Greenhouse-Geisser Korrektur für das rechte Auge und den Interventionstyp VAC 7, Tag 2

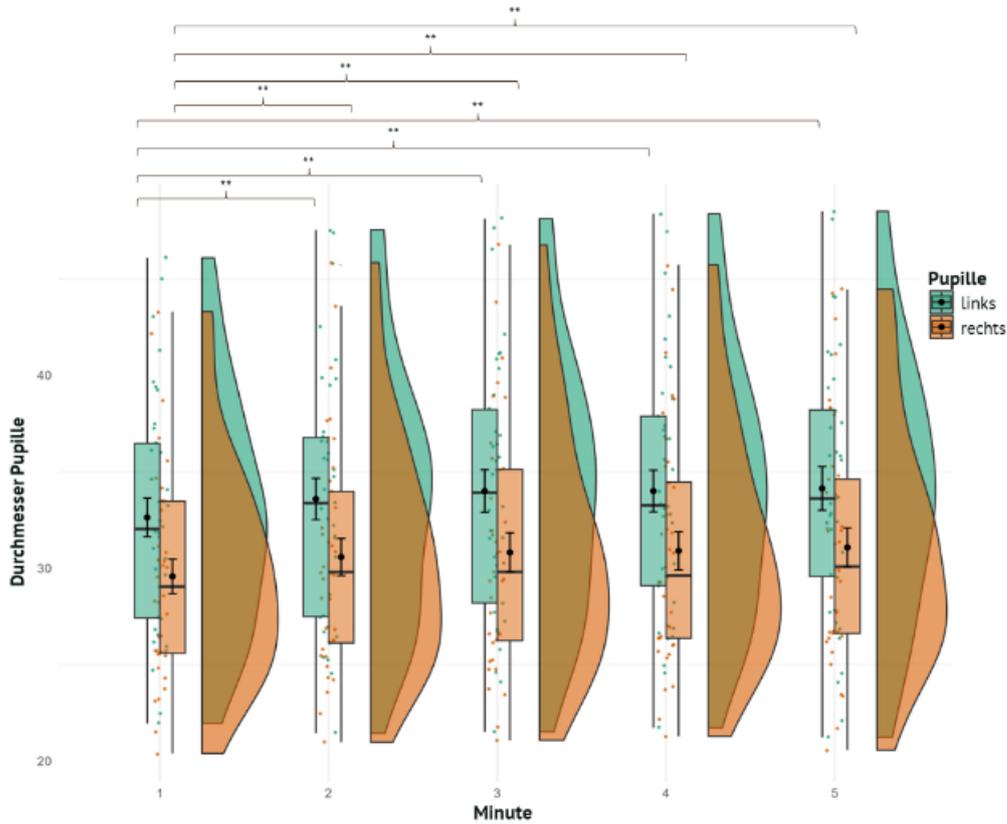
Effect	df ₁	df ₂	F(df ₁ , df ₂)	p	η_p^2
Gruppe	1	35.00	0.04	.841	<.01
Messzeitpunkt	2.21	77.22	12.74	<.001	.27
Gruppe x Messzeitpunkt	2.21	77.22	0.72	.503	.02

Tabelle 31: Ergebnisse der robusten Mixed-rmANOVA für das rechte Auge und den Interventionstyp VAC 7, Tag 2 unter Verwendung von bwtrim

Effect	df ₁	df ₂	F(df ₁ , df ₂)	p	η_p^2
Gruppe	1	28.50	0.13	.718	<.01
Messzeitpunkt	4	22.86	3.99	.013	.41
Gruppe x Messzeitpunkt	4	22.86	0.62	.654	.10

Während die Ergebnisse der standardmäßig durchgeführten paarweisen Vergleiche mit Bonferroniadjustierung keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Minutenblöcken erkennt. Ist bei dem trimmbasierten und nach Hochberg (1988) korrigierten

Vergleichen ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen *Minute 1 und 2* ($p < .001$, 95%-CI [-1.64, -0.36]), *Minute 1 und 3* ($p < .001$, 95%-CI [-1.89, -0.41]), *Minute 1 und 4* ($p < .001$, 95%-CI [-2.08, -0.57]) sowie *Minute 1 und 5* ($p < .001$, 95%-CI [-2.05, -0.47]) ersichtlich (Abbildung 18).



** $p < .001$

Abbildung 18: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der getrimmten Mittelwerte des linken und rechten Pupillendurchmessers, während dem Interventionstyp VAC 7.

In der ersten Gruppe, mit einer Distanz von 0.7 m zeigen die Häufigkeiten der Differenzen ein ähnliches Muster über alle Zeitpunkte hinweg, wobei eine größere Anzahl von negativen Differenzen im Vergleich zu positiven Differenzen beobachtet werden kann (Tabelle 32).

Tabelle 32: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 7, Gruppe 0.7 m, Tag 2

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	18	2	0	20
Rt2 – Lt2	18	2	0	20
Rt3 – Lt3	18	2	0	20
Rt4 – Lt4	17	3	0	20
Rt5 – Lt5	17	3	0	20

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Die Teststatistiken zeigen signifikante Abweichungen von Null für jede Messung, was darauf hinweist, dass die Differenzen zwischen den rechten und linken Messungen für alle Zeitpunkte signifikant verschieden sind ($p < .001$) (Tabelle 33).

Tabelle 33: Teststatistiken Vorzeichentest VAC 7, linkes rechtes Auge, Gruppe 0.7 m, Tag 2

	Rt1 – Lt1	Rt2 – Lt2	Rt3 – Lt3	Rt4 – Lt4	Rt5 – Lt5
Z	-4.27	-4.27	-4.27	-4.27	-3.95
Asymp. Sig. (2-seitig)	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

In der mit einer Distanz der holografischen Objekte von 2.5 m, wurden jeweils 17 Untersuchungseinheiten für jede der fünf Messungen betrachtet. Auch hier zeigen die Häufigkeiten der Differenzen ein ähnliches Muster wie in der ersten Gruppe, mit einer größeren Anzahl von negativen Differenzen im Vergleich zu positiven Differenzen (Tabelle 34).

Tabelle 34: Differenzen zwischen der linken und der rechten Pupille während dem VAC 7, Gruppe 2.5 m, Tag 2

Minute	Negative Differenz	Positive Differenz	Bindungen	Gesamt
Rt1 – Lt1	14	3	0	17
Rt2 – Lt2	14	3	0	17
Rt3 – Lt3	14	3	0	17
Rt4 – Lt4	15	2	0	17
Rt5 – Lt5	14	3	0	17

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Die Teststatistiken (Tabelle 35) zeigen ebenfalls signifikante Abweichungen von Null für jede Messung ($p < .05$).

Tabelle 35: Teststatistiken Vorzeichentest VAC 7, linkes rechtes Auge, Gruppe 2.5 m, Tag 2

	Rt1 – Lt1	Rt2 – Lt2	Rt3 – Lt3	Rt4 – Lt4	Rt5 – Lt5
Z	-3.83	-4.17	-4.17	-4.50	-4.17
Asymp. Sig. (2-seitig)	.013	.013	.013	.013	.013

R = rechtes Auge, L = linkes Auge

Ein direkter Vergleich zwischen den beiden Gruppen zeigt keine offensichtlichen Unterschiede in Bezug auf die Häufigkeiten der Differenzen oder die Signifikanz der Teststatistiken.

Resümee der Ergebnisse

Die Pupillometrie-Untersuchungen zeigen, dass bei VAC 1 die Messzeitpunkte signifikanten *Zwischenfazit* Einfluss auf den Pupillendurchmesser beider Augen haben, während bei VAC 2 und VAC 3 signifikante Unterschiede hauptsächlich bei den paarweisen Vergleichen ersichtlich sind. Die Interventionstypen VAC 4 an Tag eins und VAC 5 an Tag zwei weisen zu bestimmten Minutenblöcken signifikante Unterschiede auf. Über alle Interventionen hinweg zeigen die Ergebnisse, dass die Differenzen zwischen dem rechten und linken Auge meist signifikant sind, mit tendenziell niedrigeren Werten im rechten Auge.

4.2.2.2 Symptom- und Beschwerdefragebogen nach Hoffman et al. (2008)

Korrelationen zwischen den Symptomen und dem Interventionstyp während der Exposition in AR *Tag 1*

Um den Grad der Assoziation zwischen den Symptomen bzw. Befindlichkeiten der Probanden und der Art der Intervention zu bewerten, wurden Rangkorrelationen nach Spearman durchgeführt, deren Ergebnisse in den nachfolgenden Abbildungen grafisch veranschaulicht werden. Bei Betrachtung der einzelnen Parameter der Befindlichkeitsabfrage und des *Interventionstyps zum Messzeitpunkt 1* (Abbildung 19 a.) korrelieren „Kopfschmerzen“ ($\rho = .384$; $p = .009$) und die „Beeinträchtigung der Sicht“ ($\rho = .276$, $p = .026$) positiv und einem moderaten Effekt (Cohen, 1988) mit dem *Interventionstyp*. Die „Müdigkeit der Augen“ dagegen korreliert schwach negativ mit dem *Interventionstyp* ($\rho = -.006$, $p = .970$). Zum Messzeitpunkt 2 (Abbildung 19 b.) korrelieren die „Müdigkeit der Augen“ ($\rho = .287$, $p = .056$), die „Kopfschmerzen“ ($\rho = .214$, $p = .158$), die „Irritation der Augen“ ($\rho = .142$, $p = .351$) und die „Beeinträchtigung der Sicht“ ($\rho = .115$, $p = .451$) positiv mit dem *Interventionstyp*. Zudem ist eine stark signifikante Korrelation des Items „Beeinträchtigung der Sicht“ und dem Item „Irritation der Augen“ ($\rho = -.418$, $p = .004$). Zum dritten Messzeitpunkt ist eine, nach Cohen (1988) moderat starke negative Korrelation zwischen dem *Interventionstyp* und den „Nackenschmerzen“ ersichtlich ($\rho = -.208$, $p = .170$). Die stärkste Korrelation lässt sich zwischen dem Item „Kopfschmerzen“ und „Übelkeit“ konstatieren ($\rho = .428$, $p = .003$). Zum letzten Messzeitpunkt an Tag eins zeigt sich eine Korrelation mit moderatem Effekt zwischen dem *Interventionstyp* und dem Item „Kopfschmerzen“ ($\rho = .298$, $p = .047$) sowie dem Grad der „Augenmüdigkeit“ und Intensität der „Kopfschmerzen“ ($\rho = .373$, $p = .012$).

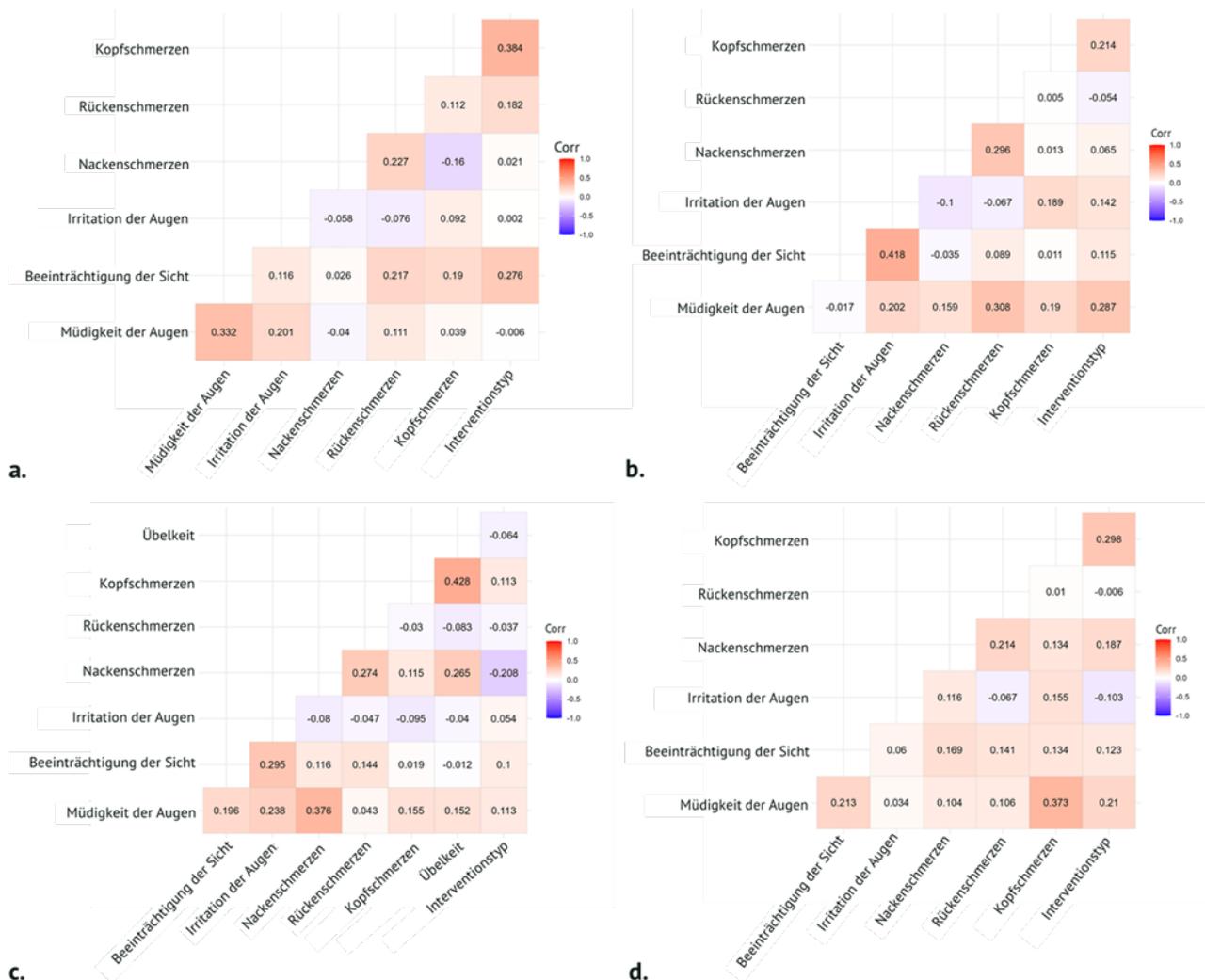


Abbildung 19: Korrelationsmatrix der Items des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) und dem Interventionstyp zu den einzelnen Messzeitpunkten an Tag 1. a. Messzeitpunkt 1, b. Messzeitpunkt 2, c. Messzeitpunkt 3, d. Messzeitpunkt 4. Der Farbverlauf zeigt den Grad der paarweisen Korrelation in Bezug auf den Rangkorrelationskoeffizienten von Spearman an. Die Farbsättigung stellt die Stärke der Korrelation dar (Rot = positive, blau = negative Korrelationen)

Zusätzlich zu den Korrelationsanalysen für die einzelnen Messzeitpunkte am ersten Tag Tag 2 wurden weitere intragruppale Analysen für den zweiten Tag durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analyse für die Gruppe mit einer Distanz der virtuellen Objekte von 2.5 m (Abbildung 20), zeigen, dass zum ersten Messzeitpunkt die Intensität vorhandener „Nackenschmerzen“ mit dem *Interventionstyp* signifikant korreliert ($\rho = .433, p = .039$), wobei der Effekt im oberen moderaten Bereich einzuordnen ist (Cohen, 1988). Einen starken Effekt weisen die Korrelation zwischen der Augenmüdigkeit und den Kopfschmerzen auf ($\rho = .607, p = .002$) sowie den Nacken- und Rückenschmerzen auf ($\rho = .723, p < .001$). Zudem zeigt sich ein mittlerer und statistisch signifikanter Effekt zwischen dem Item „Irritation der Augen“ und „Kopfschmerzen“

($\rho = .522, p = .011$). Zum Messzeitpunkt 2 (Abbildung 20, b.) sind geringe bis mittlere Effekte hinsichtlich der Korrelation zwischen den einzelnen Symptomen und dem Interventionstyp sichtbar, weisen aber keine statistische Signifikanz auf. Bei der Analyse des dritten Messzeitpunkts wurden positive Zusammenhänge zwischen der „Müdigkeit der Augen“ ($\rho = .283, p = .191$) und dem *Interventionstyp* sowie zwischen der „Irritation der Augen“ und dem *Interventionstyp* ($\rho = .164, p = .455$). festgestellt. Diese Zusammenhänge sind jedoch nicht signifikant.

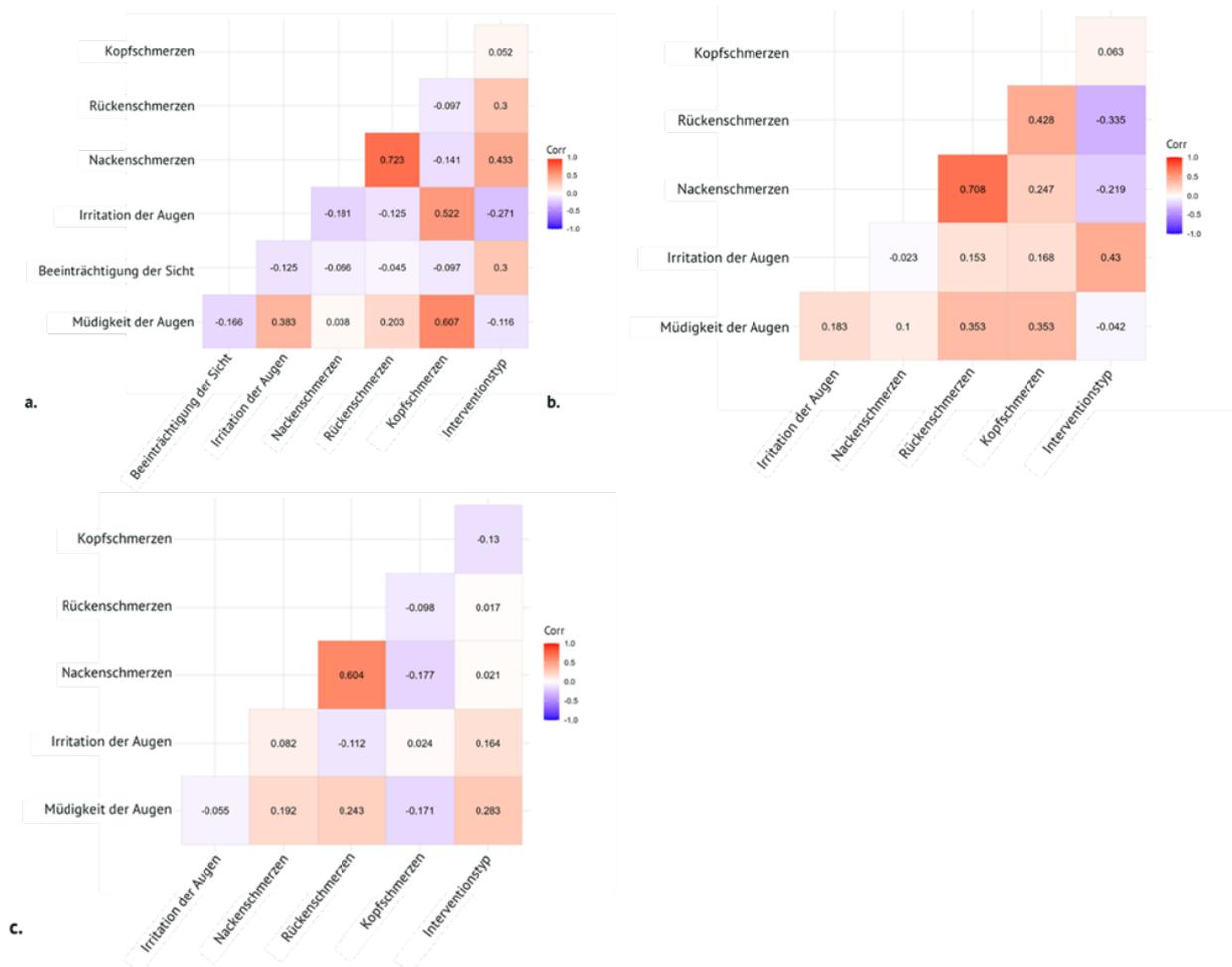


Abbildung 20: Korrelationsmatrix der Items des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) und dem Interventionstyp zu den einzelnen Messzeitpunkten an Tag 2. a. Messzeitpunkt 1, b. Messzeitpunkt 2, c. Messzeitpunkt 3, Gruppe 2.5 m. Der Farbverlauf zeigt den Grad der paarweisen Korrelation in Bezug auf den Rangkorrelationskoeffizienten von Spearman an. Die Farbsättigung stellt die Stärke der Korrelation dar (Rot = positive, blau = negative Korrelationen)

Für die Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m (Abbildung 21) zeigt sich eine statistisch signifikante Korrelation zwischen den beiden Items „Beeinträchtigung der Sicht“ und „Irritation der Augen“ ($\rho = .577, p = .005$). Hinsichtlich des Interventionstyps sind sowohl positive als auch

negative Zusammenhänge ersichtlich, weisen aber keine Signifikanz auf. Zum Messzeitpunkt 2 ist ebenfalls ein signifikanter und nach Cohen (1988) gleichzeitig mittlerer Effekt zwischen der „Beeinträchtigung der Sicht“ und der „Irritation der Augen“ ($\rho = .469, p = .028$) zu konstatieren. Des Weiteren ist ein statistisch signifikantes Ergebnis der Korrelation zwischen der *Müdigkeit der Augen* und dem Item „Nackenschmerzen“ vorhanden ($\rho = .428, p = .047$). Weitere positive und negative Korrelationen sind auch hier erkennbar, überschreiten das Signifikanzniveau jedoch nicht. Für den dritten Messzeitpunkt sind signifikante Zusammenhänge zwischen der „Irritation der Augen“ und dem Item „Übelkeit“ ($\rho = .606, p = .003$), der Intensität der „Nackenschmerzen“ und der „Übelkeit“ ($\rho = .549, p = .008$) sowie dem Item „Kopfschmerzen“ und „Übelkeit“ ($\rho = .494, p = .019$) ersichtlich, deren Effekt, Cohen (1988) zufolge, alle als moderat bis stark zu interpretieren ist. Auch hier sind weitere Zusammenhänge erkennbar, die jedoch keine signifikanten Werte aufweisen.

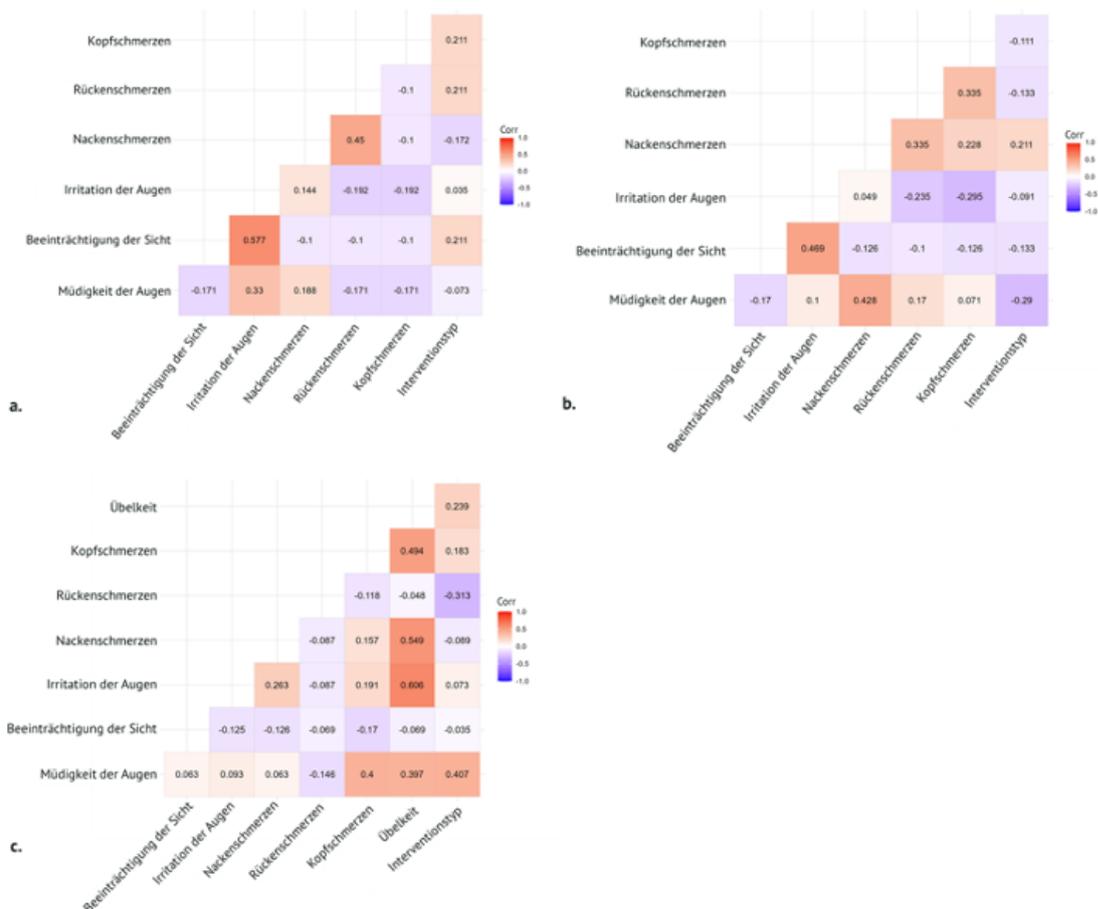


Abbildung 21: Korrelationsmatrix der Items des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) und dem Interventionstyp zu den einzelnen Messzeitpunkten an Tag 2. a. Messzeitpunkt 1, b. Messzeitpunkt 2, c. Messzeitpunkt 3, Gruppe 0.7 m. Der Farbverlauf zeigt den Grad der paarweisen Korrelation in Bezug auf den

Rangkorrelationskoeffizienten von Spearman an. Die Farbsättigung stellt die Stärke der Korrelation dar (Rot = positive, blau = negative Korrelationen)

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten bzw. Interventionstypen während der Exposition in AR

Um den Einfluss der Zeit als auch der einzelnen Interventionstypen zu analysieren wurden getrennt voneinander Mixed-rmANOVAs mit dem Hauptfaktor *Messzeitpunkt* und *Interventionstyp* sowie den Zwischensubjektfaktoren Gruppe und Geschlecht durchgeführt. Angesichts der vorherigen deskriptiven Statistik und der festgestellten mangelnden Varianz bei dem Item „*Übelkeit*“ sowohl in der Gesamtstichprobe als auch in den Subgruppen konnte keine Mixed-rmANOVA durchgeführt werden. Gleiches gilt für das Item „*Irritation der Augen*“ innerhalb der geschlechtsspezifischen (Tag eins) und interventionstypabhängigen (Tag zwei) Betrachtung.

Aufgrund der starken Voraussetzungsverletzung der Normalverteilung sowie teilweise auch der Spharizität wurde eine robuste Mixed-rmANOVA auf Grundlage getrimmter Mittelwerte durchgeführt. Gleiches gilt für die univariate Betrachtung signifikanter Haupteffekte. Für die inferenzstatistische Analyse der *Messzeitpunkte* musste das Winsorizing für die Items „*Irritation der Augen*“ (Tag eins) und „*Beeinträchtigung der Sicht*“ (Tag eins und zwei) von 10% auf 5% reduziert werden, da aufgrund fehlender Varianz und einer Standardabweichung von 0 der ursprüngliche Trimmwert nicht anwendbar war.

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten während der Exposition in AR

Bei der Betrachtung der einzelnen Messzeitpunkte und dem Zwischenfaktor Gruppe können während der Erfahrung in AR an Tag eins signifikante Effekte für das Item „*Müdigkeit der Augen*“ ($F_{(3, 26.55)} = 2.98$, $p = .049$, $\eta_p^2 = .252$) konstatiert werden. Die zweite Analyse mit dem Zwischensubjektfaktor „*Geschlecht*“ bestätigt einen signifikanten Unterschied für den Haupteffekt Messzeitpunkt (Tabelle 36).

Tag 1

Tabelle 36: Ergebnisse der robusten Mixed-ANOVA für das Item *Müdigkeit* unter Verwendung von *bwtrim*, Tag 1

Effect	df ₁	df ₂	F(df ₁ , df ₂)	p	η_p^2
Geschlecht	1	27.99	.09	.808	.003
Messzeitpunkt	3	22.52	3.42	.035*	.313
Geschlecht x Messzeitpunkt	3	22.52	0.20	.895	.026

* $p < .05$

Bei der Analyse der Auswirkung des Geschlechts und des Messzeitpunktes, sowie deren Wechselwirkung auf den Grad der „Kopfschmerzen“ zeigt sich zudem ein signifikanter Haupteffekt des Geschlechts ($F_{(1, 28.93)} = 7.87, p = .009, \eta_p^2 = .214$). Der Haupteffekt Messzeitpunkt ($F_{(3, 23.34)} = 0.18, p = .908, \eta_p^2 = .023$) sowie die Interaktion zwischen dem Geschlecht und dem Messzeitpunkt ($F_{(3, 23.34)} = 0.24, p = .870, \eta_p^2 = .030$) sind dagegen nicht signifikant. Neben diesen Haupteffekten zeigen sich keine weiteren Interaktionseffekte für die Messzeitpunkte und Gruppe sowie Messzeitpunkt und Geschlecht ($p > .05$).

Die post-hoc durchgeführten paarweisen Vergleiche mit einer Adjustierung des α -Niveaus für Mehrfachvergleiche nach Hochberg (1988) zeigen für die „Müdigkeit der Augen“ signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten eins und zwei ($p = .001, CI [-1.12; -0.13]$), sowie eins und vier ($p = .002, CI [0.08; 1.05]$) an Tag eins.

Für die weiteren Items sind keine statistisch signifikanten Effekte ersichtlich ($p > .05$).

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten während der Exposition in AR

An Tag zwei zeigen sich innerhalb der beiden Gruppen keine signifikanten Effekte für die einzelnen Items ($p > .05$). Tag 2

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten während der Exposition in AR: Vergleich von Tag eins und Tag zwei

Für den Vergleich der Messzeitpunkte des ersten und des zweiten Tages innerhalb der beiden Gruppen lassen sich in der Gruppe mit einer Distanz der holografischen Objekte von 2.5 m zunächst signifikante Unterschiede für die *Müdigkeit der Augen* ($F_{(4.64, 83.48)} = 3.69, p = .005, \eta_p^2 = .170$) finden. Bei den post-hoc durchgeführten paarweisen Vergleichen mit einer Anpassung für Mehrfachvergleiche nach Hochberg (1988) zwischen den einzelnen Messzeitpunkten kann allerdings kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Für die Gruppe mit einer *Distanz von 0.7 m* zeigt sich kein signifikanter Einfluss der Messzeitpunkte ($F_{(5.23, 88.84)} = 1.22, p = .305, \eta_p^2 = .067$). Für das Item „*Irritation der Augen*“ lässt sich für die Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m ($F_{(2.04, 40.87)} = 72.96, p < .001, \eta_p^2 = .785$) ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Messzeitpunkten konstatieren. Mittels paarweiser Vergleiche zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < .001$) von Messzeitpunkt eins zu fünf, sechs und sieben, von Messzeitpunkt zwei zu fünf, sechs und sieben, Messzeitpunkt drei im Vergleich zu fünf, sowie der Messzeitpunkt vier ebenfalls zu fünf, sechs und sieben. Ähnliche Ergebnisse zeigen

Tag 1
vs.
Tag 2

sich für die Gruppe mit einer Distanz der holografischen Objekte von 0.7 m ($F_{(2.39, 45.47)} = 43.40$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .695$). Auch hier zeigten sich auf Basis der post-hoc durchgeführten paarweisen Vergleiche signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten von Tag eins zu zwei ($p < .001$).

Der Vergleich der beiden Tage innerhalb der Gruppen zeigt, dass für die Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m kein signifikanter Einfluss des Zeitpunkts auf den subjektiv berichteten „Grad der Sichtbeeinträchtigung“ festgestellt werden konnte ($F_{(2.94, 58.83)} = 1.96$, $p = .130$, $\eta_p^2 = .089$). Für die zweite Gruppe mit einer Distanz der holografischen Inhalte der AR-Umgebung von 0.7 m zeigt sich dagegen ein statistisch signifikantes Ergebnis ($F_{(2.90, 55.11)} = 4.17$, $p = .011$, $\eta_p^2 = .178$). Die post-hoc durchgeführten paarweisen Vergleiche weisen auf einen signifikanten Unterschied zwischen dem Messzeitpunkt 2 und 5, sowie 2 und 7 jeweils mit $p < .001$ und einem CI von [1.36; -0.34] hin. Die Adjustierung für Mehrfachvergleiche erfolgt in dem WRS2 Package nach Hochberg (1988).

Bei der Analyse der Messzeitpunkte beider Tage im Vergleich zeigt sich bezüglich des subjektiv berichteten eingeschätzten „Grad der Kopfschmerzen“ ein deutlich signifikantes Ergebnis (Tabelle 37).

Tabelle 37: Ergebnisse der robusten Mixed-ANOVA für das Item Kopfschmerzen unter Verwendung von bwtrim, Tag 1 und 2. Zwischensubjektfaktor „Gruppe“

Effect	df ₁	df ₂	F(df ₁ , df ₂)	p	η_p^2
Gruppe	1	37.34	0.38	.542	.010
Messzeitpunkt	6	28.04	9.75	<.001	.676
Gruppe x Messzeitpunkt	6	28.04	0.32	.922	.064

Mit Hilfe der, aufgrund der unterschiedlichen Interventionen für beide Gruppen getrennt voneinander durchgeführten, paarweisen Vergleiche mit einer Korrektur nach Hochberg (1988), lassen sich diese Unterschiede für die Gruppe 0.7 m zwischen den Messzeitpunkten zwei und fünf ($p < .001$; CI [-1.48, -0.02]), zwei und sechs ($p < .001$; CI [-1.47, -0.13]), sowie zwei und sieben ($p = .002$; CI [-1.48, -0.02]) verorten. Zudem zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen dem Messzeitpunkt eins und sieben ($p = .003$; CI [-1.53, 0.03]), dem Messzeitpunkt vier und sieben ($p = .002$; CI [-1.51, -0.19]) und des Weiteren zwischen dem Messzeitpunkt drei und sieben ($p = .003$; CI [-1.61, 0.01]). In der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m zeigt sich ebenfalls ein signifikantes Ergebnis ($F_{4.26, 85.28} = 4.48$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .183$).

Anders als bei der Gruppe 0.7 gibt es hier lediglich einen signifikanten Unterschied zwischen dem Messzeitpunkt zwei und fünf ($p < .001$; CI [-1.25, -0.08]).

Nach der Analyse der zeitlichen Veränderungen der Messwerte richtet sich der Fokus nun auf die interventionsabhängige Untersuchung des Wohlbefindens und der Augen während der Exposition in AR.

Unterschiede zwischen den Interventionstypen während der Exposition in AR

Ähnliche Ergebnisse sind bei der Analyse der einzelnen Interventionstypen ersichtlich. Die Auswertung der einfachen Haupteffekte ergab für die „Müdigkeit der Augen“ einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Interventionstypen ($F_{(3, 20.94)} = 3.89, p = .023, \eta_p^2 = .358$). Die trimmbasierte Analyse mit dem Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ bestätigt einen signifikanten Unterschied für den Haupteffekt Messzeitpunkt (Tabelle 38). Tag 1

Tabelle 38: Ergebnisse der robusten Mixed-ANOVA für das Item Müdigkeit unter Verwendung von bwtrim, Tag 1

Effect	df ₁	df ₂	F(df ₁ , df ₂)	p	η_p^2
Geschlecht	1	27.80	0.06	.808	.002
Interventionstyp	3	22.86	3.51	.032*	.315
Geschlecht x Interventionstyp	3	22.86	1.86	.165	.196

* $p < .05$

Die adjustierten paarweisen Vergleiche verorten diesen Unterschied zwischen dem Interventionstyp eins und vier ($p < .001$, CI [-1.14; -0.16])

Für das Item „Kopfschmerzen“ zeigt die Analyse mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe einen signifikanten Haupteffekt des Interventionstyps ($F_{(3, 29.57)} = 6.80, p = .001, \eta_p^2 = .408$). Im Gegensatz dazu war der Haupteffekt der Gruppenzugehörigkeit nicht signifikant ($F_{(1, 37.85)} = 0.31, p = .583, \eta_p^2 = .008$). Darüber hinaus wurde keine signifikante Interaktion zwischen Interventionstyp und Gruppenzugehörigkeit ($F_{(3, 29.57)} = 1.65, p = .200, \eta_p^2 = .143$) festgestellt, was darauf hindeutet, dass der Einfluss der Interventionen auf das Auftreten von Kopfschmerzen unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit ist.

Die paarweisen Vergleiche der einzelnen Interventionstypen über die gesamte Stichprobe verorten einen signifikanten Unterschied zwischen dem Interventionstyp VAC 1 und VAC 2 (p

= .022; CI [-0.63, 0.05]), dem VAC 1 und VAC 3 ($p = .014$; CI [-0.66, 0.01]) und dem VAC 1 und VAC 4 ($p < .001$; CI [-1.11, -0.26]) sowie dem VAC 2 und VAC 4 ($p = .005$; CI [-0.71, -0.02]). Sowohl für den Hauptfaktor *Geschlecht* ($F_{(1, 27.35)} = 4.89$, $p = .036$, $\eta_p^2 = .152$) als auch den Interventionstyp ($F_{(3, 24.40)} = 7.29$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .472$) zeigt sich ein statistisch signifikantes Ergebnis. Die Interaktion dagegen ist mit ($F_{(3, 24.40)} = 0.89$, $p = .462$, $\eta_p^2 = .099$) nicht signifikant. Während die intragruppale Analyse der Männer keinerlei Unterschiede zwischen den einzelnen Interventionstypen zeigt, ist in der Gruppe der weiblichen Teilnehmer ein deutlich signifikanter Unterschied zwischen dem Interventionstyp VAC 1 vs. VAC 4 ersichtlich ($p < .001$; CI [-1.52, -0.25]) (Abbildung 22).

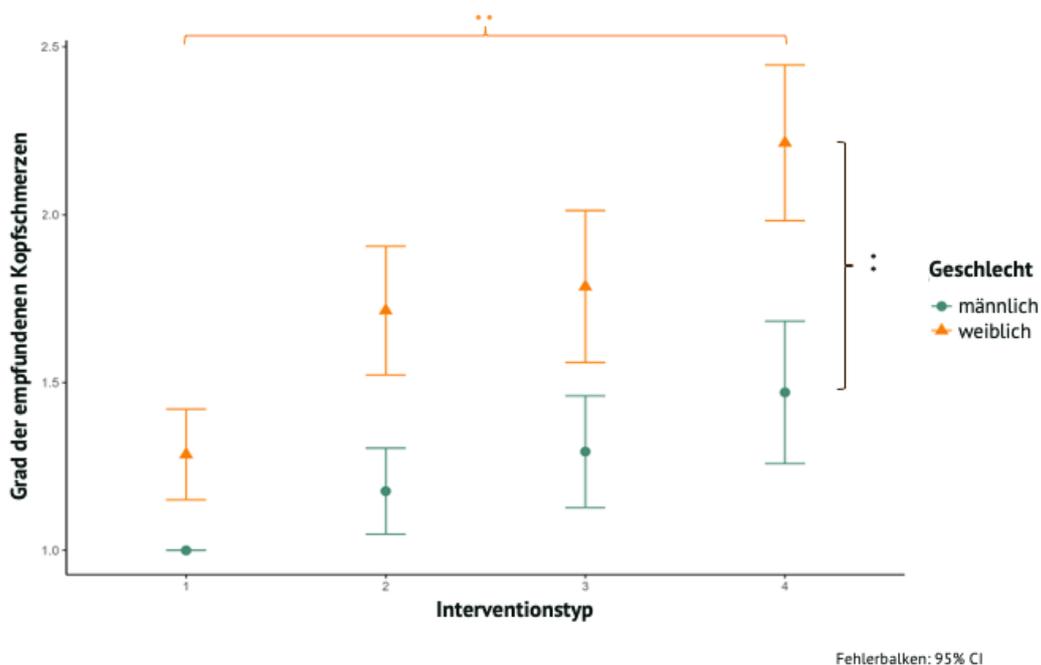


Abbildung 22: Darstellung der Mittelwerte des Items Kopfschmerzen in Abhängigkeit des Interventionstyps nach Geschlecht inkl. der 95 % Konfidenzintervalle. Grüne Linie = männlich; orange Linie weiblich. Links. * $p < .05$, ** $p < .001$

Unterschiede zwischen den Interventionstypen während der Exposition in AR

Für die „Müdigkeit“ kann an Tag 2 weder für die einfachen Haupteffekte der *Gruppenzugehörigkeit* noch den *Interventionstyp* ein signifikantes Ergebnis nachgewiesen werden. Ebenso zeigten sich bei der univariaten Untersuchung innerhalb der beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede ($p > .05$). Tag 2

Unterschiede zwischen den Interventionstypen während der Exposition in AR: Vergleich von Tag eins und Tag zwei

Ähnlich wie zuvor bei der Analyse der unterschiedlichen Messzeitpunkte weist die rmANOVA für die „Müdigkeit der Augen“ in der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m auf eine signifikante Wirkung hin ($F_{(4.96, 89.34)} = 2.83, p = .020, \eta_p^2 = .136$). Die paarweisen Vergleiche sind wiederum nicht signifikant. Für das Item *Irritation der Augen* ist in der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m ein signifikanter Effekt ersichtlich ($F_{(2.58, 51.54)} = 64.67, p < .001, \eta_p^2 = .764$). Für die andere Gruppe konnte eine Unterschiedsprüfung aufgrund fehlender Varianz an Tag eins nicht durchgeführt werden.

Tag 1
vs. Tag
2

Ebenso ist für die „Beeinträchtigung der Sicht“ ein signifikantes Ergebnis ersichtlich ($F_{(2.87, 54.48)} = 4.93, p = .005, \eta_p^2 = .206$). Genauer lässt sich dieser zwischen dem Interventionstyp VAC 1 und VAC 5, dem VAC 1 und VAC 6 und dem VAC 1 und VAC 7 jeweils wieder mit den gleichen Ergebnissen $p < .001$ und einem CI von [-1.51; -0.19] verorten. Innerhalb der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 ist dagegen kein signifikanter Unterschied messbar ($F_{(2.76, 55.25)} = 1.35, p = .268, \eta_p^2 = .063$). Für das Item „Kopfschmerzen“ zeigen sich keine Unterschiede in der Intensität der Schmerzen zu den Interventionstypen an Tag zwei. Für die Gruppe mit einer festen Distanz an Tag zwei von 2.5 m ist allerdings ein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten eins und fünf ($p < .001$; CI [-1.37, -0.82]), eins und sechs ($p < .001$; CI [-1.46, -0.83]) sowie eins und sieben ($p < .001$; CI [-1.28, -0.83]) ersichtlich. In der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m zwischen eins und fünf ($p < .001$; CI [-1.49, -0.31]), eins und sechs ($p < .001$; CI [-1.51, -0.19]), und eins und sieben ($p < .001$; CI [-1.68, -0.42]). Darüber hinaus sind auch signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten zwei vs. fünf ($p < .001$; CI [-1.45, -0.24]), zwei vs. sechs ($p < .001$; CI [-1.47, -0.13]), und zwei vs. sieben ($p < .001$; CI [-1.65, -0.35]) sowie drei vs. fünf ($p = .003$; CI [-1.44, 0.042]) und drei vs. sieben ($p < .001$; CI [-1.55, -0.14]) sichtbar.

Resümee der Ergebnisse des Fragebogens nach Hoffmann et al. (2008)

Die Spearman-Rangkorrelationen zeigen verschiedene Zusammenhänge zwischen Symptomen und dem Interventionstyp. Insgesamt korrelieren „Kopfschmerzen“ und „Beeinträchtigung der Sicht“ häufiger positiv mit dem Interventionstyp, während „Müdigkeit der Augen“ meist negativ, jedoch schwach korreliert. Es zeigen sich auch signifikante Korrelationen zwischen „Nackenschmerzen“ und dem Interventionstyp, insbesondere bei

Zwischenfazit

bestimmten Abständen zu den virtuellen Objekten. Weitere signifikante Korrelationen bestehen zwischen Symptomen wie „*Augenmüdigkeit*“, „*Kopfschmerzen*“ und „*Übelkeit*“ sowie zwischen „*Nackenschmerzen*“ und „*Rückenschmerzen*“. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Interventionstyp unterschiedliche Auswirkungen auf die körperlichen Befindlichkeiten der Probanden haben kann.

Während der AR-Exposition zeigten sich signifikante Unterschiede bei der „*Müdigkeit der Augen*“ und der „*Irritation der Augen*“, abhängig vom Messzeitpunkt und der Distanz der holografischen Objekte. Unterschiede in der „*Kopfschmerzintensität*“ waren überwiegend zwischen den Messzeitpunkten signifikant, wobei die Interventionstypen einen signifikanten Einfluss auf „*Müdigkeit*“ und „*Augenirritation*“ hatten, jedoch nicht auf „*Kopfschmerzen*“.

4.2.2.3 HRV

Für die Parameter der HRV wurden Unterschiedsprüfungen sowohl für einzelnen *Messzeitpunkte* als auch die unterschiedlichen *Interventionstypen* durchgeführt. Die Mittelwerte an Tag eins wurden bei fehlender Normalverteilung der Residuen sowohl mit Hilfe der konventionellen als auch der robusten Varianzanalyse genauer untersucht. Für den zweiten Tag wurde aufgrund der Subgruppen und der damit einhergehenden kleineren Stichprobe lediglich auf die robusten Verfahren des WRS2 Pakets in R zurückgegriffen.

Mittlere Herzfrequenz

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten während der Exposition in AR

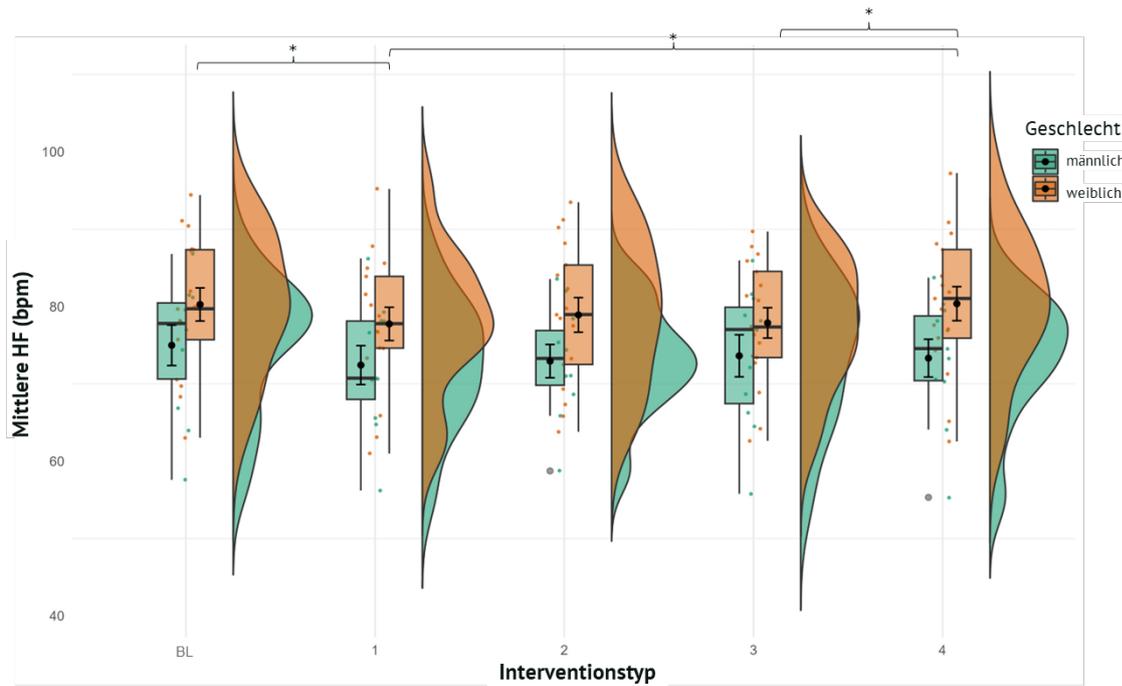
Obwohl die Teilnehmer der Studie erst an Tag zwei randomisiert auf die unterschiedlichen Gruppen verteilt wurden, wurde in einem ersten Schritt überprüft, ob sich die Gesamtstichprobe hinsichtlich ihrer Gruppenzuteilung an Tag zwei bereits an Tag eins voneinander unterscheidet. Die durchgeführte Mixed-rmANOVA zeigt diesbezüglich keinen statistisch signifikanten Effekt ($F_{(4, 104)} = 1.22, p = .307, \eta_p^2 = .045$), sodass für Tag eins immer die Gesamtstichprobe unabhängig ihrer nachfolgenden Gruppenzuweisung untersucht werden konnte. Zunächst wurde der Einfluss der einzelnen Messzeitpunkte, interventionstypunabhängig (BL, t_1 , t_2 , t_3 , t_4) sowie mögliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern analysiert.

Tag 1

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung und Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigen, dass sich die durchschnittliche HF zwischen den *Messzeitpunkten* innerhalb der einzelnen Probanden unterscheiden ($F_{(2.46, 64.08)} = 3.17, p = .017, \eta_p^2 = .109$). Bei den paarweisen Vergleichen ist dagegen kein statistisch signifikantes Ergebnis ersichtlich. Auch können keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der *Mittleren HF der Männer und Frauen* ($F_{(2.46, 64.08)} = .11, p = .924, \eta_p^2 = .004$) konstatiert werden.

Unterschiede zwischen den Interventionstypen während der Exposition in AR

Bei der Analyse der *mittleren HF* in Bezug auf die unterschiedlichen *Interventionstypen* zeigt sich, dass sich diese nach Bonferoni-Korrektur innerhalb der einzelnen Probandinnen und Probanden unterscheiden ($F_{(4, 104)} = 4.02, p < .005, \eta_p^2 = .134$). Statistisch signifikante Effekte sind bei Interventionstyp VAC 1 und VAC 4 ($M_{\text{Diff}} = -1.96, 95\text{-CI}[-3.52, -.40], p = .007$) sichtbar. Die Interaktion der *Interventionstypen* und dem *Geschlecht* war ($F_{(4, 104)} = .85, p = .497, \eta_p^2 = .032$) nicht signifikant. Wie bereits deskriptiv beschrieben, waren die Werte der Frauen höher, als die der Männer, hier zeigte sich bei den paarweisen Vergleichen für den VAC 3 eine signifikante Mittelwertsdifferenz ($M_{\text{Diff}} = 6.62, 95\text{-CI}[.32, -12.92], p = .040$). Während sich die Werte der Mittleren HF bei den Männern statistisch nicht signifikant ($F_{(4, 44)} = .733, p < .574, \eta_p^2 = .062$) unterscheiden, ist bei den *Frauen* ein signifikanter Haupteffekt der unterschiedlichen *Interventionstypen* nachweisbar ($F_{(4, 60)} = 6.39, p < .001, \eta_p^2 = .299$). Gemäß dem Tukey HSD unterscheidet sich in der Gruppe der Frauen die BL Messung signifikant zu dem Interventionstyp VAC 1 ($M_{\text{Diff}} = 2.98, 95\text{-CI}[0.35, 5.60], p = .020$), VAC 1 und VAC 4 ($M_{\text{Diff}} = -2.61, 95\text{-CI}[-4.33, -.89], p = .002$) sowie VAC 3 und VAC 4 ($M_{\text{Diff}} = -2.39, 95\text{-CI}[-4.54, -.25], p = .023$) (Abbildung 23).



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 23: Raincloud Plot, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme der Mittleren HF zu der BL und den unterschiedlichen Interventionstypen, getrennt nach Geschlecht

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkte während der Exposition in AR

An Tag zwei sind weder für die Gruppenzugehörigkeit ($F_{(1, 11.94)} = 1.36, p = .266, \eta_p^2 = .102$) noch die Messzeitpunkte ($F_{(3, 11.52)} = 2.26, p = .136, \eta_p^2 = .371$) statistisch signifikante Ergebnisse ersichtlich. Zeitgleich ist auch die Interaktion von Gruppenzugehörigkeit und den Messzeitpunkten nicht signifikant ($F_{(3, 11.52)} = 0.63, p = .608, \eta_p^2 = .141$).

Tag 2

Unterschiede zwischen den Interventionstypen während der Exposition in AR

Bezüglich des Einflusses der unterschiedlichen *Interventionstypen* wurde ebenfalls eine robuste Mixed rANOVA in R durchgeführt. Hier zeigte sich mit ($F_{(1, 15.50)} = 7.05, p = .018, \eta_p^2 = .313$) ein statistisch signifikante Wert bei der Gruppenzugehörigkeit. Im Gegensatz hierzu war kein signifikanter Haupteffekt des *Interventionstyps* auf die *Mittlere HF* ($F_{(3, 9.96)} = .471, p = .709, \eta_p^2 = .124$) sichtbar. Auch der Interaktionseffekt mit der Gruppe zeigt kein statistisch nicht signifikantes Ergebnis ($F_{(3, 9.96)} = .150, p = .927, \eta_p^2 = .218$). Die post-hoc durchgeführten paarweisen Vergleiche waren nicht signifikant ($p > .05$). Auch zeigten sich keine Unterschiede zwischen Tag eins und Tag zwei

RMSSD

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten während der Exposition in AR

Die standardmäßig durchgeführte Mixed rmANOVA zeigt nach Greenhouse Geisser Korrektur der Freiheitsgrade einen signifikanten Einfluss des Messzeitpunktes ($F_{(2.39, 62.22)} = 3.45, p = .030, \eta_p^2 = .086$), während der Hauptfaktor *Geschlecht* dagegen keinen signifikanten Einfluss auf die RMSSD aufweist ($F_{(1.00, 26.00)} = 2.98, p = .096, \eta_p^2 = .086$). Darüber hinaus ist für die Interaktion zwischen dem Messzeitpunkt und dem Geschlecht kein statistisch signifikanter Unterschied ersichtlich ($F_{(2.39, 62.22)} = 2.39, p = .645, \eta_p^2 = .124$). Die robuste Mixed rmANOVA kann das Ergebnis für den Hauptfaktor Messzeitpunkt ($F_{(4, 8.10)} = .19, p = .936, \eta_p^2 = .086$) nicht bestätigen. Der Einfluss des Geschlechts ($F_{(1, 11.90)} = 1.28, p = .281, \eta_p^2 = .097$) ist ebenfalls nicht signifikant. Gleiches gilt für den Hauptfaktor

Tag 1

Unterschiede zwischen den Interventionstypen während der Exposition in AR

Für den Hauptfaktor *Interventionstyp* ($F_{(4, 9.26)} = 1.27, p = .348, \eta_p^2 = .354$) sowie das Geschlecht ($F_{(1, 9.42)} = 4.74, p = .056, \eta_p^2 = .335$) sind bei der trimbasierten rmANOVA keine signifikanten Unterschiede sichtbar. Ferner ist der Interaktionseffekt zwischen Interventionstyp und Geschlecht nicht signifikant ($F_{(4, 9.26)} = .313, p = .863, \eta_p^2 = .119$).

Unterschiede der Messzeitpunkte während der Exposition in AR

Die Analyse der Daten des zweiten Tags mittels einer robusten Mixed-rmANOVA zeigt weder für den Hauptfaktor Gruppe ($F_{(1, 23.30)} = 1.18, p = .288, \eta_p^2 = .048$) noch den Messzeitpunkt ($F_{(3, 16.72)} = 0.08, p = .972, \eta_p^2 = .014$) ein statistisch signifikantes Ergebnis. Folglich ist auch die Interaktion der beiden Hauptfaktoren nicht signifikant ($F_{(3, 16.72)} = 0.03, p = .993, \eta_p^2 = .005$).

Tag 2

Unterschiede zwischen den Interventionstypen während der Exposition in AR

Ähnliche Ergebnisse zu der vorherigen messzeitspezifischen Analyse, zeigen sich bei der interventionsspezifischen Untersuchung. Hier ist sowohl für den Hauptfaktor Gruppe ($F_{(1, 23.30)} = 1.14, p = .300, \eta_p^2 = .047$) noch den Interventionstyp ($F_{(3, 17.78)} = 0.02, p = .996, \eta_p^2 = .003$) ein signifikanter Einfluss auf die RMSSD erkennbar. Folglich zeigt die Wechselwirkung zwischen dem Interventionstyp und der Gruppe kein signifikantes Ergebnis ($F_{(3, 17.78)} = 0.53, p = .666, \eta_p^2 = .082$).

SDNN**Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten bzw. Interventionstypen während der Exposition in AR**

Tag 1

Ähnlich der RMSSD-Werte unterscheiden sich die der SDNN bei dem Haupteffekt *Messzeitpunkt* und dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* statistisch nicht signifikant ($F_{(1, 26.00)} = 0.21, p = .654, \eta_p^2 = .008$). Gleiches gilt für die Betrachtung der unterschiedlichen *Interventionstypen*. Auch unter Berücksichtigung des Geschlechts ist kein signifikanter Einfluss ersichtlich ($F_{(4, 8.54)} = 1.28, p = .351, \eta_p^2 = .375$; *Messzeitpunkt*: $F_{(2.35, 60.99)} = 0.95, p = .406, \eta_p^2 = .035$; *Geschlecht x Messzeitpunkt*: $F_{(2.35, 60.99)} = 1.70, p = .186, \eta_p^2 = .062$). Die Prüfung der Ergebnisse mit Hilfe der robusten Mixed-rmANOVA bestätigt die Ergebnisse. Sowohl für den *Messzeitpunkt* ($F_{(4, 8.54)} = 1.28, p = .351, \eta_p^2 = .375$) als auch den Hauptfaktor *Geschlecht* ($F_{(1, 9.41)} = 0.06, p = .819, \eta_p^2 = .006$) sind keine signifikanten Einflüsse ersichtlich. Auch hinsichtlich der Interaktion war knapp keine Signifikanz gegeben ($F_{(4, 8.54)} = 3.49, p = .058, \eta_p^2 = .620$). Zudem zeigt die robuste Mixed rmANOVA keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den Hauptfaktor *Interventionstyp* ($F_{(4, 7.85)} = 0.41, p = .796, \eta_p^2 = .161$) und die Interaktion mit dem *Geschlecht* ($F_{(4, 8.54)} = 0.52, p = .072, \eta_p^2 = .196$).

Die Daten der SDNN an Tag zwei weisen im Rahmen der robusten Mixed-rmANOVA keine signifikanten Effekte bei den Hauptfaktoren *Gruppe* ($F_{(1, 21.76)} = 0.65, p = .429, \eta_p^2 = .006$) und *Messzeitpunkt* ($F_{(3, 16.16)} = 0.14, p = .934, \eta_p^2 = .196$) auf. Darüber hinaus ist kein Interaktionseffekt der beiden Hauptfaktoren ersichtlich ($F_{(3, 16.16)} = 0.15, p = .926, \eta_p^2 = .196$). Die Untersuchung der Hauptfaktoren *Interventionstyp* und *Gruppe* zeigen ähnliche Resultate. Hier ist kein signifikanter Einfluss der *Gruppe* ($F_{(1, 21.08)} = 0.56, p = .464, \eta_p^2 = .196$) sowie des *Interventionstyps* ($F_{(3, 16.63)} = 0.29, p = .830, \eta_p^2 = .196$) ersichtlich. Darüber hinaus ist keine signifikante Wechselwirkung der beiden Hauptfaktoren erkennbar ($F_{(3, 16.63)} = 0.53, p = .668, \eta_p^2 = .196$).

Tag 2

Frequenzbasierte Parameter (LF, HF, LF/HF)

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten bzw. Interventionstypen der Frequenzbasierten Parameter

Am ersten Tag zeigt der Vergleich, dass für keine der frequenzbasierten Parameter der HRV statistisch signifikante Unterschiede ($p > .05$) zwischen den *Messzeitpunkten* und den *Interventionstypen* sowie dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht gibt. Tag 1

An Tag zwei sind auf Basis der getrimmten Mittelwerte weder ein Einfluss des Zwischensubjektfaktors Gruppe ($F_{1, 13.18} = 0.12, p = .730, \eta_p^2 = .009$, noch der Messzeitpunkte ($F_{3, 10.46} = 0.05, p = .985, \eta_p^2 = .014$) für die *LF-Werte* ersichtlich. Keine Unterschiede zeigen sich zudem bei der Betrachtung der Interventionstypen ($F_{(3, 10.68)} = 0.48, p = .700, \eta_p^2 = .121$). Gleiches gilt für die HF Werte (Messzeitpunkt: ($F_{(3, 10.62)} = 1.21, p = .355, \eta_p^2 = .255$); Interventionstyp: ($F_{(3, 10.65)} = 1.54, p = .262, \eta_p^2 = .303$). Tag 2

In der Gruppe 2.5 zeigt sich über die gesamte Stichprobe ein statistisch signifikanter Effekt der Zeit ($F_{4.8, 24.01} = 4.67, p = .004, \eta_p^2 = .483$) der sich post-hoc durch die paarweisen Vergleiche allerdings nicht bestätigen lässt. Gleiches gilt für die zweite Gruppe ($F_{2.36, 16.51} = 3.70, p = .041, \eta_p^2 = .346$). Laut Cohen (1988) kann dieser Effekt als groß interpretiert werden. Tag 1
vs.
Tag 2

Resümee der Ergebnisse der HRV

An Tag eins zeigt sich ein signifikanter Einfluss der Messzeitpunkte auf die mittlere HF. An Tag zwei sind weder bei der Gruppenzugehörigkeit noch bei den Messzeitpunkten signifikante Unterschiede bei der *Mittleren HF*, *RMSSD* oder *SDNN* feststellbar. Auch die Interventionstypen zeigen keine signifikanten Effekte. Insgesamt zeigen nur die mittlere *HF* und das *LF/HF-Verhältnis* statistisch signifikante Unterschiede, während *RMSSD* und *SDNN* keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Zwischenfazit

4.2.2.4 Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten nach der Exposition in AR

Aufgrund der Abweichung von der Normalverteilung der Residuen wurde für jedes Item des VFQ-Fragebogens innerhalb der Gruppen der Unterschied zwischen Tag eins und Tag zwei mithilfe des Wilcoxon-Tests auf statistische Differenzen untersucht. Die Teststatistiken und ihre zugehörigen p -Werte werden in der Tabelle 39 für die verschiedenen Symptome und Befindlichkeiten berichtet. Hierbei zeigt sich lediglich unter „*Ich habe eine verschwommene Sicht*“ ein signifikanter Unterschied in der Gruppe 0.7 m ($p = .046$). Außerdem zeigt sich in dieser Gruppe bei der Einschätzung der Schwere von „*Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen*“ ein p -Wert von .071, was darauf hinweisen könnte, dass Unterschiede vorhanden sind. Diese Unterschiede erreichen jedoch auf dem .05-Niveau nicht das Signifikanzniveau. Gleiches gilt in der zweiten Gruppe für die Angabe „*Ich habe Kopfschmerzen*“ ($p = .061$).

Pre
vs.
Posttest

Tabelle 39: Teststatistiken (Z-Werte) und die dazugehörigen p -Werte und Effektstärke (r) für den Wilcoxon-Test

Item		Z	p	r
Ich habe trockene Augen	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-.30	.763	.05
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.03	.975	<.01
Meine Augen tränen	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-.82	.414	.12
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-1.35	.176	.20
Meine Augen sind gereizt und brennen	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-1.06	.288	.16
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.28	.780	.04
Ich habe Schmerzen in meinen oder um die Augen	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-1.51	.131	.23
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.11	.917	.02
Ich habe schwere Augen	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-.52	.605	.08
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.86	.382	.13
Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-1.34	.180	.20
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.45	.655	.07
Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-1.81	.071	.27
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.97	.334	.14
Text springt vor meinen Augen hin und her	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	.00	1.00	-
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-1.60	.109	.24
	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-.58	.564	.09

Ich sehe Buchstaben oder Linien verschwommen	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.28	.783	.04
Ich werde durch Lichter oder freie Flächen geblendet	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-1.13	.257	.17
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.58	.564	.09
Ich habe eine verschwommene Sicht	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-2.00	.046*	.30
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	.000	1.000	-
Ich sehe Dinge doppelt	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-1.41	.157	.21
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-1.00	.317	.15
Ich habe Kopfschmerzen	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-.43	.671	.06
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-1.87	.061	.28
Ich habe Nackenschmerzen	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-1.41	.157	.21
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-1.14	.254	.17
Ich verspüre Übelkeit	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-.58	.564	.09
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.82	.414	.12
Ich verspüre geistige Ermüdung	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	-.61	.157	.09
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-.43	.670	.06
Mein Gesicht ist schweißnass	Distanz 0.7 – Tag 1 vs Tag 2	.00	1.000	-
	Distanz 2.5 – Tag 1 vs Tag 2	-1.00	.317	.15

* $p < .05$. Angabe der p -Werte unter Verwendung der exakten Stichprobenverteilung von U

Mann-Whitney-U-Tests wurden berechnet, um zu überprüfen, ob sich die Angaben der Probandinnen und Probanden auf Grund ihrer Gruppenzugehörigkeit an *Tag eins* und *Tag zwei* unterscheidet. Darüber hinaus wurde das Delta (Δ) berechnet und analysiert, um die Veränderung bzw. Differenz zwischen den Messungen an den beiden Tagen zu quantifizieren. Die Verteilungen der beiden Gruppen unterschieden sich zumeist voneinander, Kolmogorov-Smirnov $p < .05$ (Tabelle 40). Lediglich bei der Einschätzung der empfundenen „Schmerzen in oder um die Augen“ am zweiten Tag zeigen die Verteilungen der beiden Gruppen statistisch signifikante Unterschiede ($U = 182.50$, $Z = -2.06$, $p = .042$) mit einer geringfügigen bis mittleren Effektstärke ($r = .31$) (Cohen, 1988). Insgesamt sind lediglich geringe bis mittlere Korrelationen ersichtlich.

Tabelle 40: Teststatistiken (U- und Z-Werte) und die dazugehörigen p-Werte für den Wilcoxon-Test

Item		U	Z	p	r
Ich habe trockene Augen	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	197.00	-1.36	.178	.20
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	206.00	-1.15	.262	.17
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	243.00	-.23	.822	.03
Meine Augen tränen	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	235.50	-.60	.682	.09
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	216.00	-1.16	.262	.17
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	224.50	-.86	.438	.13
Meine Augen sind gereizt und brennen	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	221.00	-.80	.447	.12
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	189.50	-1.61	.112	.15
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	215.50	-.96	.170	.14
Ich habe Schmerzen in meinen oder um die Augen	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	200.00	-1.44	.160	.21
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	182.50	-2.06	.042*	.31
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	224.00	-.79	.230	0.12
Ich habe schwere Augen	Tag 1 – Distanz 0.7 vs 2.5	214.50	-.90	.386	.13
	Tag 2 – Distanz 0.7 vs 2.5	245.00	-.19	.863	.03
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	227.50	-.60	.553	.09
Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	229.00	-.92	.419	.14
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	251.00	-.09	.804	.01
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	231.50	-.99	.495	.15
Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	211.00	-1.23	.238	.18
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	251.50	-.05	1.000	.01
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	220.00	-.99	.325	.15
Text springt vor meinen Augen hin und her	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	252.50	-.02	1.000	<.01
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	218.50	-1.81	.109	.27
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	221.00	-1.15	.288	0.17
Ich sehe Buchstaben oder Linien verschwommen	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	253.00	.00	1.000	-
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	253.00	.00	1.000	-
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	252.50	-.02	.571	<.01
Ich werde durch Lichter oder freie Flächen geblendet	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	242.00	-.46	.866	.07
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	250.50	-.09	.850	.01
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	240.50	-.45	.571	.07
	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	229.00	-.75	.540	.11

Ich habe eine verschwommene Sicht	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	232.50	-.70	.699	.10
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	204.00	-1.60	.086	.24
Ich sehe Dinge doppelt	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	252.00	-.05	1.000	.01
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	229.00	-1.10	.287	.16
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	220.00	-1.73	.125	.28
Ich habe Kopfschmerzen	Tag 1 – Distanz 0.7 vs 2.5	180.50	-1.78	.075	.27
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	222.50	-.83	.429	.12
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	190.00	-1.53	.064	.23
Ich habe Nackenschmerzen	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	226.00	-.71	.504	.11
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	244.50	-.26	.865	.04
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	246.00	-.19	.831	.03
Ich verspüre Übelkeit	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	241.00	-.63	.608	.09
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	252.00	-.05	1.000	.01
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	252.50	-.02	.988	<.01
Ich verspüre geistige Ermüdung	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	249.00	-.10	.936	.01
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	212.00	-.98	.326	.15
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5 ^a	202.50	-1.18	.247	.18
Mein Gesicht ist schweißnass	Tag 1 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	240.50	-.66	.483	.10
	Tag 2 ^a – Distanz 0.7 vs 2.5	218.50	-1.81	.109	.27
	Δ Distanz 0.7 vs 2.5	243.00	-.42	1.000	.06

Angabe der p -Werte unter Verwendung der exakten Stichprobenverteilung von U

a. Die Verteilungen beider Gruppen unterscheiden sich voneinander, Kolmogorov-Smirnov $p < .05$

* $p < .05$

Resümee der Ergebnisse des VFQ

Die inferenzstatistischen Einzelanalysen der Items des VFQ ergaben lediglich bei „*Ich habe eine verschwommene Sicht*“ in der Gruppe 0.7 m einen signifikanten Unterschied zwischen Tag eins und Tag zwei ($p = .046$), während andere Unterschiede, wie bei „*Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen*“ und „*Ich habe Kopfschmerzen*“, nicht signifikant waren. Mann-Whitney-U-Tests zeigten signifikante Unterschiede in der „*Schmerzempfindung in den Augen*“ am zweiten Tag zwischen den Gruppen ($p = .042$), mit insgesamt nur geringen bis mittleren Korrelationen.

4.2.2.5 Determinationstest

Um den Einfluss der Gruppenzugehörigkeit sowie des Testzeitpunktes beider Tage zu evaluieren, wurde für jeden Parameter des DT eine Mixed-rmANOVA durchgeführt. Im Falle nicht normal verteilter Residuen wurde, zur Prüfung der Ergebnisse, sowohl eine standardmäßig als auch eine robuste ANOVA mit einem Trimm der Mittelwerte von 10% durchgeführt.

Median der Reaktionszeit

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten vor und nach der Exposition in AR

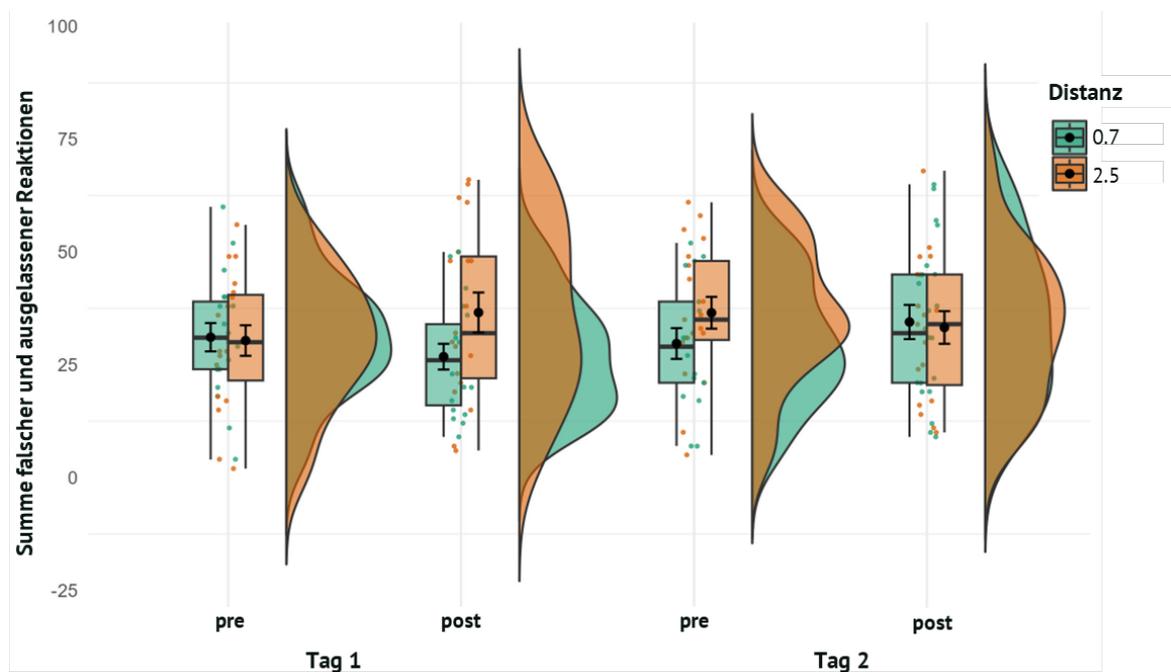
Die Ergebnisse der standardmäßig durchgeführte Mixed-rmANOVA zeigen keinen signifikanten Haupteffekt Gruppenzugehörigkeit ($F_{(1, 36.00)} = 0.73$, $p = .401$, $\eta_p^2 = .02$). Für den Faktor Zeit zeigt sich nach Greenhouse Geisserkorrektur mit $F_{(2.05, 73.68)} = 66.89$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.65$ dagegen ein statistisch signifikanter Einfluss auf die MDRT. Kein signifikantes Ergebnis ist bei der Interaktion zwischen Gruppe und Messzeitpunkt (Greenhouse Geisser, $F_{(2.05, 73.68)} = 0.27$, $p = .767$, $\eta_p^2 = .01$) ersichtlich. Die Bonferroni-korrigierten paarweisen Vergleiche zeigen, mit Ausnahme des Pre- und Posttests an Tag zwei, signifikante Unterschiede zwischen allen Messungen von $p < .001$.

Summe falscher und ausgelassener Reaktionen

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten vor und nach der Exposition in AR

Die Untersuchung der SFA zeigt weder für den Haupteffekt Gruppe ($F_{(1, 36)} = 0.68$, $p = .415$, $\eta_p^2 = 0.02$) noch für den Haupteffekt Zeit ($F_{(3, 108)} = 0.89$, $p = .452$, $\eta_p^2 = 0.02$) einen signifikanten Einfluss. Gleichzeitig ist jedoch ein signifikantes Ergebnis der Interaktion zwischen Gruppe und Zeit ersichtlich ($F_{(3, 108)} = 2.87$, $p = .022$, $\eta_p^2 = 0.07$). Was darauf hindeutet, dass die Beziehung zwischen Gruppenzugehörigkeit und der SFA von den verschiedenen Testzeitpunkten abhängig ist. Zwischen den beiden Gruppen zeigt die durchgeführte Welch-ANOVA zudem für den Posttest an Tag eins, dass die Mittelwerte zwischen den Gruppen tendenziell verschieden sind, jedoch nicht signifikant auf dem Signifikanzniveau von $p < .05$ ($F_{(1, 30.75)} = 3.45$, $p = .073$, $\eta_p^2 = 0.101$) (Abbildung 24). Bei der weiteren Analyse zeigt sich weder innerhalb der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m ($F_{(3, 72)} = 0.78$, $p = .511$, $\eta_p^2 = 0.03$) noch

innerhalb der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m ($F_{(3, 72)} = 0.63$, $p = .600$, $\eta_p^2 = 0.03$) ein signifikantes Ergebnis.



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 24: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die SFA zu den einzelnen Messzeitpunkten

Verspätete Reaktionen

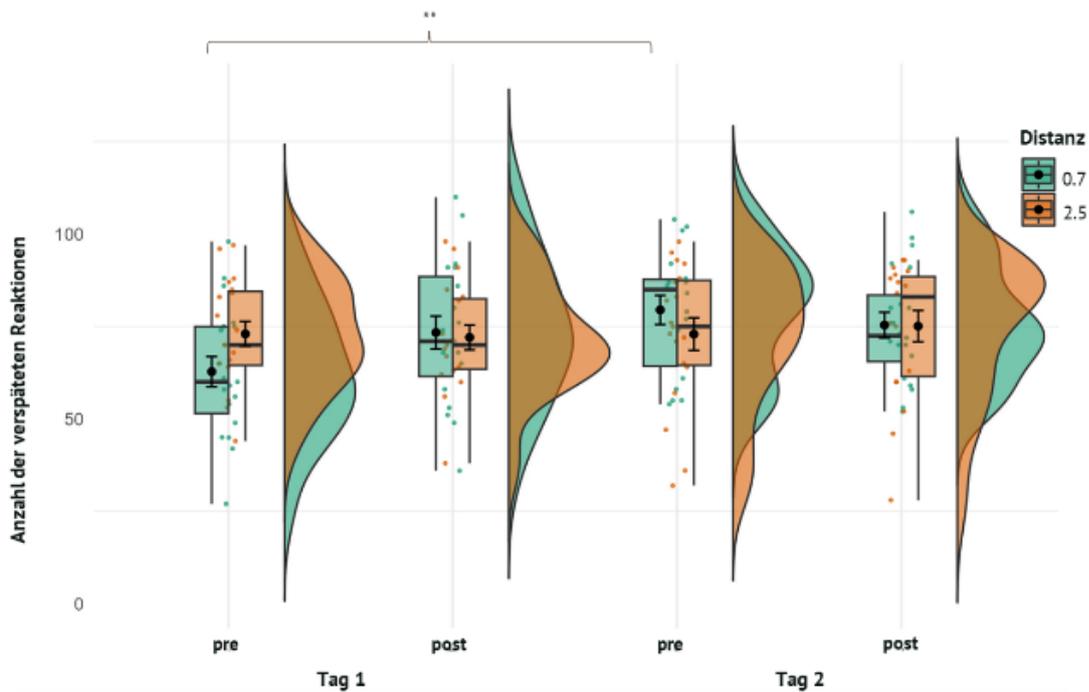
Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten vor und nach der Exposition in AR

Die standardmäßig durchgeführte Mixed-rANOVA zeigt keine Signifikanz bei dem Haupteffekt Gruppe ($F_{(1, 36)} = 0.02$, $p = .905$, $\eta_p^2 < 0.01$). Die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe allein ruft somit keine signifikanten Unterschiede in den *verspäteten Reaktionen* hervor. Hingegen war der Haupteffekt der Testzeitpunkte statistisch signifikant ($F_{(3, 108)} = 4.66$, $p = .004$, $\eta_p^2 = 0.11$). Dies legt nahe, dass einzelne Unterschiede zu den Testzeitpunkte erhebliche Auswirkungen auf die verspäteten Reaktionen haben können. Darüber hinaus ist die Interaktion zwischen Gruppe und Testzeitpunkt ebenfalls signifikant ($F_{(3, 108)} = 4.19$, $p = .008$, $\eta_p^2 = 0.10$), was darauf hindeutet dass die Beziehung zwischen Gruppenzugehörigkeit und verspäteten Reaktionen von den verschiedenen Testzeitpunkten abhängig ist. Da hier eine Voraussetzungsverletzung normalverteilter Residuen vorlag, wurden die Ergebnisse mit Hilfe der trimmbasierten robusten Mixed-rANOVA bestätigt überprüft (Tabelle 41).

Tabelle 41: Ergebnisse der robusten Mixed-rmANOVA für den Parameter verspätet Reaktionen unter Verwendung von *bwtrim*

Effect	<i>df</i> ₁	<i>df</i> ₂	<i>F</i> (<i>df</i> ₁ , <i>df</i> ₂)	<i>p</i>	η_p^2
Gruppe	1	31.86	0.11	.746	<.01
Messzeitpunkt	3	24.87	4.65	.010	.36
Gruppe x Messzeitpunkt	3	24.87	3.35	.035	.29

Die ungetrimmten und Bonferroniadjustierten paarweisen Vergleiche zeigen zwischen dem Pretest an Tag eins und dem Pretest an Tag zwei einen signifikanten Unterschied ($p = .036$). Die anderen Vergleiche zwischen den unterschiedlichen Tests sind dagegen nicht signifikant ($p > .05$). Dies legt nahe, dass die verspäteten Reaktionen zwischen den meisten Testzeitpunkten keine statistisch signifikanten Unterschiede aufweisen. Die Ergebnisse der paarweisen Vergleiche mit den getrimmten Daten und einer Korrektur für Mehrfachvergleiche nach Hochberg (1988) bestätigen dies. Auch hier zeigt sich lediglich zwischen den beiden Pretests ein statistisch signifikanter Unterschied ($p < .001$, 95%-CI [-15.75, -2.19]). Zudem zeigt sich bei dem Intragruppalen Vergleich der Testungen, sowohl was die standardmäßig durchgeführte ($p = .004$), als auch robuste ANOVA ($p < .001$) angeht, dass die Signifikanz einzig auf einen Unterschied in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m zurückzuführen ist (Abbildung 25).



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 25: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die V zu den einzelnen Messzeitpunkten

Die Interaktion wurde mit einer einfaktoriellem Welch-ANOVA weiter untersucht. Für den Pretest an Tag eins zeigt sich lediglich in der Tendenz, aber nicht auf dem .05-Niveau ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($F_{(1, 34.73)} = 3.71$, $p = .062$, $\eta_p^2 = 0.10$).

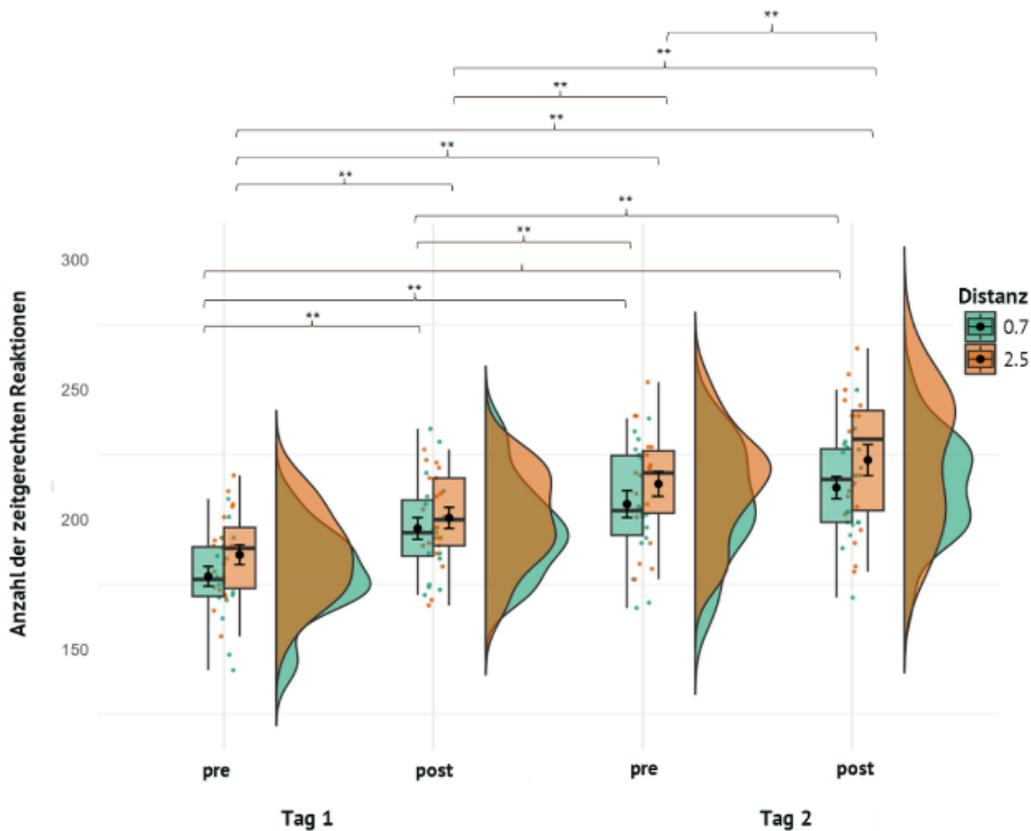
Zeitgerechte Reaktionen

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten vor und nach der Exposition in AR

Die Untersuchung der Mittelwerte mit Hilfe der Mixed-rmANOVA zeigt keinen signifikanten Einfluss der Gruppenzugehörigkeit ($F_{(1, 36)} = 1.80$, $p = .188$, $\eta_p^2 = 0.047$). Dies deutet darauf hin, dass die Gruppenzugehörigkeit allein keine signifikanten Unterschiede in der abhängigen Variablen erklärt. Der Haupteffekt Zeit dagegen ist auf dem .05-Niveau signifikant und weist Cohen (1988) zu Folge einen großen Effekt auf (Greenhouse Geisser $F_{(2.36, 85.07)} = 73.35$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.671$), während die Wechselwirkung zwischen Gruppe und Testzeitpunkt nicht signifikant ($F_{(2.36, 85.07)} = 0.75$, $p = .497$, $\eta_p^2 = 0.02$) ist. Dies bedeutet, dass die Beziehung zwischen Gruppenzugehörigkeit und der abhängigen Variablen nicht von den verschiedenen Testungen abhängt. Ein ähnliches Ergebnis ist auf Basis der robusten Mixed-rmANOVA

ersichtlich. Auch hier zeigt sich ein statistisch signifikanter Einfluss hinsichtlich des Hauptfaktors Zeit ($F_{(3, 24.13)} = 44.93, p < .001, \eta_p^2 = 0.848$), während zum einen der Hauptfaktor Gruppe ($F_{(1, 30.22)} = 1.92, p = .176, \eta_p^2 = 0.06$) als auch die Interaktion ($F_{(3, 24.13)} = 0.36, p = .781, \eta_p^2 = 0.04$) zwischen den beiden kein signifikantes Ergebnis aufweist.

Die nach Bonferronikorrektur paarweise durchgeführten Vergleiche der einzelnen Testzeitpunkte zeigen statistisch signifikante Unterschiede zwischen allen Testungen ($p < .001$). Der Vergleich der einzelnen Testzeitpunkte innerhalb der beiden Subgruppen zeigt, dass sich lediglich in der Gruppe mit einer Distanz von 2.5 m alle Testzeitpunkte signifikant ($p < .001$) voneinander unterscheiden. Für die Gruppe 0.7 m trifft dies auf den Vergleich des Pre- und Posttests an Tag zwei nicht zu ($p = .475, 95\text{-CI} [-14.13, 8.60]$) (Abbildung 26).



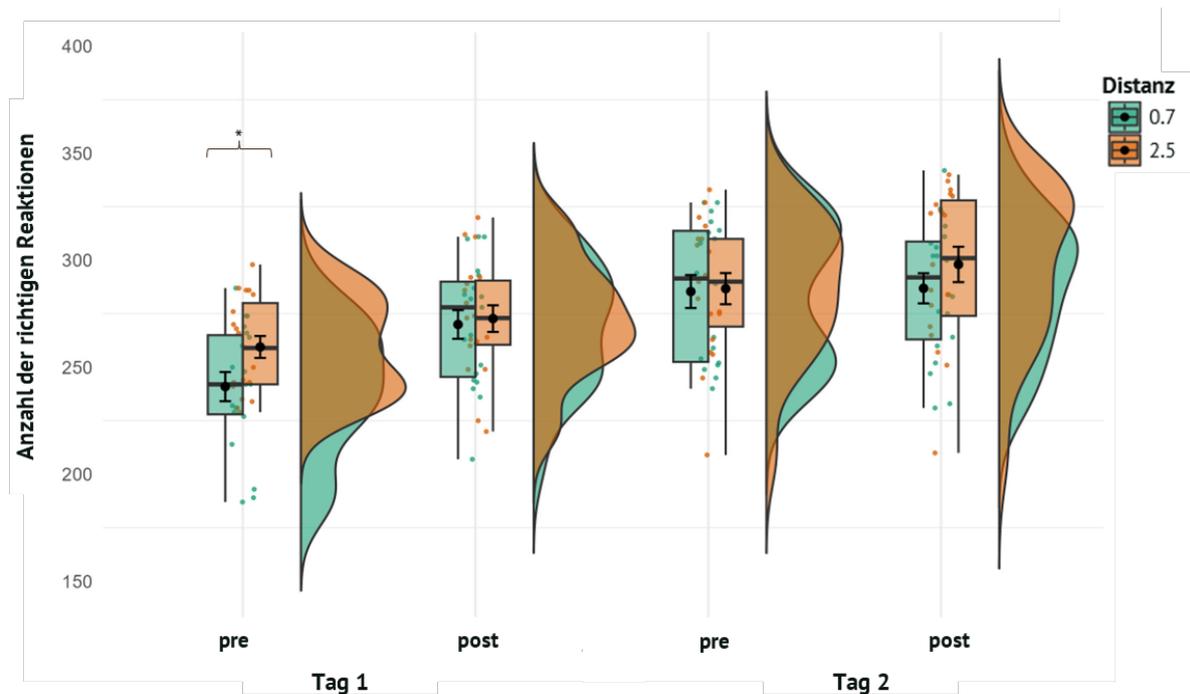
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 26: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die Z zu den einzelnen Messzeitpunkten

Zeitgerechte und richtige Reaktionen

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten vor und nach der Exposition in AR

Da die Residuen durchweg normalverteilt waren und auch die Voraussetzungen der Spharizität, Gleichheit der Kovarianzen sowie der Fehlervarianzen gegeben war wurde hier lediglich die standardmäßig durchzuführende Mixed-rmANOVA durchgeführt. Hier ist ein statistisch signifikanter Haupteffekt Zeit ($F_{(3, 108)} = 53.97, p < .001, \eta_p^2 = 0.60$) sowie Interaktion zwischen der Zeit und den beiden Untersuchungsgruppen ersichtlich ($F_{(3, 108)} = 2.80, p = .044, \eta_p^2 = 0.07$). Der Zwischensubjektfaktor Gruppe ist dagegen nicht signifikant ($F_{(1, 36)} = 0.92, p = .344, \eta_p^2 = 0.03$). Die signifikanten Interaktionseffekte wurden durch eine einfaktorielle Welch-ANOVA auf die Haupteffekte des Zwischensubjektfaktors überprüft. Zum Zeitpunkt des *Pretests an Tag eins* zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($F_{(1, 33.39)} = 4.73, p = .037, \eta_p^2 = 0.12$) grafisch dargestellt in Abbildung 27.



* $p < 0.05$

Abbildung 27: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die ZV zu den einzelnen Messzeitpunkten

Die intragruppalen paarweisen Vergleiche mit Bonferroniadjustierung zeigen in der Gruppe mit einer Distanz von 0.7 m mehr signifikante Unterschiede (Tabelle 42), was auf die zweite Gruppe nicht zutrifft (Tabelle 43).

Tabelle 42: Paarweise Vergleiche, der richtigen Reaktionen, Gruppe 0.7

(I) ZV		MD (I-J)	Std.-Fehler ^c	p	95% CI für Differenz ^c	
					UG	OG
Pretest Tag 1	Posttest Tag 1	-29.05*	4.32	< .001	-41,848	-16,257
	Pretest Tag 2	-45.63*	4.46	< .001	-58,835	-32,428
	Posttest Tag 2	-44.84*	4.39	< .001	-57,854	-31,830
Posttest Tag 1	Pretest Tag 1	29.05*	4.32	< .001	16,257	41,848
	Pretest Tag 2	-16.58*	4.27	<.007	-29,231	-3,927
	Posttest Tag 2	-15.79*	5.21	.044	-31,247	-0,332
Pretest Tag 2	Pretest Tag 1	45.63*	4.46	< .001	32,428	58,835
	Posttest Tag 1	16.58*	4.27	.007	3,927	29,231
	Posttest Tag 2	0.79	4.07	1.000	-11,267	12,846
Posttest Tag 2	Pretest Tag 1	44.84*	4.39	< .001	31,830	57,854
	Posttest Tag 1	15.79*	5.22	.044	0,332	31,247
	Pretest Tag 2	-0.79	4.07	1.000	-12,846	11,267

MD = Mittelwertdifferenz

Basiert auf geschätzten Randmitteln

*. Die MD ist in Stufe .05 signifikant

^c. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni

Tabelle 43: Paarweise Vergleiche der richtigen Reaktionen, Gruppe 2.5

(I) ZV		MD (I-J)	Std.-Fehler ^c	p	95% CI für Differenz ^c	
					UG	OG
Pretest Tag 1	Posttest Tag 1	-13.26	4.54	.055	-26.72	0.20
	Pretest Tag 2	-27.26*	5.76	< .001	-44.33	-10.19
	Posttest Tag 2	-38.58*	7.03	< .001	-59.41	-17.75
Posttest Tag 1	Pretest Tag 1	13.26	4.54	.055	-0.20	26.72
	Pretest Tag 2	-14.00	5.46	.117	-30.18	Feb 18
	Posttest Tag 2	-25.32*	6.42	.006	-44.34	-6.29
Pretest Tag 2	Pretest Tag 1	27.26*	5.76	< .001	10.19	44.33
	Posttest Tag 1	14.00	5.46	.117	-2.18	30.18
	Posttest Tag 2	-11.32	4.14	.082	-23.57	0.94
Posttest Tag 2	Pretest Tag 1	38.58*	7.03	< .001	17.75	59.41
	Posttest Tag 1	25.32*	6.42	.006	6.29	44.34
	Pretest Tag 2	11.32	4.14	.082	-0.94	23.57

MD = Mittelwertdifferenz

Basiert auf geschätzten Randmitteln

*. Die MD ist in Stufe .05 signifikant

^c. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni

Resümee der Ergebnisse des Determinationstests

Die Untersuchung der Konzentrationsfähigkeit mit Hilfe des DTs zeigt, dass am ersten Tag ein signifikanter Einfluss der *Messzeitpunkte* auf die *MDRT* vorhanden ist, während für die Gruppenzugehörigkeit und deren Interaktion mit den Messzeitpunkten keine signifikanten

Unterschiede erkennbar sind. Bei den *verspäteten und richtigen Reaktionen* zeigen sich signifikante Einflüsse der *Testzeitpunkte*, während die Gruppenzugehörigkeit keinen signifikanten Effekt hat. Für die *SFA* zeigt sich eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Zeit, was darauf hinweist, dass die Beziehung zwischen Gruppenzugehörigkeit und Reaktionen von den Testzeitpunkten abhängt.

STUDIE 2 - HABITUATIONSEFFEKTE IN AR-SZENARIEN AUF SYMPTOME DES VAC UND DIE KONZENTRATIONSFÄHIGKEIT

Untersuchung eines 6-wöchigen Trainings in AR auf den Einfluss des
VACs

Unter dem Begriff "Habituation" wird ein Prozess verstanden, bei dem die Reaktion auf denselben sensorischen Reiz bei wiederholter Präsentation abnimmt. Demgegenüber beschreibt "Adaptation" eine unmittelbare Veränderung der Empfindlichkeit, die in der Regel ein bestimmtes Sinnesorgan betrifft (Howarth, 2011). Ein bekanntes Beispiel für Adaptation ist die Anpassung der Augen an Dunkelheit. Frühere Forschungsarbeiten im Bereich von VR haben gezeigt, dass bei wiederholtem Eintauchen in VR-Umgebungen in der Regel eine Reduktion sowohl in der Häufigkeit als auch in der Intensität der auftretenden Symptome zu beobachten ist (Howarth & Hodder, 2008). Howarth und Hill (1999) charakterisierten diese Verringerung der Symptome nach wiederholter Exposition als Gewöhnung und nicht als Anpassung. Gewöhnung bezieht sich auf die Abnahme der Reaktion auf denselben Reiz bei wiederholter Präsentation, während Anpassung eine unmittelbare Veränderung der Empfindlichkeit darstellt, die normalerweise ein spezifisches Sinnesorgan betrifft, wie beispielsweise die Dunkeladaptation des Auges. Howarth und Hodder konnten in ihrer Studie im Jahr 2008, bei der 70 Probanden mit unterschiedlichen Zeitintervallen auf drei Gruppen verteilten (täglich, alle zwei Tage und alle 7 Tage) zeigen, dass die beobachtete Gewöhnung unabhängig vom zeitlichen Intervall zwischen den Expositionen ist und vielmehr die Anzahl der Expositionen ein bedeutender Faktor darstellt. Darüber hinaus ist bekannt, dass die Schwere der auftretenden Symptome von den Bedingungen einer Exposition abhängt. Sowohl eine Ausdehnung der Zeit als auch die Anzahl der Expositionen in VR sich auf die Intensität der berichteten Symptome auswirken kann (Kennedy, Stanney & Dunlap, 2000). Kennedy et al. (2000) konnten in ihrer Untersuchung zudem zeigen, dass eine längere Expositionszeit als auch die Erhöhung der Anzahl der Expositionen einen signifikanten Einfluss auf die Reduktion der berichteten Symptome hat. Die Habituation korreliert dabei mit dem Abstand zwischen den Expositionen. Ein längerer zeitlicher Abstand von sieben Tagen oder mehr führt zu keiner Gewöhnung an den Stimulus.

Die zweite Studie der vorliegenden Arbeit zielt daher darauf ab, den Habituationseffekt auf Symptome, die mit der Nutzung von AR-Technologien verbunden sind, wissenschaftlich zu untersuchen. Ziel ist es, die Dynamik dieser Symptome im Laufe der Zeit zu verstehen und potenzielle Einflussfaktoren auf den Habituationseffekt zu identifizieren.

5.1 Untersuchungsmethodik

Am ersten Tag der Studie wurden die Probanden über den Ablauf der Studie aufgeklärt und absolvierten im Anschluss den Visustest anhand einer standardisierten Visustafel. Im Anschluss daran erfolgte analog zu der ersten Studie (Kapitel 4) die Anwendungen in AR. Die Datenerhebung zum Blickverhalten mittels Eyetracker erfolgte kontinuierlich über die Dauer, in der sich die Personen innerhalb der AR-Umgebung befanden. Die Reihenfolge der einzelnen Apps erfolgte randomisiert auf Basis einer Randomisierungsliste. Während der 6-wöchigen Intervention wurde nach jeder Immersion eine Abfrage der Symptome und Befindlichkeiten gemäß dem Fragebogen nach Hoffman et al. (2008) durchgeführt.

5.1.1 Personenstichprobe

Im Rahmen der Studie wurden insgesamt 12 Probanden (männlich: 8; weiblich: 4; divers 0, Alter: 25.58 ± 3.17 Jahre) über persönliche Kontakte und den Mailverteiler des Studiengangs akquiriert. Alle Probanden wurden im Vorfeld über Inhalt und Vorgehen der Studie ausführlich aufgeklärt. Die Teilnahme war freiwillig. Für ihre Teilnahme erhielten die Probanden insgesamt 9 Probandenversuchsstunden.

5.1.2 Ablauf der Untersuchung

Hauptzielparameter der zweiten Studie ist das Ausmaß der Symptome. Hierzu absolvierten die Probanden einen Pre- und nach sechs Wochen einen Posttest, bei dem das Eyetracking zur Quantifizierung der Veränderung des Pupillendurchmessers beider Augen sowie der VFQ durchgeführt wurden (Abbildung 28).

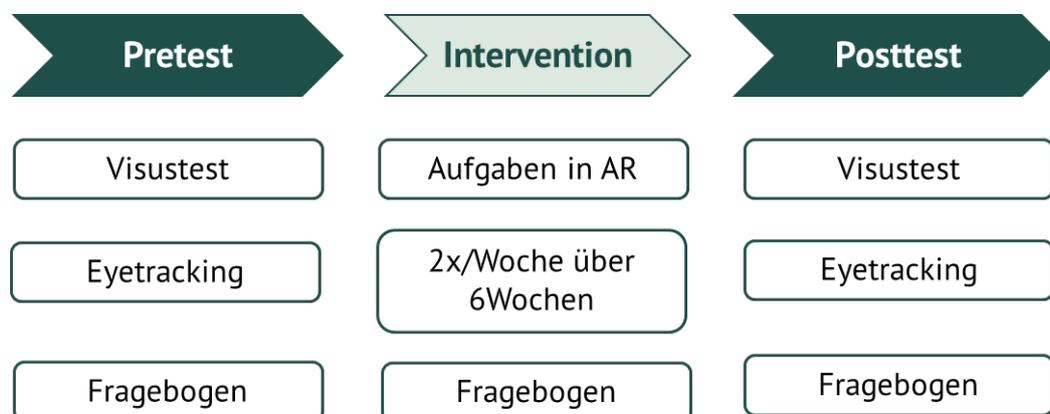


Abbildung 28: Schematische Darstellung zum Untersuchungsablauf

Analog zu dem Ablauf an Tag 1 in der ersten Studie (Kapitel 3.) waren der Pre- und Posttest angelegt. Lediglich der DT, sowie die Messung der HRV wurde aufgrund der anderen Fragestellung nicht mehr durchgeführt, auch die Abfrage zur Befindlichkeit nach jeder App ist weggefallen, um mögliche Testeffekte zu minimieren. An zwei Tagen pro Woche erfolgte im Anschluss daran die Intervention, bei der sich die Probanden 30 Minuten in einer AR-Umgebung befanden und sechs unterschiedliche Aufgaben und Spiele⁵ absolvierten (Abbildung 29) Im Anschluss an jede Einheit wurden mit Hilfe der Online-Plattform für Fragebögen LimeSurvey, Daten zu Symptomen sowie dem allgemeinen Befinden mit Hilfe des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) erhoben (Anhang I).

Nach sechs Wochen wurde der Posttest bei allen 12 Probanden durchgeführt. Über den gesamten Zeitraum der Studie kam es zu keinem Dropout.

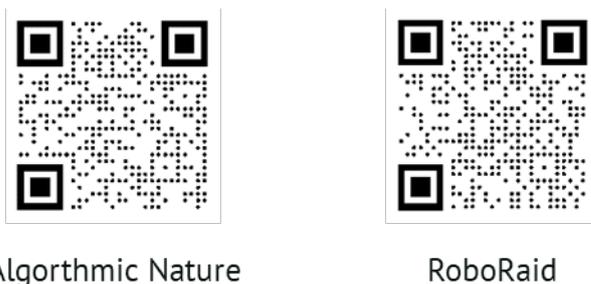


Abbildung 29: QR Codes zu den beiden Spielen Algothmic Nature und RoboRaid

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Deskriptive Statistik

Die deskriptiven Werte der einzelnen Items sind im Anhang VI detailliert dargestellt. Dabei unterscheiden sich die Mittelwerte der berichteten Symptome über die sechs Wochen kaum. Bei den Fragen zur „Beeinträchtigung der Sicht“ sowie der „Übelkeit“ sind zu den meisten der gemessenen Zeitpunkte keinerlei Streuung erkennbar. Gleiches gilt für einzelne Messzeitpunkte bei dem Item „Kopfschmerzen“, „Nacken- und Rückenschmerzen“. Hier sind zudem hohe Kurtosiswerte ($\beta = 12.00$) zu konstatieren, die auf eine leptokurtische Verteilung schließen lassen. Wohingegen im deskriptiven Vergleich aller Wochen miteinander keine

⁵ Die QR-Codes dienen dazu eine Vorstellung zu den Spielen in AR zur erhalten

klare Tendenz hinsichtlich der Schwere der eingeschätzten Symptome erkennbar ist, zeigt sich beim Vergleich der ersten und zweiten Testung innerhalb einer Woche ein höherer Wert an dem jeweiligen zweiten Tag. Des Weiteren zeigte der Shapiro-Wilk-Test für alle Items eine Abweichung von der Annahme normalverteilter Daten ($p < .05$).

Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)

Die detaillierten deskriptiven Daten zu den Beschwerden und Symptomen vor und nach der 6-wöchigen Intervention sind in Anhang VI zusammengefasst. Bei den Items „*Ich habe trockene Augen*“ ($M = 1.83 \pm 1.34$), „*Meine Augen tränen*“ ($M = 1.50 \pm 1.00$), „*Meine Augen sind gereizt*“ ($M = 1.75 \pm 1.14$) sowie „*Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können*“ ($M = 1.25 \pm 0.62$) sind für den Posttest höhere Mittelwerte ersichtlich als zum Zeitpunkt des Pretests ($M = 1.58 \pm 1.00$; $M = 1.08 \pm 0.29$; $M = 1.67 \pm 1.23$; $M = 1.50 \pm 1.83$). Auch die *SD*-Werte sind hier höher, was für eine größere Streuung spricht. Für einzelne Items zeigt sich zudem eine leptokurdische Verteilung mit hohen Kurtosiswerten ($8.89 \leq \beta \leq 12.00$) (u. a. für das Item „*Ich sehe Dinge doppelt*“). Sowohl für den Pre- als auch den Posttest sind für das Item „*Ich verspüre Übelkeit*“ keinerlei Varianz in den Werten ersichtlich. Gleiches gilt für die Posttests des Items „*Text springt vor meinen Augen hin und her*“ und „*Mein Gesicht ist schweißnass*“. Die Voraussetzungsannahme normalverteilter Residuen trifft auf keines der erhobenen Symptome zu ($p < .05$).

Pupillometrie

Die grafische Darstellung der Verteilungen des Eyetrackings für den Pupillendurchmesser des linken (Abbildung 30) und rechten Auges (Abbildung 31) während der Exposition in AR und des Interventionstyps VAC 1 zeigt die Variationen des Pupillendurchmessers in fünf gleich großen Zeitblöcken. Sowohl bei dem Pre- als auch Posttest zeigen sich die höchsten Werte zu Beginn der Datenerhebung. Der Mittelwert sinkt während dem Pretest für das linke Auge dabei von $M = 36.36 \pm 7.99$ mm auf $M = 33.42 \pm 6.84$ mm und während dem Posttest von $M = 36.40 \pm 4.37$ mm auf $M = 33.93 \pm 5.20$ mm. Sowohl die Breite des 95%-CIs als auch die Werte der Schiefe und Kurtosis variieren kaum. Zudem kann Shapiro-Wilk zu Folge zu allen

Zeitpunkten von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden ($p > .05$). Ähnlich verhalten sich die Werte für das rechte Auge.

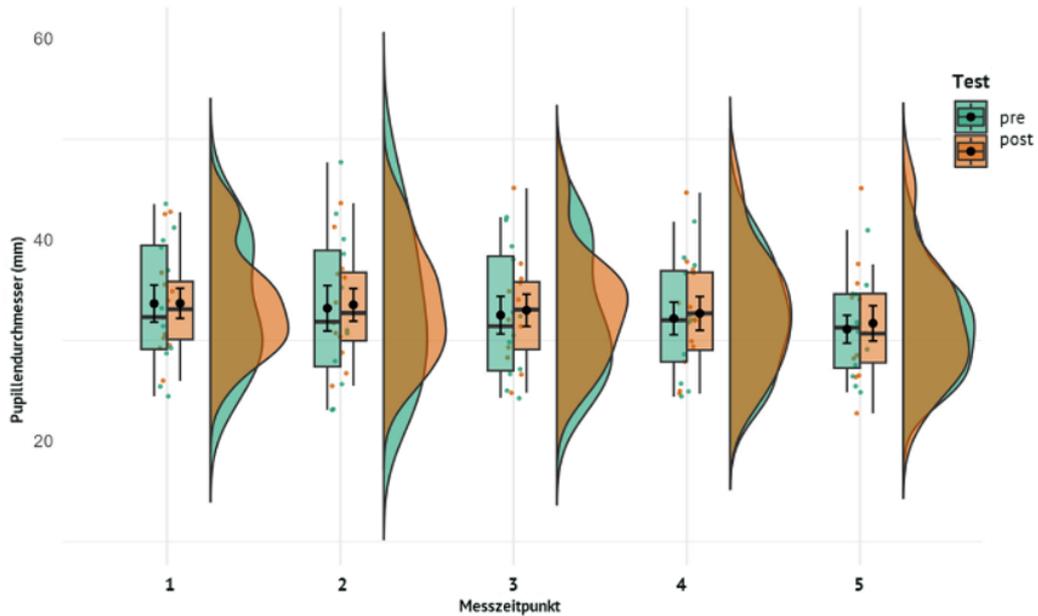


Abbildung 30: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für den Pupillendurchmessers des linken Auges zu den einzelnen Messzeitpunkten des Interventionstyps VAC 1

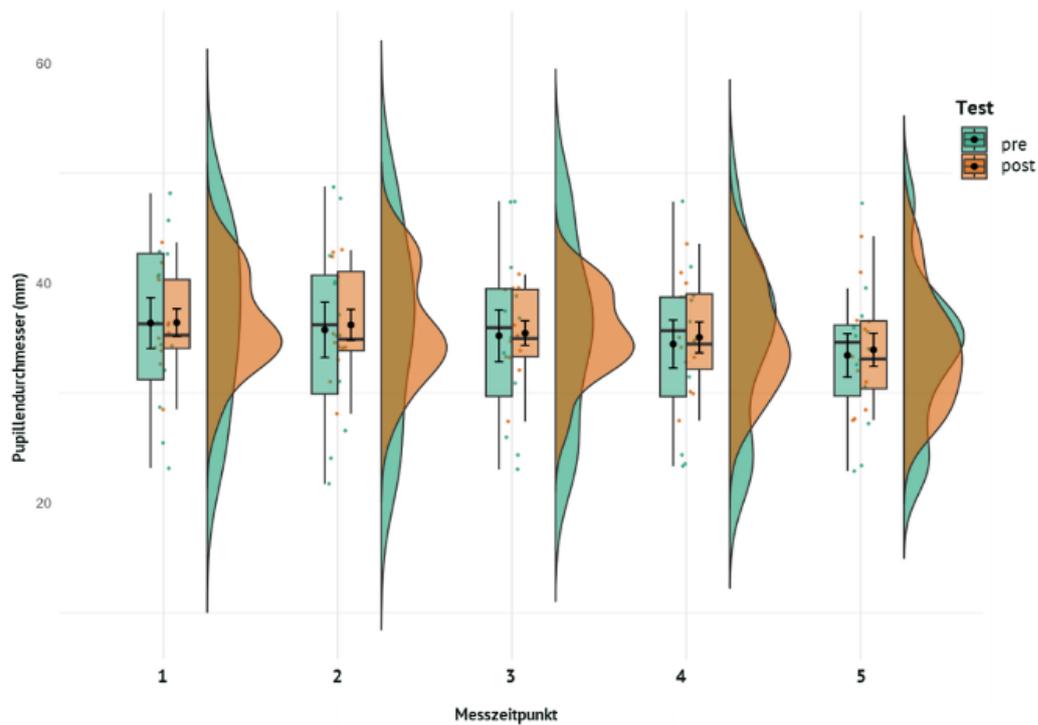


Abbildung 31: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für den Pupillendurchmessers des rechten Auges zu den einzelnen Messzeitpunkten des Interventionstyps VAC 1

Für den VAC 2 sind im Mittel höhere Werte beim linken Auge ($35.78 \leq M_{\text{links}} \leq 38.18$ mm; $35.53 \leq M_{\text{rechts}} \leq 37.88$ mm) sichtbar. Eine größere Streuung ist sowohl beim linken als auch rechten Auge zum Zeitpunkt des Pretests vorhanden, was sich auch in der Breite des 95%-CIs widerspiegelt. Die Schiefe- und Kurtosiswerte des Pretests sind bei beiden Augen mit denen des Posttests vergleichbar. Dennoch weichen die Verteilungen beide signifikant von einer Normalverteilung ab ($p < .05$). Ähnlich verhalten sich die deskriptiven Kennzahlen des VAC 3. Auch hier trifft die Annahme normalverteilter Residuen nicht zu ($p < .05$).

Eine deutlich größere Streuung ist bei Betrachtung des Interventionstyps VAC 4 zum Zeitpunkt des Pretests bei dem linken Auge erkennbar ($8.77 \leq SD_{\text{Pre}} \leq 9.90$ mm). Die Werte der SD und des 95%-CI liegen hier deutlich über denen des Posttests ($5.03 \leq SD_{\text{Post}} \leq 5.23$ mm). Anders für das rechte Auge. Hier sind die Werte, mit denen des Posttests rein deskriptiv betrachtet vergleichbar.

5.2.2 Inferenzstatistik

Im Folgenden werden die Ergebnisse der inferenzstatistischen Analyse für jeden Parameter einzeln präsentiert. Am Ende erfolgt eine zusammenfassende Darstellung der relevanten Ergebnisse für alle Parameter.

Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten vor und nach der 6- wöchigen Intervention

Potenzielle Unterschiede des VFQ (Bangor, 2000) zwischen den beiden Testzeitpunkten wurden mittels des nicht parametrischen Wilcoxon Tests untersucht. Bis auf die Frage nach der „geistigen Ermüdung“ ($p = .016$) ist kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten ersichtlich (Tabelle 44).

Tabelle 44: VFQ – Teststatistiken (Z-Werte) und die dazugehörigen p-Werte und Effektstärke [®] für den Wilcoxon-Test, Studie 2

Item		Z	p	r
Ich habe trockene Augen	Pre vs Post	-.51	.719	.15
Meine Augen tränen	Pre vs Post	-1.28	.375	.37
Meine Augen sind gereizt und brennen	Pre vs Post	-.44	.797	.13
Ich habe Schmerzen in meinen oder um die Augen	Pre vs Post	-.21	.969	.06
Ich habe schwere Augen	Pre vs Post	-1.23	.276	.36
Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können	Pre vs Post	-.38	1.000	.11
Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen	Pre vs Post	-1.37	.234	.40
Text springt vor meinen Augen hin und her	Pre vs Post	-1.00	1.000	.29
Ich sehe Buchstaben oder Linien verschwommen	Pre vs Post	-.92	.500	.27
Ich werde durch Lichter oder freie Flächen geblendet	Pre vs Post	-.96	.438	.28
Ich habe eine verschwommene Sicht	Pre vs Post	-.82	.563	.24
Ich sehe Dinge doppelt	Pre vs Post	-.45	1.000	.13
Ich habe Kopfschmerzen	Pre vs Post	-1.23	.250	.36
Ich habe Nackenschmerzen	Pre vs Post	-.82	.750	.24
Ich verspüre Übelkeit	Pre vs Post	.00	1.000	-
Ich verspüre geistige Ermüdung	Pre vs Post	-2.46	.016*	.71
Mein Gesicht ist schweißnass	Pre vs Post	-1.00	1.000	

Pupillometrie

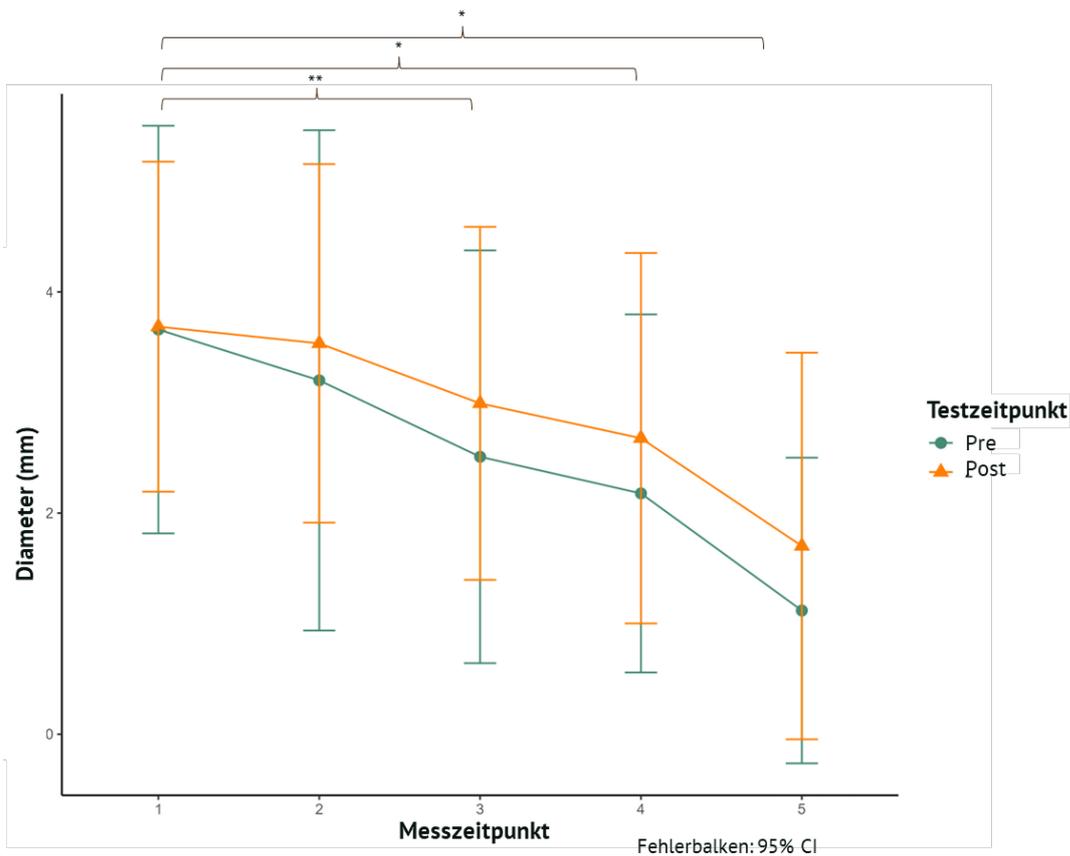
Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten vor und nach der 6- wöchigen Intervention

Da die Annahme der Normalverteilung der Residuen nicht erfüllt und die Stichprobengröße von $n = 12$ zu klein war, um dennoch eine rMANOVA durchzuführen, wurde die Unterschiedsanalyse mithilfe des nicht-parametrischen Friedman-Tests durchgeführt.

Für den Pupillendurchmesser des linken Auges und den *Interventionstyp VAC 1* zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied über die Stichprobe hinweg sowohl vor ($\chi^2(4) = 12.50$, p

= .006, $n = 12$) als auch nach der 6- wöchigen Intervention ($\chi^2 (4) = 10.90, p = .012, n = 12$). Die posthoc durchgeführten und nach Bonferroni adjustierten paarweisen Vergleiche verweisen im Pretest auf einen signifikanten Unterschied zwischen t1 und t5 ($p = .005, r = .036$) und im Posttest auch zwischen t1 und t5 ($p = .012, r = .035$). Für den rechten Durchmesser der Pupille lässt sich zum Zeitpunkt des Pretests ein signifikantes Ergebnis konstatieren ($\chi^2 (4) = 12.67, p = .013, n = 12$). Der Unterschied lässt sich, wie schon beim linken Auge beim Vergleich t1 zu t5 ($p = .008, r = .035$) verorten.

Für den *Interventionstyp VAC 2* und den Vergleich der einzelnen Messzeitpunkte zeigt sich bei dem Pupillendurchmessers des linken Auges während dem Pretest ein statistisch signifikantes Ergebnis ($\chi^2 (4) = 22.33, p < .001, n = 12$). Gleiches gilt für die Werte, die während dem Posttest erhoben wurden ($\chi^2 (4) = 16.13, p = .003, n = 12$). Post-hoc lassen sich für den Pretest sowohl zwischen dem Messzeitpunkt t1 und t3 ($p = .008, r = .040$) und t1 und t5 ($p = .008, r = .037$) eine Verringerung des Pupillendurchmessers konstatieren. Bei dem rechten Auge ist bei dem Pretest zusätzlich der Vergleich t1 vs t4 signifikant ($p = .030, r = .40$) (Abbildung 32).



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Abbildung 32: Vergleich der Diameter des rechten Auges zum Zeitpunkt des Pre- und Posttest

Für das linke Auge und den *Interventionstyp* VAC 3 ist weder während der ersten ($\chi^2(4) = 4.87$, $p = .301$, $n = 12$) noch der zweiten Testung ($\chi^2(4) = 8.80$, $p \leq .066$, $n = 12$) ein statistisch signifikanter Einfluss der Messzeitpunkte ersichtlich. Für das rechte Auge lassen sich für den Pretest signifikante Unterschiede finden ($\chi^2(4) = 9.87$, $p = .043$, $n = 12$). Post-hoc lässt sich eine Verringerung des Pupillendurchmessers von t1 zu t3 konstatieren ($p = .045$, $r = .033$). Für den *Interventionstyp* VAC 4 lassen sich für beide Augen keine signifikanten Unterschiede nachweisen ($p > .05$).

Ebenso unterscheiden sich die Werte zu keinem Interventionstyp beim Vergleich des Pre- und Posttests ($p > .05$).

Symptom- und Beschwerdefragebogen nach Hoffman et al. (2008)

Zusammenhang zwischen den Symptomen und den Messzeitpunkten während der 6-wöchigen Intervention:

Die Ergebnisse der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman sind grafisch in der folgenden Korrelationsmatrix dargestellt (Abbildung 33). Die Korrelationskoeffizienten zwischen den Symptomen und dem Messzeitpunkt liegen alle im negativen Wertebereich. Die Korrelationen sind sehr gering und meist nicht signifikant ($p > .05$), mit Ausnahme der „Irritation der Augen“, die eine an der Signifikanzgrenze liegende negative Korrelation ($\rho = -.164, p = .050$) mit dem Messzeitpunkt aufweisen. Ebenso lassen sich zwischen dem Item „Müdigkeit der Augen“ und dem Item „Beeinträchtigung der Sicht“ eine moderate und statistisch signifikante positive Korrelation ($\rho = .328, p < .001$). Eine nach Cohen (1988) relativ starke Korrelation ist zudem zwischen dem Item „Rückenschmerzen“ und dem Item „Müdigkeit der Augen“ ($\rho = .479, p < .001$) ersichtlich. Weitere signifikante Korrelationen lassen sich nicht nachweisen ($p > .05$).

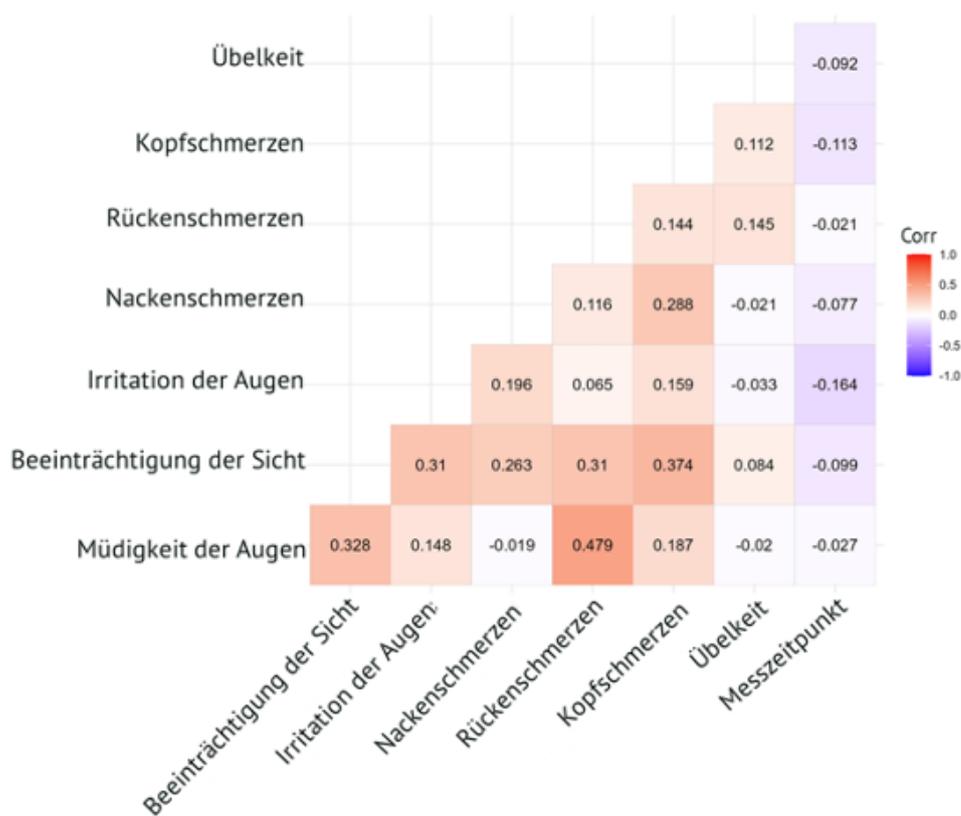


Abbildung 33: Korrelationsmatrix der Items des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) und dem Messzeitpunkt. Der Farbverlauf zeigt den Grad der paarweisen Korrelation in Bezug auf den Rangkorrelationskoeffizienten von Spearman an. Die Farbsättigung stellt die Stärke der Korrelation dar (Rot = positive, blau = negative Korrelationen)

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten während der 6- wöchigen Intervention

Neben der ordinalbasierten Analyse möglicher Zusammenhänge wurden die einzelnen Items des Fragebogens zudem auf potenzielle Unterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten geprüft. Hierzu wurde die zweifaktorielle ANOVA für Ränge nach Friedman bei verbundenen Stichproben verwendet.

Für keines der Items des Fragebogens nach Hoffman (2008) konnten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten der Intervention gefunden werden ($p > .05$).

Resümee der Ergebnisse der zweiten Studie

Die Untersuchung der *VFQ-Daten* vor und nach der 6-wöchigen Intervention zeigte einen signifikanten Unterschied nur bei der „geistigen Ermüdung“ ($p = .016$). Die *Pupillometrie-Ergebnisse* wiesen signifikante Unterschiede bei mehreren *Messzeitpunkten* vor und nach der Intervention für den Pupillendurchmesser bei VAC 1 und VAC 2 auf, jedoch nicht für VAC 3 und VAC 4. Der *Fragebogen nach Hoffman et al. (2008)* zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten, jedoch gab es einige moderate und signifikante Korrelationen zwischen den Symptomen, insbesondere zwischen „Nackenschmerzen“ und „Müdigkeit der Augen“.

KAPITEL 6

STUDIE 3 – BEHIND A WALL

AR ermöglicht das Hinzufügen und Anpassen von virtuellen Inhalten an die realen Welt, was diese Anwendung besonders für Echtzeitanwendungen interessant macht (Fortin & Hebert, 2006). Einer der Hauptvorteile der Verwendung einer erweiterten Umgebung ist zum einen die direkte Interaktion der Nutzer in der Realität, und zum anderen die Erweiterung eines begrenzten physischen Raumes. Um eine realistische Augmentation zu erzeugen, müssen reale und virtuelle Objekte so aufeinander abgestimmt werden, dass die physischen Interaktionen zwischen ihnen simuliert werden. Dazu gehören Kollisionen, Beleuchtung, Schatten und Okklusion (Fortin & Hebert, 2006). In diesem Zusammenhang wurde in der Vergangenheit insbesondere zu dem Problem der korrekten Verdeckung virtueller Objekte durch reale Objekte, der sogenannten Okklusion geforscht. In der vorliegenden Untersuchung wird der Aspekt der Okklusion ignoriert, indem durch das Hinzufügen virtueller Objekte, die mithilfe von Tiefenhinweisen scheinbar hinter den Wänden positioniert sind, ein kleiner Raum optisch erweitert wird.

Analog zu den beiden vorherigen Studien wurden die 12 Teilnehmer gebeten virtuelle Objekte mit variablen Distanzen von 0.7 m bis 7 m zu fixieren. Angewendet wurden hierbei die Apps VAC 2, VAC 3 und VAC 4.

6.1 Probandenstichprobe

Im Rahmen der Studie wurden insgesamt 12 Probanden (männlich: 8; weiblich: 4; divers 0, Alter: $M = 25.25 \pm 4.65$ Jahre) über persönliche Kontakte und den Mailverteiler des Studiengangs akquiriert. Alle Probanden wurden im Vorfeld über Inhalt und Vorgehen der Studie ausführlich aufgeklärt. Die Teilnahme war freiwillig.

6.2 Ablauf der Untersuchung und Untersuchungsmethodik

Hauptzielparameter der zweiten Studie war das Ausmaß der Symptome sowie der Einfluss des VACs auf die Konzentrationsfähigkeit.

Das Studiendesign umfasste hierzu mehrere Phasen, beginnend mit einem Pretest, gefolgt von Anwendungen in AR, einem Posttest sowie einem Follow-Up, das nach 10 Minuten durchgeführt wurde. Zunächst erfolgte der Pretest, bei dem grundlegende Daten der Teilnehmer erfasst wurden. Diese Phase diente der Erhebung von Baseline-Daten, die als Vergleichsgrundlage für nachfolgende Messungen genutzt wurden. Zur Überprüfung der Normalsichtigkeit wurde ein Visustest mit Hilfe einer standardisierten Visustafel

durchgeführt gefolgt von dem DT am Wiener Testsystem und der Befindlichkeits- und Symptomabfrage mittels des VQS (Bangor, 2000) (Abbildung 34).

Anschließend erfolgten die Anwendungen in AR. Diese Phase beinhaltete die Nutzung dreier spezifischer Applikationen in einer standardisierten Reihenfolge: VAC 2, VAC 3 und VAC 4, die auch schon bei den vorherigen beiden Untersuchungen angewendet wurden. Während der gesamten AR-Exposition saßen die Teilnehmer an einem 80 cm tiefen Schreibtisch, der direkt an einer Wand platziert war. Der Abstand zwischen den Probanden und der Wand betrug einen Meter. Diese standardisierte Umgebung gewährleistete, dass alle Teilnehmer unter den gleichen räumlichen Bedingungen an der Studie teilnahmen, wodurch mögliche externe Einflussfaktoren minimiert wurden. Nach der AR-Exposition folgte der Posttest, bei dem mittels VQS und DT Daten erhoben wurden, um die unmittelbaren Effekte der AR-Anwendungen auf das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit zu erfassen. Zuletzt wurde ein Follow-Up mit den gleichen Messverfahren nach 15 Minuten durchgeführt. Diese kurze Follow-Up-Phase diente der Überprüfung der unmittelbaren Nachwirkungen der AR-Anwendungen und ermöglichte es, schnell eintretende Veränderungen zu dokumentieren und zu bewerten.

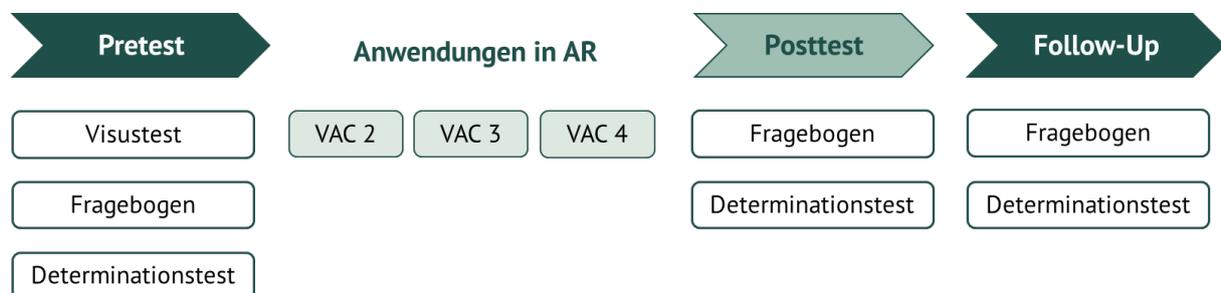


Abbildung 34: Schematische Darstellung des Studienablaufs der dritten Studie

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Deskriptive Statistik

In Anhang VII sind die deskriptiven Kennzahlen des VFQs und des DTs zu den drei Messzeitpunkten detailliert dargestellt. Die betrachteten Variablen umfassen die Mittelwerte, die Standardabweichung, das 95%-Konfidenzintervall, Schiefe und Kurtosis, sowie die Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung.

Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)

Für die Aussage „*Ich habe trockene Augen*“ steigt der Mittelwert von 1.25 ± 0.45 bei Messzeitpunkt 1 auf 2.83 ± 1.27 bei der Follow-Up. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich hinsichtlich des 95%-CIs. So lag die OG zum Zeitpunkt des Pretests bei 1.54, während sie beim Follow-Up Test 3.64 betrug. Sowohl die Schiefe der Verteilung als auch die p -Werte des Shapiro-Wilk-Tests ($p < 0.05$) deuten auf eine Nicht-Normalverteilung der Daten hin.

Für die Variable „*Meine Augen tränen*“ zeigt sich ein Anstieg des Mittelwerts ($M = 1.00 \pm 0.00$) während dem Pretest auf $M = 2.50 \pm 1.24$ bei dem Posttest unmittelbar nach der Exposition in AR. Shapiro-Wilk zu Folge kann weder zum Zeitpunkt des Posttests noch der Follow-Up-Testung von einer Normalverteilung der Residuen ausgegangen werden ($p < 0.05$).

Der Mittelwert für „*Meine Augen sind gereizt und brennen*“ erhöhte sich von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt auf $M = 3.00 \pm 1.24$ bei Messzeitpunkt 3. Die positive Schiefe und die signifikanten Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests ($p < 0.05$) weisen ebenfalls auf eine Nicht-Normalverteilung hin.

Bei dem Item „*Ich habe Schmerzen in meinen oder um meine Augen*“ erhöhte sich der Mittelwert von $M = 1.00 \pm 0.00$ während dem Pretest auf $M = 1.83 \pm 1.19$ zum Zeitpunkt der Follow-Up-Messung, 10 Minuten nach der Exposition in AR. Die subjektive Wahrnehmung von „*Ich habe schwere Augen*“ und deren Einschätzung auf der 5-stufigen Likertskala zeigt im Mittel einen Anstieg von $M = 1.33 \pm 0.49$ bei Messzeitpunkt t1 auf $M = 3.33 \pm 0.98$ bei Messzeitpunkt t2. Dieser Anstieg blieb sowohl hinsichtlich des Mittelwerts als auch hinsichtlich der Streuung auch bei Messzeitpunkt 3 bestehen ($M = 3.00 \pm 1.08$). Laut des Shapiro-Wilk-Tests kann auch bei diesem Item von keiner Normalverteilung der Daten ausgegangen werden ($p < 0.05$).

Während die Teilnehmer der Studie zum Zeitpunkt des Pretests der Aussage „*Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können*“ nicht zustimmten, steigt sowohl der Mittelwert als auch die Standardabweichung nach den Anwendungen in AR während dem Posttest auf $M = 1.75 \pm 0.87$ und $M = 1.92 \pm 1.16$ nach den 10 Minuten Pause. Nach dem Shapiro-Wilk-Test muss die Annahme der Normalverteilung der Daten verworfen werden. Ähnlich verhalten sich die weiteren Items. Des Weiteren sind vereinzelt Ausreißer ersichtlich. Sowohl für die Aussage „*Text springt vor meinen Augen hin und her*“, „*Ich habe Kopfschmerzen*“, „*Ich habe Nackenschmerzen*“ und „*Mein Gesicht ist schweißnass*“ schätzt lediglich ein Proband den Schweregrad höher ein. Demzufolge zeigen sich hier deutlich erhöhte Werte der Kurtosis. Ähnlich zu den beiden zuvor durchgeführten Untersuchungen zeigt sich keine Varianz bei dem

Item „Übelkeit“. Die höchsten Anstiege zeigen sich hinsichtlich der Aussagen „*Meine Augen sind gereizt und brennen*“ (Pretest: $M = 1.00 \pm 0.00$, Posttest: $M = 2.67 \pm 0.98$, Follow-Up: $M = 3.00 \pm 1.21$), „*Ich habe schwere Augen*“ (Pretest: $M = 1.33 \pm 0.49$, Posttest: $M = 3.33 \pm 0.98$, Follow-Up: $M = 3.92 \pm 1.31$), „*Ich habe Kopfschmerzen*“ (Pretest: $M = 1.08 \pm 0.29$, Posttest: $M = 2.92 \pm 1.00$, Follow-Up: $M = 3.42 \pm 1.08$) und „*Ich verspüre geistige Ermüdung*“ (Pretest: $M = 1.67 \pm 0.49$, Posttest: $M = 2.92 \pm 0.67$, Follow-Up: $M = 3.67 \pm 1.07$).

Insgesamt zeigen die deskriptiven Statistiken eine Zunahme der Beschwerden über die Messzeitpunkte hinweg. Die Schiefewerte der Variablen deuten darauf hin, dass die Verteilung der Daten verzerrt sind, was durch die Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests auf Nicht-Normalverteilung der Residuen bestätigt wird. Darüber hinaus sind einzelne Ausreißer ersichtlich.

Determinationstest

Für die Evaluation des Einflusses des VACs auf die Konzentrationsfähigkeit wurden die MDRT, die SFA, die V, die Z sowie die ZV über den DT des Wiener Testsystems herangezogen und ausgewertet. Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik verdeutlichen eine Veränderung der einzelnen Variablen nach der Intervention.

Vor der Intervention lag die MDRT bei $M = 65.00 \pm 8.44$, mit einem 95%-Konfidenzintervall von 95%- CI = 59.64 bis 70.36. Die Daten wiesen keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung auf ($p > 0.05$). Nach der Intervention verringerte sich die MDRT auf $M = 58.83 \pm 17.78$, mit einem 95%-CI von 47.54 bis 70.13. Die Verteilung zeigte eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung ($p < 0.05$), gekennzeichnet durch eine negative Schiefe von -2.70 und eine positiven Kurtosis von 8.51. Anders bei der Follow-Up Testung. Hier zeigte sich nach Prüfung mittels des Shapiro-Wilk-Tests keine signifikante Abweichung der Daten von der Normalverteilung ($p > 0.05$). Zudem erhöhte sich die MDRT im Vergleich zur vorherigen Messung leicht auf 63.00 ± 3.53 Sekunden.

Die deskriptiven Kennwerte der SFA zeigen, dass sich diese nach der Intervention zunächst sank und sich bei der Follow-Up-Messung wieder auf dem Ausgangsniveau stabilisierte (Abbildung 35). Während die Daten nach der Intervention eine nicht-normalverteilte Verteilung zeigten, deuteten die Daten Shapiro-Wilk zu Folge im Follow-Up auf eine mögliche Normalverteilung hin ($p > .05$).

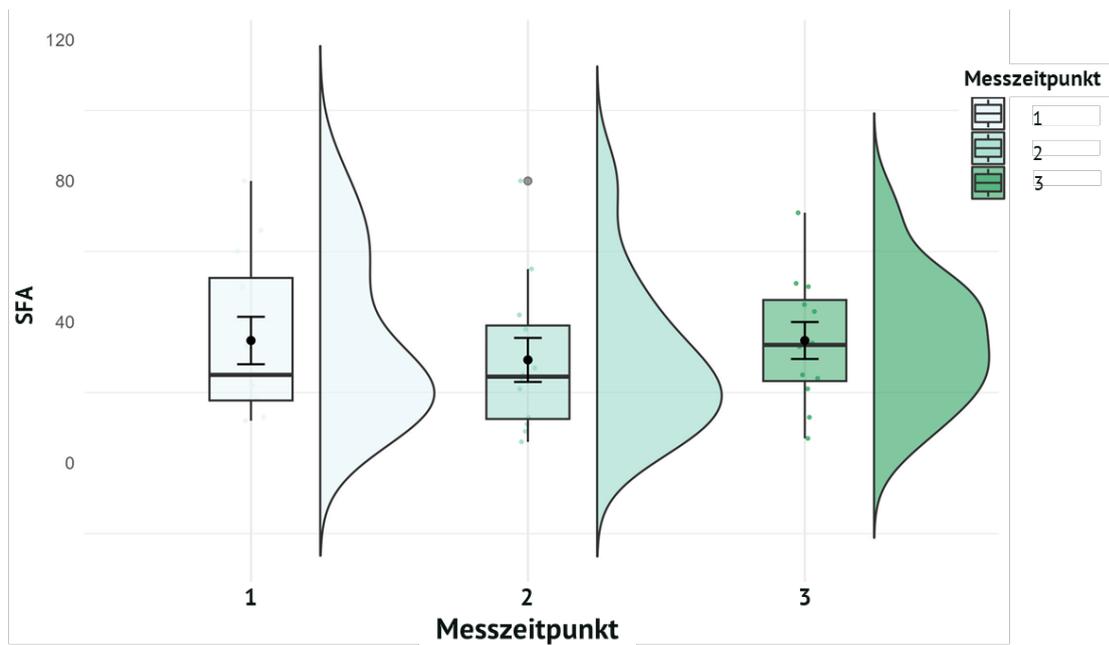


Abbildung 35: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die SFA zu den einzelnen Messzeitpunkten

Die Werte der „verspäteten Reaktionen“ liegen nach der Intervention über denen des Pretests, kehren zum dritten Messzeitpunkt aber wieder auf das Ausgangsniveau zurück (Pretest: $M = 79.83 \pm 14.54$; Posttest: $M = 83.00 \pm 16.54$; Follow-Up: $M = 77.50 \pm 12.16$) während die Streuung bei der Follow-Up-Testung den niedrigsten Wert aufweist. Die Daten zeigen keine signifikanten Abweichungen von der Normalverteilung ($p > .05$) über alle Zeitpunkte hinweg (Abbildung 36).

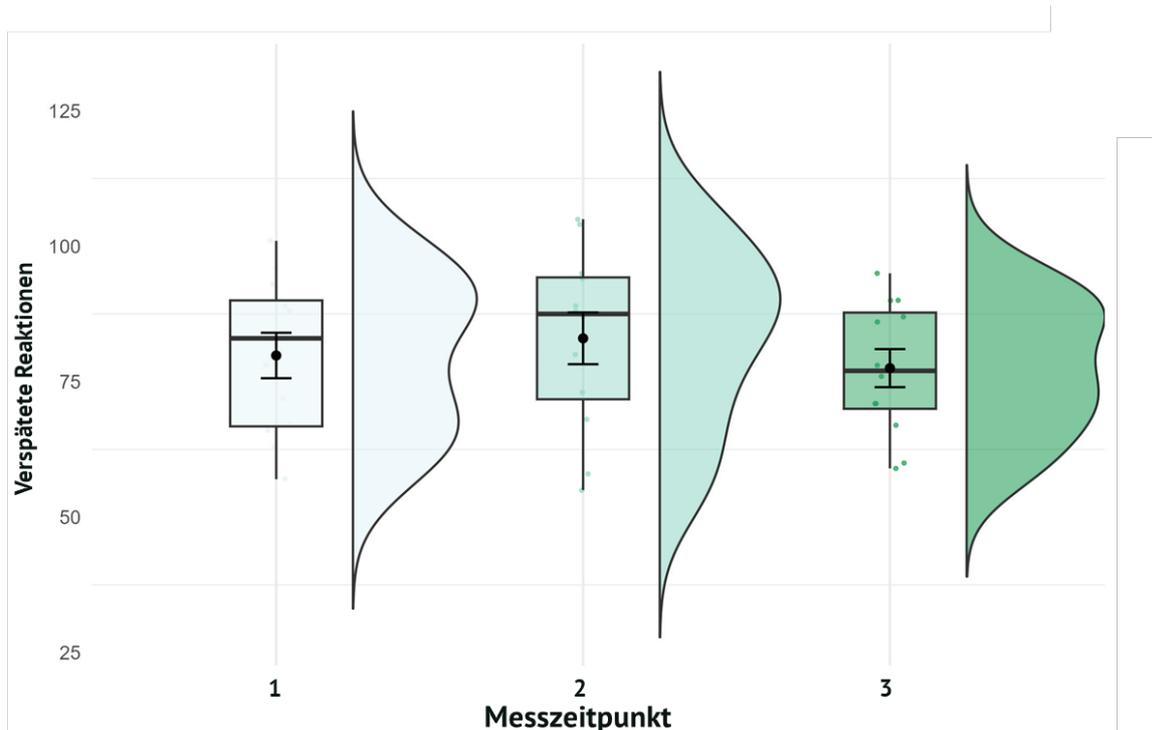


Abbildung 36: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für die Verspäteten Reaktionen zu den einzelnen Messzeitpunkten

Dementsprechend zeigen die deskriptiven Kennwerte der „zeitgerechten Reaktionen“ eine ähnliche Tendenz. Auch hier kann zu allen Messzeitpunkten von einer Normalverteilung der Residuen nach Shapiro-Wilk ausgegangen werden ($p < .05$).

Die Anzahl „richtiger Reaktionen“ zeigt vor und nach der Intervention und dem Follow-Up keine signifikanten Abweichungen von der Normalverteilung ($p > .05$). Der höchste Mittelwert ist direkt nach der Intervention ($M = 312.50 \pm 32.50$) ersichtlich. Zum Messzeitpunkt drei sinkt der Wert auf 303.83 und weist gleichzeitig mit 24.65 die geringste Streuung aller Messzeitpunkte auf. Diese ist während dem Pretest am höchsten ($SD = 47.10$).

6.3.2 Inferenzstatistik

Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten

Da für alle Items keine Normalverteilung der Daten vorlag, sowie lediglich für die Items *Ich habe trockene Augen*, *„Ich sehe Dinge doppelt“*, *„Ich habe Nackenschmerzen“*, *„Ich verspüre*

geistige Ermüdung“ und *„Mein Gesicht ist schweißnass“* von einer Varianzhomogenität ausgegangen werden kann. Darüber hinaus wurden Ausreißer in den Daten identifiziert. Daher wurde zur Unterschiedsprüfung statt einer einfaktoriellen ANOVA der nichtparametrische Friedman-Test für alle Variablen durchgeführt. Die post-hoc durchgeführten Vergleiche erfolgten mittels Dunn-Bonferroni-Test.

Hierbei zeigt sich für *„Ich habe trockene Augen“* ein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ($\chi^2(2) = 22.62, p < .001, n = 12$). Die post-hoc und mittels der Bonferroni korrigierten paarweisen Vergleichen weisen auf einen signifikanten Unterschied zwischen dem Pre- und Posttest ($p = .029, p < .001$), und dem Pre- und Follow-Up-Test ($p = .343, p < .001$), hin. Für *„Meine Augen tränen“* zeigt sich ein statistisch signifikanter Wert ($\chi^2(2) = 18.59, p < .001, n = 12$). Die paarweisen Vergleiche verorten die Unterschiede zwischen dem Messzeitpunkt eins und zwei ($p = .025, p = .008$), sowie dem Messzeitpunkt eins und drei ($p = .367, p < .001$), was Cohen (1988) zu folge einen schwachen bzw. moderaten (Pre vs Follow-Up) Effekt darstellt.

Für die Aussage *„Meine Augen sind gereizt und brennen“* lassen sich signifikante Unterschiede zwischen dem Pre- und Posttest ($p = .333, p = .003$) sowie dem Pre- und Follow-Up Test konstatieren ($p = .025, p < .001$) (Abbildung 37).

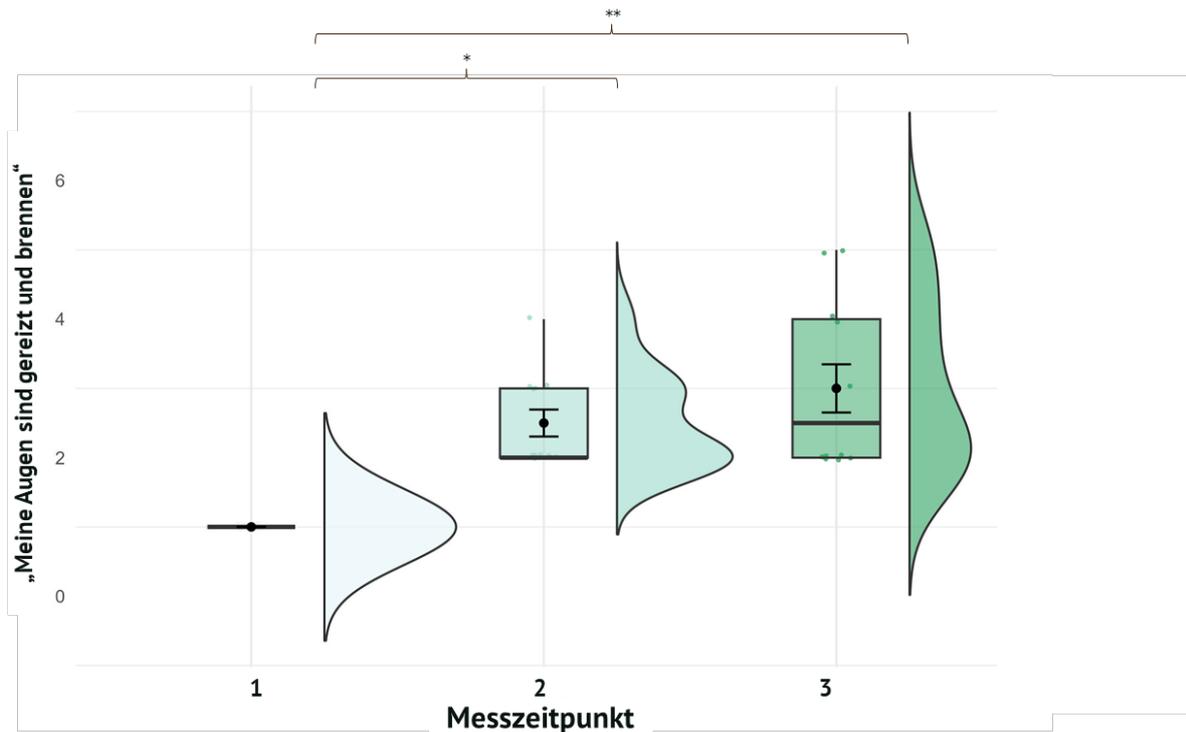


Abbildung 37: Raincloud Plots, die einzelne Datenpunkte, Boxplots und Histogramme für „Meine Augen brennen und sind gereizt“ zu den einzelnen Messzeitpunkten

Mit Ausnahme der Items „Ich habe Schmerzen in meinen oder um meine Augen“ ($\chi^2(2) = 5.64, p = .060$), „Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können“ ($\chi^2(2) = 4.67, p = .097$), „Text springt vor meinen Augen hin und her“ ($\chi^2(2) = 0.88, p = .646$), „Ich habe Nackenschmerzen“ ($\chi^2(2) = 0.13, p = .939$) und „Mein Gesicht ist schweißnass“ ($\chi^2(2) = 0.13, p = .939$) lassen sich post-hoc für alle weiteren Items statistisch signifikant höhere Werte vom Pre- zum Post-Test, sowie vom Pre- zum Follow-up-Test konstatieren ($p < .05$).

Determinationstest

Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten

Aufgrund einer Verletzung auf Normalverteilung der Daten für die Variable „Median Reaktionszeit“ und „Summe falscher und ausgelassener Reaktionen“ sowie dem Vorhandensein von Ausreißern bei den „zeitgerechten Reaktionen“, wurde der nichtparametrische Test nach Friedman zur Prüfung von Unterschieden zwischen den einzelnen Messzeitpunkten berechnet.

Hier zeigt sich weder für den „Median Reaktionszeit“ mit $\chi^2(2) = 0.79, p = .673$, noch die „Summe falscher und ausgelassener Reaktionen“ ($\chi^2(2) = 3.17, p = .205$), ein statistisch signifikantes Ergebnis. Gleiches gilt für die „zeitgerechten Reaktionen“ ($\chi^2(2) = 4.50, p = .105$). Für die restlichen zwei Variablen konnte dagegen eine einfaktorielle rmANOVA berechnet werden. Hierbei sind weder für die „verspätete Reaktionen“ ($F_{(2, 22.00)} = 1.33, p = .286, \eta_p^2 = 0.107$) noch die Variable „richtige Reaktionen“ (Greenhouse Geisser $F_{(1.32, 14.46)} = 1.66, p = .213, \eta_p^2 = 0.131$) signifikante Ergebnisse ersichtlich.

Resümee der Ergebnisse

Die Untersuchung der VQS-Daten zeigt signifikante Unterschiede bei den Items *Ich habe trockene Augen*, *Meine Augen tränen* und *„Meine Augen sind gereizt und brennen“* zwischen den Messzeitpunkten, insbesondere zwischen Pre- und Posttest sowie Pre- und Follow-Up-Test. Beim *Determinationstest* sind keine signifikanten Unterschiede bei den Variablen *„Median Reaktionszeit“*, *„Summe falscher und ausgelassener Reaktionen“* und *„zeitgerechte Reaktionen“*, ebenso wenig bei den *„verspäteten und richtigen Reaktionen“* zu konstatieren.

KAPITEL 7

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

7.1 Diskussion

Nachdem die Ergebnisse der drei Studien präsentiert wurden, konzentriert sich der folgende Abschnitt auf die Diskussion und Interpretation dieser Ergebnisse im Kontext der übergeordneten Zielsetzung der vorliegenden Arbeit sowie auf die Einordnung der Erkenntnisse in den aktuellen Stand der Forschung.

Belastung der Augen

Die Untersuchung der Augenbelastung zeigt, dass diese durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird, darunter die Messzeitpunkte und die Art der Intervention. Die Pupillometrie-Ergebnisse der ersten Studie zeigen signifikante Unterschiede im Pupillendurchmesser bei bestimmten *Interventionstypen* (VAC 1 und VAC 2) über die Zeit. Dies deutet auf eine veränderte Augenbelastung in AR-Umgebungen hin, bei denen virtuelle und reale Objekte kombiniert werden. Insbesondere beim *Interventionstyp VAC 4* lassen sich demzufolge die höchsten Werte beobachten. Dieser Interventionstyp erfordert eine permanente Fokussierung auf einen sich zu- und wegbewegenden Würfel, was offenbar die größte Belastung für die Augen darstellte. Diese Befunde werden durch die Ergebnisse des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) unterstützt, die visuell und deskriptiv eine erhöhte Müdigkeit der Augen sowie eine Beeinträchtigung der Sicht feststellten.

Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Forschungsergebnissen im Bereich VR überein, bei denen über schwerere Symptome bei Anwendungen mit ständig wechselnden Distanzen berichtet wird (Hoffman et al., 2008; Shibata et al., 2011). Die Korrelation zwischen „*Müdigkeit der Augen*“ und „*Irritation der Augen*“ bestätigt zusätzlich die visuelle Belastung während der Aufgaben in AR.

Weitere Studien haben gezeigt, dass visuelle Ermüdung in VR- und AR-Umgebungen häufig auftritt und durch verschiedene Faktoren wie Beleuchtung, Fokussierungsanforderungen und die Qualität der Darstellung beeinflusst wird (Kruijff et al., 2010; Lambooi et al., 2009). Eine Untersuchung von Swan und Gabbard (2014) hebt hervor, dass eine inkonsistente visuelle Darstellung in AR-Anwendungen zu erhöhter Augenbelastung führen kann. Die visuelle Belastung wird auch durch die Interaktion mit virtuellen und realen Objekten beeinflusst. Eine Studie von Y. Kim et al. (2017) betont, dass längere Expositionszeiten in AR-Umgebungen zu einer signifikanten Zunahme von Augenbelastungssymptomen führen können. Dies steht im Einklang mit den in der vorliegenden Arbeit beobachteten Ergebnissen,

insbesondere bei den höheren Intensitäten der Kopfschmerzen und der Augenmüdigkeit am zweiten Tag der Datenerhebung.

Blaues Licht könnte noch stärker zur visuellen Ermüdung beitragen als VR-HMDs, jedoch ist die Bedeutung dieses Faktors unklar, da nur wenige Studien, insbesondere mit HMDs, durchgeführt wurden (Lawrenson et al., 2017; Priya & Subramaniyam, 2020; Tu et al., 2021). Chronische Exposition gegenüber blauem Licht kann die Netzhaut schädigen (Ahmed et al., 2018). Da HMDs OLED- und LCD-Technologien verwenden, könnte blaues Licht ein Faktor für visuelle Ermüdung bei der Nutzung von AR-basierten HMDs sein. Frühere Untersuchungen zu Stereoskopie und Naharbeit legen nahe, dass blaues Licht eine geringere Akkommodation zur Folge hat (Panke et al., 2019). Zudem werden mehrere andere Display-Merkmale mit visueller Ermüdung in Verbindung gebracht: Je heller die angezeigten Reize sind, desto höher ist die visuelle Ermüdung (Erickson et al., 2020; A. H. Wang et al. 2010). Häufige Farbwechsel und dynamische Videos steigern ebenfalls die visuelle Ermüdung (Y. Kim et al. 2017; Kweon et al. 2018).

Der horizontale Abstand zwischen den Augen (Interpupillärer Abstand, IPD) beträgt bei uns Menschen durchschnittlich 65 mm (Anses, 2014) und kann in der Allgemeinbevölkerung zwischen 50 und 77 mm variieren (Lambooj et al., 2009; Stanney, Fidopiastis & Forster, 2020). Diese Spanne kann jedoch je nach Land und Geschlecht unterschiedlich sein und größer werden, wenn Kinder einbezogen werden (Dodgson, 2004; Stanney et al., 2020). Fehlanpassungen von HMD-Gläsern in Bezug auf binokulare Reize im Zusammenhang mit der IPD können zu visueller Ermüdung führen (Hibbard et al. 2020). Diese IPD kann bei der verwendeten Hololens 2 zwar gemessen, aber nicht angepasst werden. Eine individuelle Anpassung des HMD war demnach nicht möglich. Dennoch bleibt die Frage offen, warum in beiden Studien, in denen die Daten zum Pupillendurchmesser erhoben wurden, unterschiedliche Reaktionen des rechten und linken Auges beobachtet wurden. Dies kann nicht abschließend geklärt werden und bedarf weiterer Forschung, um die zugrunde liegenden Mechanismen besser zu verstehen. Unterschiedliche Umgebungsbedingungen, individuelle Anpassungsfähigkeiten der Probanden und die spezifische Art der AR-Interventionen könnten hier eine Rolle spielen (Makransky, Terkildsen & Mayer, 2019).

Wohlbefinden

Das Eyetracking und die beobachteten Veränderungen der Augen ermöglichen zum einen Rückschlüsse auf den Einfluss des VACs auf die Augen und zum anderen auf das allgemeine Wohlbefinden der Probanden. Höhere Stressreaktionen gehen mit einer größeren Pupillenerweiterung einher (Cabrera-Mino, Shinnick & Moye, 2019) und stimmen mit der subjektiven Bewertung überein (Bertilsson et al., 2020). Visuell und deskriptiv lassen sich für die Müdigkeit der Augen, gefolgt von der Beeinträchtigung der Sicht, erhöhte Werte über die gesamte Datenerhebung und insbesondere im Zusammenhang mit VAC 4 beobachten. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass dieser Interventionstyp, bei dem eine permanente Fokussierung auf einen sich zu- und wegbewegenden Würfel erforderlich ist, die größte Belastung für die Augen und das Wohlbefinden darstellt. Zudem haben Forschungsarbeiten im Bereich VR gezeigt, dass visuelle Ermüdung zeitabhängig ist. Je länger die Exposition in VR andauert, desto stärker manifestiert sich die visuelle Ermüdung. Guo et al. (2019) stellten fest, dass die Schwere der Symptome mit zunehmender Expositionsdauer zunimmt und der Schweregrad in den ersten 20 Minuten besonders schnell ansteigt. In einer weiteren Studie berichteten Guo et al. (2020) über VR-Expositionen von nahezu acht Stunden und dokumentierten dabei eine verstärkte akkommodative Reaktion sowie Veränderungen der Pupillengröße. Die vorliegenden Ergebnisse zur Belastung der Augen über die einzelnen Messzeitpunkte hinweg bestätigen den aktuellen Forschungsstand nicht. Sowohl bei der Beeinträchtigung der Sicht als auch bei den Angaben zur empfundenen Müdigkeit und Irritation der Augen sind die höchsten Werte eher zu Beginn der Exposition in AR zu verorten. Die Beschleunigung der Herzfrequenz unter verschiedenen Bedingungen kann auf unterschiedliche Reaktionen des ANS zurückgeführt werden, die eine gleichzeitige Aktivierung und Hemmung der sympathischen und parasympathischen Zweige des ANS umfassen (Berntson et al., 1994; van Eekelen, Houtveen & Kerkhof, 2004). Studie eins der vorliegenden Arbeit zeigt Unterschiede der mittleren HF zwischen den Interventionstypen. Diese Ergebnisse liefern wichtige Hinweise auf die Unterschiede in der mittleren HF zwischen verschiedenen AR-Interventionen. Analog zu den Ergebnissen des Eyetrackings und des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) zeigen sich für den Interventionstyp VAC 4, insbesondere bei den weiblichen Teilnehmerinnen, höhere Werte der mittleren HF. Die mittlere HF ist ein wichtiger Indikator für die physiologische Belastung und das Stressniveau eines Individuums. Unterschiede in der mittleren HF zwischen den verschiedenen

Interventionstypen deuten darauf hin, dass bestimmte VR- oder AR-Szenarien unterschiedliche Grade an physiologischer Belastung verursachen können. Laut Pyne et al. (2023) kann die Herzfrequenzvariabilität (HRV) in VR-Umgebungen als Maß für den Stress und die emotionale Belastung verwendet werden. Diese Studie unterstützt die Beobachtung, dass die mittlere HF je nach Art der VR/AR-Intervention variieren kann.

Die fehlenden Differenzen in den frequenzbasierten Parametern im Vergleich zum Ausgangswert könnten auf die kurzen Messzeiten zurückzuführen sein, die möglicherweise nicht ausreichen, um signifikante physiologische Veränderungen zu detektieren. Deutliche Veränderungen physiologischer Parameter gehen meist mit einer längeren VR/AR-Exposition einher (Guo et al., 2019; Malińska et al., 2015).

Zusätzlich könnten individuelle Unterschiede in der Adaptationsfähigkeit der Probanden an die VR- und AR-Umgebungen eine Rolle spielen. Eine Studie von Makransky et al. (2019) zeigte, dass die individuelle Anpassungsfähigkeit an VR-Umgebungen variiert und somit die physiologischen Messungen beeinflussen kann.

Die Ergebnisse des Fragebogens nach Hoffman et al. (2008) zeigen signifikante Unterschiede in der Intensität der Kopfschmerzen, wobei die Werte der Datenerhebung an Tag zwei deutlich über denen des Vortags liegen. Diese Befunde legen nahe, dass das Tragen von AR-Headsets oder -Brillen über längere Zeiträume unangenehm sein und zu Ermüdung führen kann. Die Zunahme der Kopfschmerzintensität an Tag zwei im Vergleich zu Tag eins könnte auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden, die in der Literatur gut dokumentiert sind. Y. Kim et al. (2017) berichteten, dass längere Exposition gegenüber AR- und VR-Umgebungen häufig mit einer Zunahme von Beschwerden wie Kopfschmerzen, Augenbelastung und generelles Unwohlsein verbunden ist. Dies korrespondiert mit den Ergebnissen von Hoffman et al. (2008), die ähnlichen Symptome bei der Nutzung von immersiven Technologien dokumentierten.

Die Verwendung von AR-Headsets über längere Zeit kann zu physischer und kognitiver Ermüdung führen. Forschungsarbeiten legen nahe, dass die Nutzung von HMDs negative Auswirkungen auf die Biomechanik von Nacken und Schultern haben kann. Studien belegen, dass der Gebrauch von HMDs mit einer erhöhten Nackenflexion, veränderten Schulterwinkeln sowie einer gesteigerten Muskelaktivität einhergeht. Diese biomechanischen Veränderungen können das Risiko von muskuloskelettalen Beschwerden erhöhen (J. H. Kim et al., 2020; Knight & Baber, 2007). Dies wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstützt,

die eine Zunahme der Nacken- und Kopfschmerzen nach einem weiteren Tag der Nutzung dokumentiert. Ein Habituationseffekt nach einem sechswöchigen Training zeigte sich nicht.

Konzentrationsfähigkeit

Die MDRT variierte signifikant zwischen den verschiedenen Testzeitpunkten. Diese Variation könnte auf die zunehmende kognitive Belastung und Ermüdung zurückzuführen sein, die durch die AR-Interventionen verursacht wurden. Vergenz- und Akkommodationsinsuffizienz wird mit geringerem Engagement und höherer kognitiver Ermüdung bei komplexen Aufgaben in Verbindung gebracht (Bernhardt & Poltavski, 2021). Da Benutzer ständig zwischen virtuellen und realen Objekten wechseln müssen, führt dies zu erhöhter mentaler Anstrengung (Andersen et al., 2016; E. Martin et al., 2023; Thees et al., 2020). Gleichzeitig kann visuelle Ermüdung die Aufmerksamkeit negativ beeinflussen (Souchet et al., 2022). Die Ergebnisse der MDRT in dieser Studie stimmen mit diesen Befunden überein und weisen darauf hin, dass AR-Interventionen die Reaktionszeiten der Benutzer nach einer Exposition beeinflussen können. In der vorliegenden Studie könnte die Zunahme der MRT teilweise durch die visuelle Ermüdung erklärt werden, die durch die wiederholte Fokussierung auf nahe und entfernte Objekte in den AR-Umgebungen verursacht wird.

Für die SFA wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten festgestellt. Dies könnte darauf hindeuten, dass die AR-Interventionen keine signifikanten Auswirkungen auf die Genauigkeit der Teilnehmer hatten. Die Forschung zeigt, dass während kurzer AR-Expositionen die Genauigkeit der Aufgabenbearbeitung nicht wesentlich beeinträchtigt, längere Expositionen jedoch zu einer erhöhten Fehlerquote führen können (Makransky et al., 2019; Y. Kim et al., 2017). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie deuten darauf hin, dass die AR-Interventionen möglicherweise nicht lang genug waren, um signifikante Unterschiede in der Fehlerquote zu verursachen. Ähnlich wie bei der SFA zeigten die zeitgerechten Reaktionen keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Testzeitpunkten. Dies legt nahe, dass die Fähigkeit der Teilnehmer, zeitlich korrekte Reaktionen zu geben, durch die AR-Interventionen nicht wesentlich beeinträchtigt wurde. Interessanterweise konnten hierzu keine VR/AR-Studien gefunden werden. Allerdings steht das Ergebnis im Einklang mit früheren Studien der Kognitionsforschung, die festgestellt haben, dass eine Erhöhung der kognitive Belastung keinen Einfluss auf zeitgerechte Reaktionen hat (Biese et al., 2019).

7.2 Limitationen und Schlussfolgerung

Im Folgenden werden die verschiedenen Parameter dieser Studie hinsichtlich ihrer Limitationen beschrieben und erläutert. Zudem wird die Methodik, die die Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse einschränkt, diskutiert.

Eyetracking

Das Eyetracking in augmentierten Umgebungen weist spezielle Limitationen auf, die die Interpretation der Ergebnisse einschränken. Aufgrund der Tatsache, dass die Augen besonders auf Licht reagieren und in solchen Umgebungen lichtbasierten Hologrammen ausgesetzt sind, war es nicht möglich, einen direkten Vergleich zwischen den einzelnen Messzeitpunkten und Interventionstypen anzustellen. Stattdessen konnte lediglich ein Vergleich innerhalb der verschiedenen Interventionstypen durchgeführt werden. Dies ergibt sich daraus, dass die Augen äußerst sensibel auf Licht reagieren und dementsprechend unterschiedlich auf die verschiedenen Interventionen in AR reagieren. Bei einigen Interventionen wurden über die gesamte Dauer virtuelle Objekte (VAC 3) angezeigt, während bei anderen wiederholt Hologramme aufleuchteten.

Dennoch scheint Eyetracking ein praktikables Messinstrument für HMDs zu sein, das nicht nur auf visuelle Ermüdung und kognitive Belastung beschränkt ist (Abdulin & Komogortsev, 2015). Da die Implementierung von Eyetracking in HMDs relativ neu ist, wird es bisher nur in wenigen Studien verwendet.

HRV

Die Messung der HRV kann sehr stark von messbedingten Artefakten wie Bewegungsaktivitäten oder der Sensorplatzierung abhängen, was die Auswertung der Daten erschwert und in der ersten Studie die Anzahl an verwertbaren Messungen deutlich reduziert hat.

Fragebögen

Die Wahrnehmung und das Berichtverhalten von Symptomen sind von Natur aus subjektiv und können stark variieren, was die Vergleichbarkeit und Interpretation der Daten erschwert. Niedrige Prävalenzraten von berichteten Symptomen erschweren statistische Analysen und die Identifizierung signifikanter Unterschiede oder Zusammenhänge. Dies kann dazu führen, dass die statistische Aussagekraft der Studie eingeschränkt wird.

Determinationstest

Die Ergebnisse des DTs sind dahingehend kritisch zu betrachten, da aufgrund zeitlicher Einschränkungen lediglich ein Durchgang zum Üben vorab durchgeführt werden konnte und so ein möglicher Habituationseffekt nicht ausgeschlossen werden kann. Da dies aber für die Gesamtstichprobe gilt, kann dieser Aspekt vernachlässigt werden.

Stichprobe

Die vorliegenden Studien beschränken sich auf Probanden im Alter von 20 bis 30 Jahren, was die Aussagekraft der Ergebnisse auf diese Altersgruppe begrenzt. Dies ist besonders relevant, da die Akkommodationsfähigkeit mit zunehmendem Alter abnimmt (Grehn, 2019). Dieser Zustand, bekannt als Presbyopie, wird hauptsächlich durch die Verhärtung der Augenlinse verursacht (Duane, 1912; Kasthurirangan & Glasser, 2006). Nach den Messungen von Duane beginnt die Alterssichtigkeit im Alter von 12 Jahren, aber bis zum frühen 30. Lebensjahr ist der Verlust nur geringfügig. Eine verringerte Stereosehschärfe scheint mit erhöhter visueller Ermüdung einherzugehen (Ramadan & Alhaag, 2018). Folglich könnte diese Altersgruppe ein höheres Risiko für visuelle Ermüdung haben.

Außerdem wies eine Person durchgehend deutlich höhere Werte in allen Parametern auf. Individuelle Unterschiede in der Prävalenz können daher nicht ausgeschlossen werden und sollten in zukünftigen Studien weiter untersucht werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse der Untersuchung sollten daher nicht unreflektiert auf die Allgemeinheit übertragen werden, sondern gelten lediglich für Personen, die in ihren Eigenschaften den getesteten Probanden entsprechen (Döring & Bortz, 2015). Die Ergebnisse der Untersuchung sind demnach als intern valide anzusehen, während die externe Validität begrenzt ist (Fröhlich et al., 2020).

Eine weitere Limitation stellt die Stichprobengröße dar. An der ersten Untersuchung nahmen insgesamt 45 Personen teil, die sich an Tag zwei randomisiert auf zwei Gruppen verteilten, wodurch die Fallzahl bei 23 und 22 Probanden pro Gruppe lag. Aufgrund des eher kleinen Stichprobenumfangs sind die Konfidenzintervalle breit, was zu einer entsprechend großen Unsicherheit in den Ergebnissen führt und bei der Dateninterpretation berücksichtigt werden muss. Zudem kam es teilweise zu Dropouts bei den einzelnen Parametern.

An den beiden explorativ angelegten Folgestudien nahmen jeweils 12 Personen teil. Um einen Fehler zweiter Art auszuschließen, sollte die β -Fehler-Wahrscheinlichkeit unter 20% ($\beta = 0.2$) liegen, was als akzeptable Belege für die Richtigkeit angesehen wird (Bortz, 1993). Dies trifft auf die vorliegenden Untersuchungen nicht zu.

Ungeachtet der zufälligen Reihenfolge der einzelnen Interventionen in AR, stellt die Erforschung der Auswirkungen einer bestimmten Abfolge (Sequenzeffekte) eine interessante Fragestellung dar. Aufgrund des vorliegenden Studiendesigns und der damit verbundenen geringen Stichprobengröße pro Reihenfolge (Studie eins: Tag eins: $4! = 24$ und Tag zwei: $3! = 6$) konnte diese Untersuchung nicht durchgeführt werden, da die notwendigen Voraussetzungen nicht gegeben waren.

AR-Umgebung

Die konzipierten Apps eröffnen einen Transfer auf vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in Bereichen wie Sport, Bildung und alltäglicher Nutzung. Insbesondere der *Interventionstyp VAC 1* wurde durch den ständigen Wechsel zwischen virtuellen und realen Objekten so gestaltet, dass er die Interaktion mit einem Trainer oder Dozenten nachahmt. Der *Interventionstyp VAC 2*, bei dem Teilnehmer virtuelle Informationen in Form von Buchstaben und Zahlen notieren sollten, sowie der *Interventionstyp 3*, der das simulative Lesen von Texten und das visuelle Erfassen von Tabellen umfasste, lassen sich vorrangig auf den Bildungssektor und die Arbeitswelt übertragen. Der *Interventionstyp VAC 4*, der das Einblenden von Informationen umfasst, kann beispielsweise in Trainings- und Lernumgebungen genutzt werden, um dynamisch Daten und Lerninhalte zu präsentieren.

Gleichzeitig wurde darauf geachtet, die Apps in ihrer Anforderung trivial zu halten, um mögliche Zusatzbelastungen zum Beispiel des Cognitive Loads zu minimieren. Die hier beschriebenen Ergebnisse und Anwendungen können als somit Orientierungshilfe für andere Szenarien genutzt werden, die ein ähnliches Setting verwenden.

KAPITEL 8

FAZIT

8.1 Fazit

Die Untersuchung der Augenbelastung in verschiedenen AR-Interventionen zeigt, dass Faktoren wie die Art der Intervention und die Messzeitpunkte eine signifikante Rolle spielen. Die Ergebnisse der Pupillometrie und Fragebögen deuten darauf hin, dass bestimmte Interventionstypen, insbesondere solche mit kontinuierlich wechselnden Fokussierungen, die höchste Augenbelastung verursachen. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit früheren Studien, die ähnliche Symptome in VR-Umgebungen festgestellt haben.

Die Literatur zeigt, dass visuelle Ermüdung häufig durch Faktoren wie Beleuchtung, Fokussierungsanforderungen und die Qualität der Darstellung beeinflusst wird. Blaues Licht und dynamische visuelle Reize erhöhen ebenfalls die visuelle Ermüdung. Die Studienergebnisse legen nahe, dass die Augenbelastung in AR-Umgebungen durch wiederholtes Wechseln zwischen virtuellen und realen Objekten verstärkt wird, was zu erhöhter kognitiver und visueller Ermüdung führt. Dennoch bleibt festzuhalten, dass die genaue Ausprägung und Wahrnehmung dieser Belastungen individuell variieren können und weitere Forschung notwendig ist, um gezielte Lösungen zur Reduzierung der visuellen Ermüdung in solchen Kontexten zu entwickeln.

Die Gesamtbefunde der Studie unterstreichen die Notwendigkeit weiterer Forschung, um die Mechanismen der Augenbelastung und kognitiven Ermüdung in AR-Umgebungen besser zu verstehen. Unterschiedliche Reaktionen auf AR-Interventionen, individuelle Anpassungsfähigkeiten und die spezifischen Bedingungen der Umgebung sind dabei entscheidende Faktoren, die in zukünftigen Untersuchungen berücksichtigt werden sollten.

8.2 Ausblick

Die Vermeidung des VACs erfordert sicherlich eine multidisziplinäre Anstrengung mit den Fortschritten in der Optik, Elektronik, Informatik und Benutzerforschung.

Die HoloLens verwendet Wellenleiter und Projektoren, um digitale Inhalte in die reale Welt zu integrieren. Diese Technologie ermöglicht es, holografische Bilder über das Sichtfeld des Benutzers zu projizieren und eine interaktive Mixed-Reality-Erfahrung zu schaffen, ohne jedoch die natürlichen Fokussierungsmechanismen des Auges vollständig zu simulieren, wie es beispielsweise Lichtfeld-Displays tun würden.

Lichtfeld-Displays erfassen sowohl die Richtung als auch die Intensität des Lichts, das von einer Szene ausgeht, und ermöglichen so eine realistischere Darstellung, die das menschliche Auge ähnlich wie in der natürlichen Umgebung fokussieren kann (Yamaguchi, 2016). Diese Technologie könnte eine Lösung für den VAC bieten, indem sie die natürlichen Fokussierungsmechanismen des Auges unterstützt.

Eine weitere Alternative könnten sogenannte Adaptiv Optiken darstellen, die dynamische Linsen oder Spiegel nutzen um Anpassungen des Auges zu provozieren (Langlotz et al., 2014; Y. J. Wang & Lin, 2021). Diese Technologie könnte es ermöglichen, den Fokus von VR/AR-Displays kontinuierlich an die Tiefeninformationen der dargestellten Szene anzupassen, wodurch der VAC minimieren könnte. Dies erfordert jedoch schnelle und präzise Steuerungssysteme, um Verzögerungen zu vermeiden (Langlotz et al., 2014). Multifokale und varifokale Displays verwenden dagegen mehrere Bildebenen oder eine variable Fokuslinse, um unterschiedliche Tiefenebenen zu simulieren (Zhou et al., 2022). Dadurch können diese Displays die Augenmuskeln dazu bringen, sich auf unterschiedliche Entfernungen einzustellen, was der natürlichen Sichtweise näherkommt und den VAC verringert. Softwarebasierte Lösungen nutzen Algorithmen, um die dargestellten Bilder so anzupassen, dass sie den VAC reduzieren. Beispielsweise können Algorithmen verwendet werden, um Tiefenunschärfe zu simulieren oder die Bilddarstellung basierend auf der Position des Auges dynamisch anzupassen (Y. J. Wang & Lin, 2021). Diese Lösungen sind weniger hardwareintensiv, können jedoch die realistische Darstellung beeinträchtigen. Einen Weg den Apple aktuell bestreitet ist der der benutzerzentrierten Kalibrierung, wo nach das HMD individuell auf den Benutzer abgestimmt wird. Durch genaue Messung der individuellen Pupillendistanz und anderer optischer Parameter kann die Darstellung optimiert werden, um den VAC zu minimieren. Dies erfordert jedoch fortschrittliche Kalibrierungstechniken und personalisierte Anpassungen.

In der Praxis wird die Lösung des VAC wahrscheinlich eine Kombination der oben genannten Technologien erfordern. Durch die Integration von Lichtfeld-Displays, adaptiver Optik und algorithmischen Anpassungen können VR/AR-Systeme entwickelt werden, die den VAC erheblich reduzieren und somit ein komfortableres und realistischeres visuelles Erlebnis bieten.

Gleichzeitig müssen die Endverbraucher in den neuen, aber auch – und das ist, laut J. Martin, Bohuslava & Igor (2018) ebenso wichtig – in den Werten, die mit der Nutzung dieser

Technologien verbunden sind, gut ausgebildet sein. Künftig müssen wir nicht nur in der Lage sein, die Technologie zu entwickeln, sondern auch wissen, ob, wann und wo wir diese einsetzen sollen. Diese Art des Denkens ist sowohl reflexiv als auch interdisziplinär.

Das Verständnis des Einflusses des VAC sowie der AR-Nachwirkungen auf den Trainings- und Lernerfolg könnte wesentlich dazu beitragen, die Risiken bei der Nutzung von HMDs in verschiedenen Anwendungen zu minimieren. Ein vertieftes Wissen darüber, wie diese Faktoren das Lernen und das allgemeine Wohlbefinden der Nutzer beeinflussen, ist entscheidend, um AR-Technologien sicherer und effektiver zu gestalten.

Sicherlich bieten die neuen Technologien großes Potential unseren Alltag und die Arbeitswelt zu revolutionieren. Neben den ganzen Vorteilen sollte der negative Einfluss keinesfalls außer Acht gelassen werden. In Zukunft werden praxistaugliche Lösungen nötig sein, die diese Einflüsse minimieren.

LITERATURVERZEICHNIS

- Abduln, E. & Komogortsev, O. (2015). User eye fatigue detection via eye movement behavior. In *Proceedings of the 33rd annual ACM conference extended abstracts on human factors in computing systems* (S. 1265-1270). <https://doi.org/10.1145/2702613.2732812>
- Abernethy, B. (2001). Attention. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas & C. M. Janelle (Hrsg.), *Handbook of sport psychology* (S. 53–85). John Wiley & Sons Inc.
- Ahmed, S. F., McDermott, K. C., Burge, W. K., Ahmed, I. I. K., Varma, D. K., Liao, Y. J., Crandall, A. S. & Khaderi, S. K. R. (2018). Visual function, digital behavior and the vision performance index. *Clinical Ophthalmology*, 2553-2561. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S187131>
- Akçayır, M. & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Alhassan, M., Alhamad, F., Bokhary, K. & Almustanyir, A. (2021). Effects of Virtual Reality Head-mounted Displays on Oculomotor Functions. *International Journal of Ophthalmology & Visual Science*, 6(1), 10. <https://doi.org/10.11648/j.ijovs.20210601.12>
- Ambika, N. & Alam, M. (2023). 11 Role of augmented reality and virtual reality in sports. In R. Goel, S. K. Baral, T. Mishra & V. Jain (Hrsg.), *Augmented and Virtual Reality in Industry 5.0* (S. 221–236). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110790146-011>
- Andersen, S. A. W., Mikkelsen, P. T., Konge, L., Cayé-Thomasen, P., & Sørensen, M. S. (2016). Cognitive load in distributed and massed practice in virtual reality mastoidectomy simulation. *The Laryngoscope*, 126(2), E74-E79. <https://doi.org/10.1002/lary.25449>
- Andrews, C. M., Henry, A. B., Soriano, I. M., Southworth, M. K. & Silva, J. R. (2021). Registration Techniques for Clinical Applications of Three-Dimensional Augmented Reality Devices. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 9, 4900214. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2020.3045642>
- Anses (2014). Effets sanitaires potentiels des technologies audiovisuelles en 3D stéréoscopique. *Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*, Maisons-Alfort. <https://docs.lequotidiendumedecin.fr/d6data/RedacWeb/ap2011sa0334ra.pdf>
- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R. & Weiber, T. (2021). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (16., vollst. überarb. u. erw. Auflage 2021). Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-32425-4>
- Bangor, A. W. (2000). *Display technology and ambient illumination influences on visual fatigue at VDT Workstations*. [PhD thesis]. Virginia Polytechnic Institute and State University. <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-03072001-091123/unrestricted/vfatigue.pdf>
- Banks, M. S., Hoffman, D. M., Kim, J. & Wetzstein, G. (2016). 3D Displays. *Annual Review of Vision Science*, 2, 397–435. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-082114-035800>
- Baur, N. & Blasius, J. (Hrsg.). (2014). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4>
- Berkovits, I., Hancock, G. R. & Nevitt, J. (2000). Bootstrap Resampling Approaches for Repeated Measure Designs: Relative Robustness to Sphericity and Normality Violations. *Educational and Psychological Measurement*, 60(6), 877–892. <https://doi.org/10.1177/00131640021970961>
- Bernhardt, K. A., & Poltavski, D. (2021). Symptoms of convergence and accommodative insufficiency predict engagement and cognitive fatigue during complex task performance with and without automation. *Applied Ergonomics*, 90, 103152. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103152>
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., Binkley, P. F., Uchino, B. N., Quigley, K. S., & Fieldstone, A. (1994). Autonomic cardiac control. III. Psychological stress and cardiac response in autonomic space as revealed by pharmacological blockades. *Psychophysiology*, 31(6), 599–608. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1994.tb02352.x>
- Bertilsson, J., Niehorster, D. C., Fredriksson, P. J., Dahl, M., Granér, S., Fredriksson, O., Mårtensson, J. M., Magnusson, M., Fransson, P. A., & Nyström, M. (2020). Towards systematic and objective evaluation of police officer performance in stressful situations. *Police Practice and Research*, 21(6), 655–669. <https://doi.org/10.1080/15614263.2019.1666006>

- Bharadwaj, S. R. & Candy, T. R. (2009). Accommodative and vergence responses to conflicting blur and disparity stimuli during development. *Journal of Vision*, 9(11), 4.1-18. <https://doi.org/10.1167/9.11.4>
- Biese, K. M., Pietrosimone, L. E., Andrejchak, M., Lynall, R. C., Wikstrom, E. A., & Padua, D. A. (2019). Preliminary investigation on the effect of cognition on jump-landing performance using a clinically relevant setup. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 23(1), 78-88. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2018.1518875>
- Billinghurst, M., Clark, A. & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73–272. <https://doi.org/10.1561/11000000049>
- Bimberg, P., Weissker, T., & Kulik, A. (2020, March). On the usage of the simulator sickness questionnaire for virtual reality research. In *2020 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces abstracts and workshops (VRW)*. (S. 464-467). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VRW50115.2020.00098>
- Bortz, J. (1993). *Statistik: Für Sozialwissenschaftler* (4. vollst. überarb.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (Hrsg.). (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0>
- Bos, A. S., Herpich, F., Kuhn, I., Guarese, R. L. M., Tarouco, L. M. R., Zaro, M. A. et al. (2019). Educational Technology and Its Contributions in Students' Focus and Attention Regarding Augmented Reality Environments and the Use of Sensors. *Journal of Educational Computing Research*, 57(7), 1832–1848. <https://doi.org/10.1177/0735633119854033>
- Brace, N., Kemp, R. & Snelgar, R. (2006). *SPSS for psychologists: A guide to data analysis using SPSS for Windows*, (3. Auflage) [Computer software]. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Brunnström, K., Wang, K., Tavakoli, S. & Andrén, B. (2017). Symptoms analysis of 3D TV viewing based on Simulator Sickness Questionnaires. *Quality and User Experience*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s41233-016-0003-0>
- Bucci, M. P., Kapoula, Z., Bui-Quoc, E., Bouet, A. & Wiener-Vacher, S. (2011). Saccades and vergence performance in a population of children with vertigo and clinically assessed abnormal vergence capabilities. *PLOS ONE*, 6(8), e23125. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023125>
- Bühner, M., Mangels, M., Krumm, S. & Ziegler, M. (2005). Are Working Memory and Attention Related Constructs?. *Journal of Individual Differences*, 26(3), 121–131. <https://doi.org/10.1027/1614-0001.26.3.121>
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (3.Auflage, 2011). Wiesbaden: VS Verlag.
- Bum, C.-H., Mahoney, T. & Choi, C. (2018). A Comparative Analysis of Satisfaction and Sustainable Participation in Actual Leisure Sports and Virtual Reality Leisure Sports. *Sustainability*, 10(10), 3475. <https://doi.org/10.3390/su10103475>
- Cabrera-Mino, C., Shinnick, M. A., & Moye, S. (2019). Task-Evoked Pupillary Responses in Nursing Simulation as an Indicator of Stress and Cognitive Load. *Clinical Simulation in Nursing*, 31, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2019.03.009>
- Cakmakci, O. & Rolland, J. (2006). Head-Worn Displays: A Review. *Journal of Display Technology*, 2(3), 199–216. <https://doi.org/10.1109/JDT.2006.879846>
- Card, S. K., Moran, T. P. & Newell, A. (1986). The model human processor: An engineering model of human performance. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance – Cognitive processes and performance* (2. Auflage, S. 1–35). John Wiley & Son.
- Cha, Y. H., Golding, J. F., Keshavarz, B., Furman, J., Kim, J. S., Lopez-Escamez, J. A., Magnusson, M., Yates, B. J. & Lawson, B. D. (2021). Motion sickness diagnostic criteria: consensus document of the classification committee of the Bárány society. *Journal of Vestibular Research*, 31(5), 327-344.
- Chang, K.-E., Zhang, J., Huang, Y.-S., Liu, T.-C. & Sung, Y.-T. (2020). Applying augmented reality in physical education on motor skills learning. *Interactive Learning Environments*, 28(6), 685–697. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1636073>
- Chen, P., Liu, X., Cheng, W. & Huang, R. (2017). A review of using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016. In E. Popescu, Kinshuk, M. K. Khribi, R. Huang, M. Jemni, N.-S. Chen et al. (Hrsg.),

- Innovations in Smart Learning* (Lecture Notes in Educational Technology, S. 13–18). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2419-1_2
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Auflage). Lawrence Erlbaum Associates Publishers. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Cohen, J. (1992). Quantitative methods in psychology: A power primer. *Psychol. Bull.*, 112, 1155–1159.
- Condino, S., Carbone, M., Piazza, R., Ferrari, M. & Ferrari, V. (2020). Perceptual Limits of Optical See-Through Visors for Augmented Reality Guidance of Manual Tasks. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 67(2), 411–419. <https://doi.org/10.1109/TBME.2019.2914517>
- Dan, E. L., Dinsoreanu, M. & Muresan, R. C. (2020). Accuracy of Six Interpolation Methods Applied on Pupil Diameter Data. In *2020 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)* (S. 1–5). IEEE.
- Daniel, F. & Kapoula, Z. (2016). Binocular Vision and the Stroop Test. *Optometry and Vision Science*, 93(2), 194–208. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000774>
- Daniel, F. & Kapoula, Z. (2019). Induced vergence-accommodation conflict reduces cognitive performance in the Stroop test. *Scientific Reports*, 9(1), 1247. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37778-y>
- Davis, S., Nesbitt, K. & Nalivaiko, E. (2014). A Systematic Review of Cybersickness. In K. Blackmore, K. Nesbitt & S. P. Smith (Hrsg.), *Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment* (S. 1–9). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2677758.2677780>
- Dennison, M. S. & Krum, D. M. (2019). Unifying Research to Address Motion Sickness. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (S. 1858–1859). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798297>
- Descheneaux, C. R., Reinerman-Jones, L., Moss, J., Krum, D. & Hudson, I. (2020). Negative Effects Associated with HMDs in Augmented and Virtual Reality. In J. Y. C. Chen & G. Fragomeni (Hrsg.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Design and Interaction* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 12190, S. 410–428). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49695-1_27
- Divine, G. W., Norton, H. J., Barón, A. E. & Juarez-Colunga, E. (2018). The Wilcoxon–Mann–Whitney Procedure Fails as a Test of Medians. *The American Statistician*, 72(3), 278–286. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1305291>
- Dodgson, N. A. (2004, May). Variation and extrema of human interpupillary distance. In *Stereoscopic displays and virtual reality systems XI* (Vol. 5291, S. 36–46). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.529999>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Grimm, P., Herold, R., Reiners, D., Cruz-Neira, C. (2013). VR-Ausgabegeräte. In Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (Hrsg.). *Virtual und Augmented Reality (VR / AR)*. eXamen.press. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3_5
- Duane, A. (1912). Normal Values of the Accommodation at all Ages. *Journal of the American Medical Association*, LIX (12), 1010. <https://doi.org/10.1001/jama.1912.04270090254042>
- Edinger, E.-C. & Reimer, R. T. (2015). Thirdspace als hybride Lernumgebung. Die Kombination materieller und virtueller Lernräume. In C. Bernhard, K. Kraus, S. Schreiber-Barsch & R. Stang (Hrsg.), *Erwachsenenbildung und Raum. Theoretische Perspektiven – professionelles Handeln – Rahmung des Lernens* (S. 205–216). Deutsches Institut für Erwachsenenbildung.
- Effenberg, A. O. (2005). Movement Sonification: Effects on Perception and Action. *IEEE Multimedia*, 12(2), 53–59. <https://doi.org/10.1109/MMUL.2005.31>
- Effenberg, A. O. & Mechling, H. (2003). Multimodal convergent information enhances reproduction accuracy of sport movements. In E. Müller (Hrsg.), *8th Annual Congress, European College of Sport Science* (S. 196).
- Erickson, A., Kim, K., Bruder, G., & Welch, G. F. (2020, March). Effects of dark mode graphics on visual acuity and fatigue with virtual reality head-mounted displays. In *2020 IEEE Conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (pp. 434–442). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR46266.2020.00064>
- Evans, B. J. W. (2007). *Pickwell's Binocular Vision Anomalies*. Elsevier.

- Fery, Y. A. & Ponserre, S. (2001). Enhancing the control of force in putting by video game training. *Ergonomics*, 44(12), 1025–1037. <https://doi.org/10.1080/00140130110084773>
- Fincham, E. F. & Walton, J. (1957). The reciprocal actions of accommodation and convergence. *The Journal of Physiology*, 137(3), 488–508. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1957.sp005829>
- Fortin, P. & Hebert, P. (2006). Handling Occlusions in Real-time Augmented Reality: Dealing with Movable Real and Virtual Objects. In *The 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'06)* (S. 54). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CRV.2006.38>
- Frey, J., Pommereau, L., Lotte, F. & Hachet, M. (2014). Assessing the zone of comfort in stereoscopic displays using EEG. In M. Jones, P. Palanque, A. Schmidt & T. Grossman (Hrsg.), *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 2041–2046). New York, NY, USA: ACM.
- Fröhlich, M., Mayerl, J., Pieter, A., & Kemmler, W. (2020). *Einführung in die Methoden, Methodologie und Statistik im Sport*. Springer Spektrum.
- Fuchs, P. (2017). *Virtual Reality Headsets - A Theoretical and Pragmatic Approach*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315208244>
- Furley, P. & Memmert, D. (2013). "Whom should I pass to?" the more options the more attentional guidance from working memory. *PloS One*, 8(5), e62278. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062278>
- Garzón, J. & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>
- Geisen, M. & Klatt, S. (2022). Real-time feedback using extended reality: A current overview and further integration into sports. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(5), 1178–1194. <https://doi.org/10.1177/17479541211051006>
- Geyer, D. J. & Biggs, A. T. (2018). The Persistent Issue of Simulator Sickness in Naval Aviation Training. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(4), 396–405. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4906.2018>
- Grassini, S. & Laumann, K. (2021). Immersive visual technologies and human health. In P. Marti, O. Parlangeli & A. Recupero (Hrsg.), *European Conference on Cognitive Ergonomics 2021* (S. 1–6). ACM. <https://doi.org/10.1145/3452853.3452856>
- Greco, A., Valenza, G., Bicchi, A., Bianchi, M. & Scilingo, E. P. (2019). Assessment of muscle fatigue during isometric contraction using autonomic nervous system correlates. *Biomedical Signal Processing and Control*, 51, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.02.007>
- Grehn, F. (2019). *Augenheilkunde*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59154-3>
- Guo, J., Weng, D., Fang, H., Zhang, Z., Ping, J., Liu, Y., & Wang, Y. (2020). Exploring the differences of visual discomfort caused by long-term immersion between virtual environments and physical environments. In *2020 IEEE Conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (S. 443-452). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR46266.2020.00065>
- Guo, J., Weng, D., Zhang, Z., Liu, Y., Duh, H. B. L., & Wang, Y. (2019). Subjective and objective evaluation of visual fatigue caused by continuous and discontinuous use of HMDs. *Journal of the Society for Information Display*, 27(2), 108-119. <https://doi.org/10.1002/jsid.750>
- Gutierrez, M. C. S. & Castellanos, P. M. V. (2018). Design and validation of a system for improving the effectiveness of basketball players: a biomechanical analysis of the free throw. In *2018 IX International Seminar of Biomedical Engineering (SIB)* (S. 1–8). IEEE.
- Guzsvinecz, T., Orbán-Mihálykó, É., Perge, E. & Sik-Lányi, C. (2020). Analyzing the Spatial Skills of University Students with a Virtual Reality Application using a Desktop Display and the Gear VR. *Acta Polytechnica Hungarica*, 17(2), 35–56. <https://doi.org/10.12700/APH.17.2.2020.2.3>
- Hancock, P. A. [Peter A.] (2009). The Future of Simulation. In D. A. Vicenzi, J. A. Wise, M. Mouloua & P. A. Hancock (Hrsg.), *Human Factors in Simulation and Training* (S. 169–186). CRC Press.
- Hart, A. (2001). Mann-Whitney test is not just a test of medians: differences in spread can be important. *BMJ* 323, 391–393. <https://doi.org/10.1136/bmj.323.7309.391>
- Held, J. P. O., Yu, K., Pyles, C., Veerbeek, J. M., Bork, F., Heining, S.-M. et al. (2020). Augmented Reality-Based Rehabilitation of Gait Impairments: Case Report. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(5), e17804. <https://doi.org/10.2196/17804>

- Hibbard, P. B., van Dam, L. C., & Scarfe, P. (2020). The implications of interpupillary distance variability for virtual reality. In *2020 International conference on 3D immersion (IC3D)* (S. 1-7). IEEE.
- Hochberg, Y. (1988). A Sharper Bonferroni Procedure for Multiple Tests of Significance. *Biometrika*, *75*(4), 800. <https://doi.org/10.2307/2336325>
- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K. & Banks, M. S. (2008). Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, *8*(3), 33.1-30. <https://doi.org/10.1167/8.3.33>
- Howarth, P. A., & Costello, P. J. (1997). The occurrence of virtual simulation sickness symptoms when an HMD was used as a personal viewing system. *Displays*, *18*(2), 107-116. [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(97\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(97)00011-5)
- Howarth, P. A., & Hill, K. J. (1999). The maintenance of habituation to virtual simulation sickness. In *Proceedings of HCI International (the 8th International Conference on Human-Computer Interaction) on Human-Computer Interaction: Ergonomics and User Interfaces-Volume I-Volume I* (S. 137-141).
- Howarth, P. A. (2011). Potential hazards of viewing 3-D stereoscopic television, cinema and computer games: a review. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, *31*(2), 111–122. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2011.00822.x>
- Howarth, P. A. & Hodder, S. G. (2008). Characteristics of habituation to motion in a virtual environment. *Displays*, *29*(2), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.009>
- Hua, H. (2017). Enabling Focus Cues in Head-Mounted Displays. *Proceedings of the IEEE*, *105*(5), 805–824. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2648796>
- Hua, H. & Javidi, B. (2014). A 3D integral imaging optical see-through head-mounted display. *Optics Express*, *22*(11), 13484–13491. <https://doi.org/10.1364/oe.22.013484>
- Hughes, C. L., Fidopiastis, C., Stanney, K. M., Bailey, P. S. & Ruiz, E. (2020). The Psychometrics of Cybersickness in Augmented Reality. *Frontiers in Virtual Reality*, *1*. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.602954>
- Iatsun, I., Larabi, M. C., & Fernandez-Maloigne, C. (2013, March). Investigation of visual fatigue/discomfort generated by S3D video using eye-tracking data. In *Stereoscopic Displays and Applications XXIV* (Vol. 8648). 10-23. SPIE.
- Ibáñez, M.-B. & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, *123*, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Inoue, T. & Ohzu, H. (1997). Accommodative responses to stereoscopic three-dimensional display. *Applied Optics*, *36*(19), 4509–4515. <https://doi.org/10.1364/AO.36.004509>
- Iskander, J., Hossny, M. & Nahavandi, S. (2019). Using biomechanics to investigate the effect of VR on eye vergence system. *Applied Ergonomics*, *81*, 102883. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102883>
- Jang, C., Bang, K., Moon, S., Kim, J., Lee, S. & Lee, B. (2017). Retinal 3D. *ACM Transactions on Graphics*, *36*(6), 1–13. <https://doi.org/10.1145/3130800.3130889>
- Jebara, T., Eyster, C., Weaver, J., Starner, T. & Pentland, A. (1997). Stochasticicks: augmenting the billiards experience with probabilistic vision and wearable computers. In *Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers* (S. 138–145). IEEE Comput. Soc. <https://doi.org/10.1109/ISWC.1997.629930>
- Kajastila, R. & Hämäläinen, P. (2014). Augmented climbing: interacting with projected graphics on a climbing wall. In M. Jones, P. Palanque, A. Schmidt & T. Grossman (Hrsg.), *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 1279–1284). ACM. <https://doi.org/10.1145/2559206.2581139>
- Kajastila, R., Holsti, L. & Hämäläinen, P. (2016). The Augmented Climbing Wall. In J. Kaye, A. Druin, C. Lampe, D. Morris & J. P. Hourcade (Hrsg.), *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 758–769). ACM. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858450>
- Kaplan, A. D., Cruit, J., Endsley, M., Beers, S. M., Sawyer, B. D. & Hancock, P. A. [P. A.]. (2021). The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta-Analysis. *Human Factors*, *63*(4), 706–726. <https://doi.org/10.1177/0018720820904229>

- Karner, T. & Neuwirth, W. (2000). Validation of traffic psychology tests by comparing with actual driving. In Swiss Council For Accident Prevention BFU (Hrsg.), *International Conference on Traffic and Transport Psychology*.
- Kassner, M., Patera, W. & Bulling, A. (2014). Pupil. In A. J. Brush, A. Friday, J. Kientz, J. Scott & J. Song (Hrsg.), *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication* (S. 1151–1160). ACM. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2638728.2641695>
- Kasthurirangan, S., & Glasser, A. (2006). Age related changes in the characteristics of the near pupil response. *Vision Research*, 46(8-9), 1393-1403. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.07.004>
- Kaufeld, M., Mundt, M., Forst, S. & Hecht, H. (2022). Optical see-through augmented reality can induce severe motion sickness. *Displays*, 74, 102283. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2022.102283>
- Kennedy, R. S., Stanney, K. M. & Dunlap, W. P. (2000). Duration and Exposure to Virtual Environments: Sickness Curves During and Across Sessions. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(5), 463–472. <https://doi.org/10.1162/105474600566952>
- Kim, C. J., Park, S., Won, M. J., Whang, M. & Lee, E. C. (2013). Autonomic nervous system responses can reveal visual fatigue induced by 3D displays. *Sensors*, 13(10), 13054–13062. <https://doi.org/10.3390/s131013054>
- Kim, D., Jung, Y. J., Kim, E., Ro, Y. M. & Park, H. (2011). Human brain response to visual fatigue caused by stereoscopic depth perception. In *2011 17th International Conference on Digital Signal Processing (DSP)* (S. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICDSP.2011.6004997>
- Kim, J., Kane, D. & Banks, M. S. (2014). The rate of change of vergence-accommodation conflict affects visual discomfort. *Vision Research*, 105, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.10.021>
- Kim, J. H., Ari, H., Madasu, C., & Hwang, J. (2020). Evaluation of the biomechanical stress in the neck and shoulders during augmented reality interactions. *Applied Ergonomics*, 88, 103175. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103175>
- Kim, Y., Kim, H., & Kim, Y. O. (2017). Virtual reality and augmented reality in plastic surgery: a review. *Archives of plastic surgery*, 44(03), 179-187.
- Kiss, B. & Balogh, L. (2019). A study of key cognitive skills in handball using the Vienna test system. *Journal of Physical Education and Sport*, 19(01), 733–741. <https://doi.org/10.7752/jpes.2019.01105>
- Knight, J. F., & Baber, C. (2007). Effect of head-mounted displays on posture. *Human factors*, 49(5), 797–807. <https://doi.org/10.1518/001872007X230172>
- Knudsen, E. I. (2007). Fundamental components of attention. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 57–78. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.30.051606.094256>
- Kramida, G. (2016). Resolving the Vergence-Accommodation Conflict in Head-Mounted Displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 22(7), 1912–1931. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2473855>
- Kruijff, E., Swan, J. E. & Feiner, S. (2010). Perceptual issues in augmented reality revisited. In *2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (S. 3–12). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2010.5643530>
- Kuckartz, U. (2014). *Mixed Methods*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-93267-5>
- Kuze, J. & Ukai, K. (2008). Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images. *Displays*, 29(2), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.007>
- Kweon, S. H., Kweon, H. J., Kim, S., Li, X., Liu, X. & Kweon, H. L. (2018). A Brain Wave Research on VR (Virtual Reality) Usage: Comparison Between VR and 2D Video in EEG Measurement. In I. L. Nunes (Hrsg.), *Advances in Human Factors and Systems Interaction* (Bd. 592, S. 194–203). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60366-7_19
- Langlotz, T., Nguyen, T., Schmalstieg, D., & Grasset, R. (2014). Next-generation augmented reality browsers: rich, seamless, and adaptive. *Proceedings of the IEEE*, 102(2), 155-169. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2294255>
- Lambooi, M., Fortuin, M., Heynderickx, I. & IJsselstein, W. (2009). Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review. *Journal of Imaging Science and Technology*, 53(3), 30201-1-30201-14. <https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.2009.53.3.030201>

- Lawrenson, J. G., Hull, C. C., & Downie, L. E. (2017). The effect of blue-light blocking spectacle lenses on visual performance, macular health and the sleep-wake cycle: a systematic review of the literature. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 37(6), 644-654.
- Lawson, B. D. (2014). Technology Management and User Acceptance of Virtual Environment Technology. In K. S. Hale & K. M. Stanney (Hrsg.), *Handbook of Virtual Environments* (S. 523–534). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17360-29>
- Lee, E., Heo, H. & Park, K. (2010). The comparative measurements of eyestrain caused by 2D and 3D displays. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1677–1683. <https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5606312>
- Lee, P. F. & Lee, K. S. (2017). A Preliminary Study on Pupil Size Changes Detection on Mental Stress with Mental. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 29(02), 1750011-1 - 1750011-9. <https://doi.org/10.4015/S1016237217500119>
- Leigh, R. J. & Zee, D. S. (2015). *The Neurology of Eye Movements*. Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/med/9780199969289.001.0001>
- Li, H.-C. O., Seo, J., Kham, K. & Lee, S. (2008). Measurement of 3D Visual Fatigue Using Event-Related Potential (ERP): 3D Oddball Paradigm. In *2008 3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/3DTV.2008.4547846>
- Lin, T., Singh, R., Yang, Y., Nobre, C., Beyer, J., Smith, M. A. et al. (2021). Towards an Understanding of Situated AR Visualization for Basketball Free-Throw Training. In Y. Kitamura, A. Quigley, K. Isbister, T. Igarashi, P. Bjørn & S. Drucker (Hrsg.), *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1–13). ACM.
- Liu, S., Cheng, D. & Hua, H. (2008). An optical see-through head mounted display with addressable focal planes. In *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (S. 33–42). IEEE.
- Loila, V. & Orciuoli, F. (2019). ICTs for exercise and sport science: focus on augmented reality. *Journal of Physical Education and Sport*, 2019(5). <https://doi.org/10.7752/jpes.2019.s5254>
- Long, Y., Shen, Y., Guo, D., Wang, X. & Gu, Y. (2020). The Effects of Consumer-grade Virtual Reality Headsets on Adult Visual Function. *Seminars in Ophthalmology*, 35(3), 170–173. <https://doi.org/10.1080/08820538.2020.1776342>
- Luczak, A., Jones, J. A., Burch, R., Barlow, J., Nelsen, P., Grice, S. M. et al. (2022). Advancing tangible augmented game objects for use in a golf swing, self-service training environment: Report of Work-in-Progress with a Multidisciplinary Emphasis. In *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (S. 136–140). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VRW55335.2022.00039>
- Maffei, A. & Angrilli, A. (2019). Spontaneous blink rate as an index of attention and emotion during film clips viewing. *Physiology & Behavior*, 204, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.02.037>
- Magomadov, V. S. (2020, November). Examining the potential of VR and AR technologies for education. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1691, No. 1, S. 012160). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1691/1/012160>
- Mair, P., Wilcox, R. (2020). Robust statistical methods in R using the WRS2 package. *Behav Res* 52, 464–488. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01246-w>
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- Malińska, M., Zużewicz, K., Bugajska, J., & Grabowski, A. (2015). Heart rate variability (HRV) during virtual reality immersion. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(1), 47-54.
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J. et al. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
- Marran, L. & Schor, C. (1997). Multiaccommodative stimuli in VR systems: problems & solutions. *Human Factors*, 39(3), 382–388. <https://doi.org/10.1518/001872097778827070>

- Martin, E., Castéra, J., Cheneval-Armand, H., & Brandt-Pomares, P. (2023). The use of augmented reality for inquiry-based activity about the phenomenon of seasons: effect on mental effort and learning outcomes. *Frontiers in Education*, 8, 1223656. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1223656>
- Martin, J., Bohuslava, J. & Igor, H. (2018). Augmented Reality in Education 4.0. In *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (S. 231–236). IEEE. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526676>
- Matsuura, Y. (2019). Aftereffect of Stereoscopic Viewing on Human Body II. In H. Takada, M. Miyao & S. Fateh (Hrsg.), *Stereopsis and Hygiene. Current Topics in Environmental Health and Preventive Medicine* (S. 89–99). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1601-2_8
- Mentiev, A. U. (2020). The role of information and communication technologies in modern education. *CITISE*, 24(2), 71–78.
- Meta. (2021a). *Education in the metaverse*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=KLOcj5qvOio>
- Meta. (2021b). *The Tiger and The Buffalo*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=uQAKIZ9lkcs>
- Meta. (2022a). *The Impact Will Be Real: Surgical Training*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=wcb7kMvDHss>
- Meta. (2022b). *Amani*. YouTube. https://youtube/-b5cS6d_Q6g
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1995). Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Hrsg.), *Telemanipulator and Telepresence Technologies* (S. 282–292). SPIE.
- Miller, T. W., Ogilvie, B. C. & Branch, J. (2008). Sport psychology consultation: The influence of gender on learning style. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 60(3), 279–285. <https://doi.org/10.1037/1065-9293.60.3.279>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Mon-Williams, M. & Wann, J. P. (1998). Binocular Virtual Reality Displays: When Problems Do and Don't Occur. *Human Factors*, 40(1), 42–49.
- Morad, Y., Lemberg, H., Yofe, N. & Dagan, Y. (2000). Pupillography as an objective indicator of fatigue. *Current Eye Research*, 21(1), 535–542. [https://doi.org/10.1076/0271-3683\(200007\)2111-ZFT535](https://doi.org/10.1076/0271-3683(200007)2111-ZFT535)
- Moran, A. (2012). Concentration: Attention and Performance. In S. M. Murphy (Hrsg.), *The Oxford handbook of sport and performance psychology* (S. 117–130). Oxford University Press.
- Moran, A. & Toner, J. (2018). Attentional Processes in Sport and Performance. In A. Moran & J. Toner (Hrsg.), *Oxford Research Encyclopedia of Psychology*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190236557.013.156>
- Moro, C., Štromberga, Z. & Stirling, A. (2017). Virtualisation devices for student learning: Comparison between desktop-based (Oculus Rift) and mobile-based (Gear VR) virtual reality in medical and health science education. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(6). <https://doi.org/10.14742/ajet.3840>
- Mu, X. (2010). Towards effective video annotation: An approach to automatically link notes with video content. *Computers & Education*, 55(4), 1752–1763. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.07.021>
- Mun, S., Park, M.-C., Park, S. & Whang, M. (2012). SSVEP and ERP measurement of cognitive fatigue caused by stereoscopic 3D. *Neuroscience Letters*, 525(2), 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.07.049>
- Munsamy, A. J., Paruk, H., Gopichunder, B., Luggya, A., Majola, T. & Khulu, S. (2020). The effect of gaming on accommodative and vergence facilities after exposure to virtual reality head-mounted display. *Journal of Optometry*, 13(3), 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2020.02.004>
- Nahar, N. K., Sheedy, J. E., Hayes, J. & Tai, Y.-C. (2007). Objective measurements of lower-level visual stress. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 84(7), 620–629. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3180dc99a8>
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Wilhelm, O. & Wittman, W. W. (2003). The multiple faces of working memory. *Intelligence*, 31(2), 167–193. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(02\)00115-0](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00115-0)

- Oshima, K., Moser, K. R., Rompapas, D. C., Swan, J. E., Ikeda, S., Yamamoto, G. et al. (2016) SharpView: Improved clarity of defocused content on optical see-through head-mounted displays. In *2016 IEEE Symposium on 3D*. <https://doi.org/10.1109/3dui.2016.7460049>
- Oyamada, H., Iijima, A., Tanaka, A., Ukai, K., Toda, H., Sugita, N. et al. (2007). A pilot study on pupillary and cardiovascular changes induced by stereoscopic video movies. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 4, 37. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-4-37>
- Ozedemir, M., Sahin, C., Arcagok, S., Demir, K. M. & (Keine Angabe). (2018). The Effect of Augmented Reality Applications in the Learning Process: A MetaAnalysis Study. *Eurasian Journal of Educational Research*, 18, 1–22. <https://doi.org/10.14689/ejer.2018.74.9>
- Park, B. J., Hunt, S. J., Martin, C., Nadolski, G. J., Wood, B. J. & Gade, T. P. (2020). Augmented and Mixed Reality: Technologies for Enhancing the Future of IR. *Journal of Vascular and Interventional Radiology: JVIR*, 31(7), 1074–1082. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2019.09.020>
- Peddie, J. (2023). Types of Augmented Reality Systems. In *Augmented Reality. Where We Will All Live* (2. Auflage S. 37–82). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32581-6_2
- Peillard, E., Itoh, Y., Moreau, G., Normand, J.-M., Lecuyer, A. & Argelaguet, F. Can Retinal Projection Displays Improve Spatial Perception in Augmented Reality? In *2020 IEEE International Symposium* (S. 80–89). <https://doi.org/10.1109/ISMAR50242.2020.00028>
- Pelargos, P. E., Nagasawa, D. T., Lagman, C., Tenn, S., Demos, J. V., Lee, S. J. et al. (2017). Utilizing virtual and augmented reality for educational and clinical enhancements in neurosurgery. *Journal of Clinical Neuroscience: Official Journal of the Neurosurgical Society of Australasia*, 35, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2016.09.002>
- Peng, W., Crouse, J. C. & Lin, J.-H. (2013). Using active video games for physical activity promotion: a systematic review of the current state of research. *Health Education & Behavior: the Official Publication of the Society for Public Health Education*, 40(2), 171–192. <https://doi.org/10.1177/1090198112444956>
- Penn, I.-W., Chuang, E., Chuang, T.-Y. & Yang, C.-Y. (2018). Effects of Virtual-Reality-Augmented Cardiopulmonary Rehabilitation Programs for Patients with Cardiovascular Diseases: A Systemic Review. *Neuropsychiatry*, 8(1), 739–744. <https://doi.org/10.4172/Neuropsychiatry.1000501>
- Pentenrieder, K., Bade, C., Doil, F. & Meier, P. (2007). Augmented Reality-based factory planning - an application tailored to industrial needs. In *2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (S. 31–42). IEEE.
- Pieters, J. P. M. & van der Ven, A. H. (1982). Precision, Speed, and Distraction in Time-Limit Tests. *Applied Psychological Measurement*, 6(1), 93–109. <https://doi.org/10.1177/014662168200600110>
- Panke, K., Pladere, T., Velina, M., Svede, A., Ikaunieks, G., & Krumina, G. (2019). Ocular performance evaluation: how prolonged near work with virtual and real 3D image modifies our visual system. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Applications of Intelligent Systems* (S. 1-5). ACM. <https://doi.org/10.1145/3309772.3309786>
- Platen, P., Nüsser, S., Krüger, M., Woestmann, R., Gelhaar, D., Schulz, H. et al. (2002). Morgendliche Herzfrequenzvariabilität von Triathleten und nächtliche Herzfrequenz bei Ausdauerathleten im Jahresverlauf und deren Beziehung zum absolvierten Training. In K. Hottenrott (Hrsg.), *Herzfrequenzvariabilität im Sport. Prävention-Rehabilitation-Training*. Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (S. 207–223). Czwalina.
- Priya, D. B., & Subramaniam, M. (2020). A systematic review on visual fatigue induced by tiny screens (Smartphones). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 912*, (2020) 062009. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/6/062009>
- Pyne, J. M., Constans, J. I., Wiederhold, B. K., Jegley, S., Rabalais, A., Hu, B., Weber, M. C., Hinkson, K. D., & Wiederhold, M. D. (2023). Predicting Post-Traumatic Stress Disorder Treatment Response Using Heart Rate Variability to Virtual Reality Environment and Modified Stroop Task: An Exploratory Study. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 26(12), 896–903. <https://doi.org/10.1089/cyber.2023.0164>

- Qureshi, M. I., Khan, N., Raza, H., Imran, A. & Ismail, F. (2021). Digital Technologies in Education 4.0. Does it Enhance the Effectiveness of Learning? A Systematic Literature Review. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 15(04), 31. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i04.20291>
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533–1543. <https://doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y>
- Ramadan, M. Z., & Alhaag, M. H. (2018). Evaluating the user physical stresses associated with watching 3D and 2D displays over extended time using heart rate variability, galvanic skin resistance, and performance measure. *Journal of Sensors*, 2018(1), 2632157.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014). *Quantitative Methoden 1*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43524-3>
- Renner, R. S., Velichkovsky, B. M. & Helmert, J. R. (2013). The perception of egocentric distances in virtual environments - A review. *ACM Computing Surveys*, 46(2), 1–40. <https://doi.org/10.1145/2543581.2543590>
- Rolland, J. P. (2018). AR/VR displays: engineering the ultimate augmented reality display: paths towards a digital window into the world. Engineering the ideal, wide-field-of-view augmented reality display continues to be a challenge to even the best optoelectronic designers. *Laser Focus World*.
- Sampaio, D. & Almeida, P. (2018). Students' motivation, concentration and learning skills using Augmented Reality. In *The Use and Management of ICT in Schools: Strategies for School Leaders* (S. 1559-1566). Editorial Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/HEAD18.2018.8249>
- Sánchez Pato, A. & Remilllard, J. D. (2018). eSport: Towards a Hermeneutic of Virtual Sport. *Cultura_Ciencia_Deporte*, 13(38), 137–145. <https://doi.org/10.12800/ccd.v13i38.1076>
- Sawan, N., Eltweri, A., de Lucia, C., Pio Leonardo Cavaliere, L., Faccia, A. & Roxana Moşteanu, N. (2020). Mixed and Augmented Reality Applications in the Sport Industry. In *2020 2nd International Conference on E-Business and E-commerce Engineering* (S. 55–59). ACM.
- Schmidt-Atzert, L., Bühner, M. & Enders, P. (2006). Messen Konzentrationstests Konzentration?. *Diagnostica*, 52(1), 33–44. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.52.1.33>
- Schmiedek, F., Oberauer, K., Wilhelm, O., Süß, H.-M. & Wittmann, W. W. (2007). Individual differences in components of reaction time distributions and their relations to working memory and intelligence. *Journal of Experimental Psychology. General*, 136(3), 414–429. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.3.414>
- Schuhfried. (2013). *Vienna test system: Psychological assessment*. Schuhfried GmbH.
- Schweizer, K., Moosbrugger, H. & Goldhammer, F. (2005). The structure of the relationship between attention and intelligence. *Intelligence*, 33(6), 589–611. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.07.001>
- Shao, P., Ding, H., Wang, J., Liu, P., Ling, Q., Chen, J. et al. (2014). Designing a wearable navigation system for image-guided cancer resection surgery. *Annals of Biomedical Engineering*, 42(11), 2228–2237. <https://doi.org/10.1007/s10439-014-1062-0>
- Sheppard, A. L. & Wolffsohn, J. S. (2018). Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration. *BMJ Open Ophthalmology*, 3(1), e000146. <https://doi.org/10.1136/bmjophth-2018-000146>
- Shibata, T., Kim, J., Hoffman, D. M. & Banks, M. S. (2011). The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays. *Journal of Vision*, 11(8), 11. <https://doi.org/10.1167/11.8.11>
- Singh, H. & Singh, J. Human Eye Tracking and Related Issues: A Review. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(9).
- Sirois, S. & Brisson, J. (2014). Pupillometry. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science*, 5(6), 679–692. <https://doi.org/10.1002/wcs.1323>
- Sodhi, R., Benko, H. & Wilson, A. (2012). LightGuide: Projected Visualization for Hand Movement Guidance. In J. A. Konstan, E. H. Chi & K. Höök (Hrsg.), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 179–188). ACM.
- Soja, E. W. (1996). *Thirdspace. Journeys to Los Angeles and Other Real-and-Imagined Places*. Blackwell.
- Soltani, P., Figueiredo, P., Fernandes, R. J. & Vilas-Boas, J. P. (2016). Do player performance, real sport experience, and gender affect movement patterns during equivalent exergame?. *Computers in Human Behavior*, 63, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.009>

- Soltani, P. & Morice, A. H. (2020). Augmented reality tools for sports education and training. *Computers & Education*, 155, 103923. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103923>
- Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P. & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(9), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.05.007>
- Souchet, A. D., Philippe, S., Lourdeaux, D. & Leroy, L. (2022). Measuring Visual Fatigue and Cognitive Load via Eye Tracking while Learning with Virtual Reality Head-Mounted Displays: A Review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 38(9), 801–824. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1976509>
- Souchet, A. D., Philippe, S., Ober, F., Leveque, A. & Leroy, L. (2019). Investigating Cyclical Stereoscopy Effects Over Visual Discomfort and Fatigue in Virtual Reality While Learning. In *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)* (S. 328–338). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2019.00031>
- Souchet, A. D., Philippe, S., Zobel, D., Ober, F., Lévêque, A. & Leroy, L. (2018). Eyestrain impacts on learning job interview with a serious game in virtual reality. In S. N. Spencer, S. Morishima, Y. Itoh, T. Shiratori, Y. Yue & R. Lindeman (Hrsg.), *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (S. 1–12). ACM. <https://doi.org/10.1145/3281505.3281509>
- Sourin, A. (2017). Case Study: Shared Virtual and Augmented Environments for Creative Applications. In R. A. Earnshaw (Hrsg.), *Research and development in the academy, creative industries and applications* (SpringerBriefs in Computer Science, S. 49–64). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54081-8_5
- Stanney, K., Fidopiastis, C., & Foster, L. (2020). Virtual reality is sexist: but it does not have to be. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 476417. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00004>
- Stropnik, V., Babuder, K., Crmelj, V., Vizintin, R. P. & Pogacnik, M. (2018). A Look into the Future of Sports: A Study of the Actual State of the Art - the Microsoft HoloLens and Augmented Reality. In *2018 International Conference on Broadband Communications for Next Generation Networks and Multimedia Applications (CoBCom)* (S. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/COBCOM.2018.8443967>
- Swan, J. E., & Gabbard, J. L. (2014). Quantitative and qualitative methods for human-subject experiments in Virtual and Augmented Reality. In *2014 IEEE Virtual Reality (VR)* (S. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2014.6802118>
- Szpak, A., Michalski, S. C., Saredakis, D., Chen, C. S. & Loetscher, T. (2019). Beyond Feeling Sick: The Visual and Cognitive Aftereffects of Virtual Reality. *IEEE Access*, 7, 130883–130892. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940073>
- Takeda, T., Hashimoto, K., Hiruma, N. & Fukui, Y. (1999). Characteristics of accommodation toward apparent depth. *Vision Research*, 39(12), 2087–2097. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00258-2](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00258-2)
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F. & Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In G. Cockton & P. Korhonen (Hrsg.), *Proceedings of the conference on Human factors in computing systems - CHI '03* (S. 73). ACM. <https://doi.org/10.1145/642611.642626>
- Terzic, K. & Hansard, M. (2017). Causes of discomfort in stereoscopic content: a review. *arXiv preprint arXiv:1703.04574*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.04574>
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P. & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Tu, Y., Shi, Y., Wang, L., Zhang, Y., & Yang, Y. (2021). 17.2: invited paper: influence of blue light from smartphone on visual fatigue. In *SID Symposium Digest of Technical Papers* (Vol. 52, S. 108-111). <https://doi.org/10.1002/sdtp.14396>
- Tümler, J., Doil, F., Mecke, R., Paul, G., Schenk, M., Pfister, E. A. et al. (2008). Mobile Augmented Reality in industrial applications: Approaches for solution of user-related issues. In *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (S. 87–90). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637330>

- Ukai, K. & Howarth, P. A. (2008). Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations. *Displays*, 29(2), 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.004>
- Untersteiner, H. (2007). *Statistik-Datenauswertung mit Excel und SPSS*. Facultas Verlags-und Buchhandels AG.
- Uzor, T. N., Ikwuka, D. C. & Ujuagu, N. A. (2023). Hawkeye Technological Innovation: Challenges and Intervention Strategies in Sports. *Journal of Modern Educational Research*. <https://doi.org/10.53964/jmer.2023003>
- Van Eekelen, A. P. J., Houtveen, J. H., & Kerkhof, G. A. (2004). Circadian variation in cardiac autonomic activity: Reactivity measurements to different types of stressors. *Chronobiology International*, 21(1), 107–129. <https://doi.org/10.1081/CBI-120027983>
- Vernet-Maury, E., Deschaumes-Molinario, C., Delhomme, G. & Dittmar, A. (1993). Autonomic nervous system activity and mental workload. *International Journal of Psychophysiology*, 14(2), 153–154. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(93\)90267-s](https://doi.org/10.1016/0167-8760(93)90267-s)
- Vienne, C., Sorin, L., Blondé, L., Huynh-Thu, Q. & Mamassian, P. (2014). Effect of the accommodation-vergence conflict on vergence eye movements. *Vision Research*, 100, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.04.017>
- Vishwanath, D. & Blaser, E. (2010). Retinal blur and the perception of egocentric distance. *Journal of Vision*, 10(10), 26. <https://doi.org/10.1167/10.10.26>
- Vovk, A., Wild, F., Guest, W. & Kuula, T. (2018). Simulator Sickness in Augmented Reality Training Using the Microsoft HoloLens. In R. Mandryk, M. Hancock, M. Perry & A. Cox (Hrsg.), *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1–9). ACM. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173783>
- Wang, Y. J., & Lin, Y. H. (2021). Liquid crystal technology for vergence-accommodation conflicts in augmented reality and virtual reality systems: a review. *Liquid Crystals Reviews*, 9(1), 35-64. <https://doi.org/10.1080/21680396.2021.1948927>
- Wang, A. H., Kuo, H. T., & Huang, S. (2010). Effects of polarity and ambient illuminance on the searching performance and visual fatigue for various aged users. In *The 40th International Conference on Computers & Industrial Engineering* (S. 1-3). IEEE.
- Wann, J. P., Rushton, S. & Mon-Williams, M. (1995). Natural problems for stereoscopic depth perception in virtual environments. *Vision Research*, 35(19), 2731–2736. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00018-U](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00018-U)
- Watten, R. G. (1994). Reinvention of visual fatigue: accumulation of scientific knowledge or neglect of scientific history? *Ophthalmic and Physiological Optics*, 14(4), 428–432. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1994.tb00137.x>
- Westermann, R. (1985). Empirical Tests of Scale Type for Individual Ratings. *Applied Psychological Measurement*, 9(3), 265–274. <https://doi.org/10.1177/014662168500900304>
- Westhoff, K. & Hagemester, C. (2001). Konzentrationstraining. In K. J. Klauer (Hrsg.), *Handbuch Kognitives Training* (2., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 515-538). Hogrefe.
- Westhoff, K. & Kluck, M.-L. (1984). Ansätze einer Theorie konzentrativer Leistungen. Toward a theory of concentration performance. *Diagnostica*, 30(3), 167–183.
- Wilcox, R. R. (2017). *Understanding and applying basic statistical methods using R*. John Wiley & Sons.
- Xhyheri, B., Manfrini, O., Mazzolini, M., Pizzi, C. & Bugiardini, R. (2012). Heart rate variability today. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 55(3), 321–331. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2012.09.001>
- Xiong, J., Hsiang, E.-L., He, Z., Zhan, T. & Wu, S.-T. (2021). Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives. *Light, Science & Applications*, 10(1), 216. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00658-8>
- Yamanaka, K. & Kawakami, M. (2009). Convenient evaluation of mental stress with pupil diameter. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE*, 15(4), 447–450. <https://doi.org/10.1080/10803548.2009.11076824>
- Yamaguchi, M. (2016). Light-field and holographic three-dimensional displays. *JOSA A*, 33(12), 2348-2364.

- Yano, S., Ide, S., Mitsuhashi, T. & Thwaites, H. (2002). A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images. *Displays*, 23(4), 191–201. [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(02\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(02)00038-0)
- Zhang, J. & Huang, Y.-S. (2023). Augmented Reality in Sports and Physical Education. In A. Y. C. Nee & S. K. Ong (Hrsg.), *Springer Handbook of Augmented Reality* (S. 355–368). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67822-7_14
- Zhier, L. (2016). Research on the Physical Education Teaching System Based on 3D Human Motion Capture. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 9(12), 61–70. <https://doi.org/10.14257/ijcip.2016.9.12.07>
- Zhou, Y., Zhang, J., & Fang, F. (2022). Design of the varifocal and multifocal optical near-eye see-through display. *Optik*, 270, 169942.

ANHANG

Anhang I Fragebogen nach Hoffman et al. (2008)

...

Allgemeine Fragen

*

Tragen Sie bitte Ihre ID ein (z.B. 1011364)

Weiter

...

Allgemeine Fragen

In welchem Jahr sind Sie geboren?

z.B. 1900

Weiter

Symptom- und Beschwerdeabfrage

*

Schätzen Sie bitte im Folgenden den Grad und die Intensität folgender aktueller Symptome und Beschwerden auf einer Skala von 1-5 ein. Wobei 1 für keine, 2 für OK, 3 für leichte, 4 für mittel und 5 für schwer steht

	1	2	3	4	5
Wie müde sind Ihre Augen	<input type="radio"/>				
Wie klar ist die Sicht?	<input type="radio"/>				
Wie irritiert sind Ihre Augen?	<input type="radio"/>				
Wie stark sind Ihre Nackenschmerzen	<input type="radio"/>				
Wie stark sind Ihre Rückenschmerzen	<input type="radio"/>				
Wie stark sind Ihre Kopfschmerzen	<input type="radio"/>				
Wie sehr ist Ihnen Übelkeit	<input type="radio"/>				

Anhang II VFQ Fragebogen nach Bangor, 2000

Beschwerden nach den Aufgaben mit der AR-Brille

Und nun geht es noch um eventuelle Beschwerden, die Sie **nach der Intervention in AR** empfunden haben könnten. Wieder lesen Sie eine Reihe von Aussagen, welchen Sie zustimmen, oder welche Sie ablehnen können.

	lehne voll und ganz ab	lehne teilweise ab	teils/ teils	stimme teilweise zu	stimme voll und ganz zu
Ich habe trockene Augen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Augen tränen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Augen sind gereizt und brennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im habe Schmerzen in meinen oder um die Augen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe schwere Augen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe Schwierigkeiten, Linien folgen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Text springt vor meinen Augen hin und her.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich sehe Buchstaben oder Linien verschwommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich werde durch Lichter oder helle Flächen geblendet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe eine verschwommene Sicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich sehe Dinge doppelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe Kopfschmerzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe Nackenschmerzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich verspüre Übelkeit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich verspüre geistige Ermüdung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mein Gesicht ist schweißnass.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang III – Probandeninformation



FACHBEREICH SOZIALWISSENSCHAFTEN
FACHGEBIET SPORTWISSENSCHAFT

Eva Bartaguiz, M.Sc.

Gebäude 57-532
Erwin-Schrödinger-Straße
67663 Kaiserslautern

Telefon: (0631) 205 4122
E-Mail: eva.bartaguiz@sowi.uni-kl.de
www.sowi.uni-kl.de/fg-sport

Probandeninformation: Augmented Reality Studie

Liebe Teilnehmer*in der Studie,

vielen Dank für die Teilnahme und das Interesse an dieser Studie. Bitte lesen Sie sich die nachfolgende Beschreibung sorgfältig durch. Falls Sie Fragen zum Ablauf oder zu Inhalten der Studie haben, sprechen Sie mich (Eva Bartaguiz) an.

1. Allgemeine Informationen zur Studie

Zur Verbesserung und Erweiterung von Lehr- und Lernerfahrungen sowie der Realisierung neuartiger Lernszenarien werden der Einsatz von Augmented Reality (AR) auch immer mehr im Kontext Lehre und Lernen in Betracht gezogen. Neben dem Potential, neue Lernsettings zu schaffen, ist der Einfluss kopfmontierter Displays auf die Leistungsfähigkeit der Augen, das allgemeine Wohlbefinden und die Konzentrations- und Aufmerksamkeitsfähigkeit noch nicht gänzlich erforscht. Ziel der Studie ist daher die Untersuchung der Wirkung von AR-Headsets mit einfachen virtuellen und realen Objekten auf die Augen, das Wohlbefinden sowie die Konzentrations- und Aufmerksamkeitsfähigkeit. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse können somit im Weiteren Lernumgebungen, insbesondere rund um das Experimentieren und dem Lernen an anatomischen Modellen, methodenadäquat konzipiert werden, ohne dass der Lernerfolg beeinflusst wird. Mit diesem Forschungsschwerpunkt befasst sich das Health.Holo.Lab im Rahmen des, durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten, Programms U.EDU (Förderkennzeichen: 01JA1916).

Zu Beginn wird das Sehvermögen mittels einer Sehtafel, analog zu einer Testung beim Augenarzt/Optiker, getestet. Zur Erfassung des allgemeinen Wohlbefindens und das Stressniveaus wird vor der Intervention ein Fragebogen durchgeführt.

Anschließend wird die Konzentration und Aufmerksamkeitsfähigkeit mit der Durchführung des Determinationstests als computerbasierte Version über das Wiener Testsystem getestet. Hierbei geht es insbesondere um die Reaktions- und Konzentrationsfähigkeit. Vor der

eigentlichen Testung gibt es die Möglichkeit einer genauen Erläuterung und Probetestung durch das Testsystem.

Während der Intervention werden Blickdaten mittels Eyetracker und mentale und physiologische Belastungen über Messungen der Elektrodermale Aktivität (EDA) und Herzratenvariabilität (HRV) des Mindfield Bodysystems erfasst. Hierzu werden Elektroden in die Handinnenflächen geklebt, die die Hautleitfähigkeit messen.

Zur Aufklärung kommen daher folgende Messmethoden zum Einsatz:

- Eyetracker zur Messung der Augenaktivität
- Mindfield Biosystems Ltd. zur Messung der elektrodermalen Aktivität und der HRV
- Fragebögen zur Erfassung des Wohlbefindens
- Determinationstest innerhalb des Wiener Testsystems zur Messung der Konzentration und Aufmerksamkeit

2. Ablauf der Studie:

Tag 1:

- I. **Vorbereitung:** Ermittlung der Sehkraft mit Hilfe eines Tafel-Sehtests.
- II. Ausfüllen des ersten Fragebogens
- III. Durchführung des Determinationstests
- IV. Kurze Pause (Anlegen und Anpassen der AR-Brille, anlegen der Testinstrumente für HRV und EDA)
- V. Kalibrierung und gleichzeitige Gewöhnung an die Brille
- VI. Durchführung der einzelnen Aufgaben in AR
- VII. **Nach der Intervention:** Fragebogen, Sehtest und erneute Durchführung des Determinationstests

Tag 2:

- I. Ausfüllen des ersten Fragebogens
- II. Durchführung des Determinationstests
- III. Kurze Pause (Anlegen und Anpassen der AR-Brille, anlegen der Testinstrumente für HRV und EDA)
- IV. Kalibrierung und gleichzeitige Gewöhnung an die Brille
- V. Durchführung der einzelnen Aufgaben in AR
- VI. **Nach der Intervention:** Fragebögen, Sehtest und erneute Durchführung des Determinationstests

3. Risiken und Unannehmlichkeiten

Die Risiken für die Studienteilnehmer sind sehr gering. Die Intervention in der AR-Umgebung findet unter sehr standardisierten Bedingungen und ohne Störeinflüsse von außen statt. Während der kompletten Untersuchung ist ein*e Testleiter*in anwesend.

Wichtige Hinweise

- Bitte am Tag der Untersuchung bis zu zwei Stunden vor Versuchsbeginn kein Konsum von koffeinhaltigen Getränken.
- Brillenträger sollten nach Möglichkeit -und sofern nicht ungewohnt- Kontaktlinsen tragen.
- Die Teilnahme kann beim Versuch zu jederzeit und ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden!

Vielen Dank für Ihr Interesse und ihre Teilnahme an der Studie!



Das Health.Holo.Lab als Teilprojekt des Vorhabens „U.EDU: Unified Education – Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.“

Anhang IV Einwilligung- und Einverständniserklärung

EK-Antrag *Eva Bartaguiz*, 12.04.2021
 Einwilligungserklärung für Bild- und Tonaufnahmen

1



Fachbereich Sozialwissenschaft

Fachgebiet Sportwissenschaft

Prof. Dr. Michael Fröhlich

für eventuelle Rückfragen:

Eva Bartaguiz, M.Sc.

Telefon: +49(0) 631 205 4122

Einwilligungserklärung für Bild- und Tonaufnahmen

Technische Universität Kaiserslautern, Sportwissenschaft

Titel der Studie: *Augmented Reality-Studie*

Ich (Name des Teilnehmers /der Teilnehmerin in Blockschrift)

bin mündlich von Frau Eva Bartaguiz darüber informiert worden, dass im Rahmen der Studie *Video und Bildaufnahmen* gemacht werden.

Die Aufnahmen dienen zur Öffentlichkeitsarbeit des Teilprojektes Health.Holo.Lab im Rahmen des vom BMBF geförderten Programms U.EDU (Förderkennzeichen: 01JA1916). Außerdem können die Aufnahmen im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen verwendet werden.

Auf den von mir gemachten *Video / Bild* bin ich potentiell erkennbar.

„Keine vollständige Anonymisierung“

Video- und Bildaufnahmen können nur unter sehr großem Aufwand vollständig anonymisiert werden. Diese Anonymisierung kann im Rahmen dieser Studie nicht gewährleistet werden. Daher besteht die sehr geringe Wahrscheinlichkeit, dass eine an der Datenauswertung beteiligte Person mich in den von mir gemachten Aufnahmen erkennt. Aus diesem Grund unterliegen alle an der Auswertung beteiligten Personen einer absoluten Schweigepflicht und dürfen unter keinen Umständen vertrauliche Informationen an Dritte weitergeben.

Die Aufzeichnung und Auswertung der Video- oder Bildaufnahmen erfolgt pseudonymisiert, d. h. unter Verwendung einer Nummer und ohne Angabe meines Namens. Es existiert eine Kodierliste auf Papier, die meinen Namen mit der Nummer verbindet.

Da ich in den von mir gemachten Aufnahmen potentiell erkannt werden kann, habe ich das Recht, diese Aufnahmen jederzeit löschen zu lassen, ohne dass mit daraus Nachteile entstehen. Dazu wird die Kodierliste bis zur Löschung der Aufnahmen aufbewahrt.

Die Video- und Bildaufnahmen werden auf einer passwortgeschützten externen Festplatte aufbewahrt und nach der Auswertung der Daten spätestens 31.12.2023 gelöscht.

Vorlage der Ethikkommission der Deutschen Gesellschaft
 20. Juni 2017 in der Fassung vom 20.07.2020

EK-Antrag *Eva Bartaguiz*, 12.04.2021
 Einwilligungserklärung für Bild- und Tonaufnahmen

2

Die Einverständniserklärung für die Video- und Bildaufnahme ist freiwillig. Ich kann diese Erklärung jederzeit widerrufen. Im Falle einer Ablehnung oder eines Rücktritts entstehen für mich keinerlei Kosten oder anderweitige Nachteile; eine Teilnahme an der Studie ist dennoch möglich.

Ich hatte genügend Zeit für eine Entscheidung und erkläre mich hiermit bereit, dass eine Video- und/oder Bildaufnahme von mir gemacht wird.

Eine Ausfertigung dieser Einwilligungserklärung habe ich erhalten.

Ort, Datum & Unterschrift des
 Teilnehmers/der Teilnehmerin:

Name des Teilnehmers/der Teilnehmerin in
 Druckschrift:

Ort, Datum & Unterschrift des
 Versuchsleiters/der Versuchsleiterin:

Name des Versuchsleiters/der
 Versuchsleiterin in Druckschrift:

Bei Fragen oder anderen Anliegen kann ich mich an folgende Personen wenden:

Versuchsleiter/-in: <i>Eva Bartaguiz M.Sc</i> <i>Erwin-Schrödinger-Str. 57/532</i> <i>+49 (0) 631 205 4122</i> <i>eva.bartaguiz@sowi.uni-kl.de</i>	Projektleiter/-in: <i>Prof. Dr. Michael Fröhlich</i> <i>Erwin-Schrödinger-Str. 57/533</i> <i>+49 (0) 631 205 5723</i> <i>michael.froehlich@sowi.uni-kl.de</i>
--	---

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
 für Bildung
 und Forschung

Das Health.Holo.Lab als Teilprojekt des Vorhabens „U.EDU: Unified Education – Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.“

EK-Antrag Eva Bartaguiz, 12.04.2021
Einwilligungserklärung

1



Fachbereich Sozialwissenschaft

Fachgebiet Sportwissenschaft

Projektleitung: Prof. Dr. Michael Fröhlich

Ansprechpartner/-in für eventuelle Rückfragen:

Eva Bartaguiz, M.Sc.

Telefon: +49(0) 631 205 4122

Einwilligungserklärung

Technische Universität Kaiserslautern, Sportwissenschaft

Titel der Studie: Augmented Reality

Ich (Name des Teilnehmers /der Teilnehmerin in Blockschrift)

bin schriftlich über die Studie und den Versuchsablauf aufgeklärt worden. Ich willige ein, an dieser Studie des Health.Holo.Lab im Rahmen des, durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten, Programms U.EDU (Förderkennzeichen: 01JA1916) teilzunehmen. Sofern ich Fragen zu dieser vorgesehenen Studie hatte, wurden sie von Frau Eva Bartaguiz vollständig und zu meiner Zufriedenheit beantwortet.

Mit der beschriebenen Erhebung und Verarbeitung der Daten (Alter, Geschlecht, Konzentrations- und Aufmerksamkeitsfähigkeit, Eyetrackingdaten, Sehvermögen, Elektrodermale Aktivität und Herzratenvariabilität) bin ich einverstanden. Die Aufzeichnung und Auswertung dieser Daten erfolgt pseudonymisiert in der Sportwissenschaft der Technischen Universität Kaiserslautern, unter Verwendung einer Nummer und ohne Angabe meines Namens. Es existiert eine Kodierliste auf Papier, die meinen Namen mit dieser Nummer verbindet. Diese Kodierliste ist nur der Versuchsleitung und dem Projektleiter oder der Projektleiterin zugänglich, das heißt, nur diese Personen können die erhobenen Daten mit meinem Namen in Verbindung bringen. Nach Abschluss der Datenauswertung, spätestens am 31.12.2023 wird die Kodierliste gelöscht. Meine Daten sind dann anonymisiert. Damit ist es niemandem mehr möglich, die erhobenen Daten mit meinem Namen in Verbindung zu bringen. Ich bin informiert, dass ich mein Einverständnis zur Aufbewahrung bzw. Speicherung dieser Daten widerrufen kann, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Ich kann jederzeit eine Löschung all meiner Daten verlangen. Wenn allerdings die Kodierliste bereits gelöscht ist, kann mein Datensatz nicht mehr identifiziert und also auch nicht mehr gelöscht werden. Meine Daten sind dann anonymisiert.

Ich bin einverstanden, dass meine vollständig anonymisierten Daten zu Forschungszwecken weiterverwendet werden können. Dazu werden sie mindestens 10 Jahre nach Datenauswertung aufbewahrt.

Sollten behandlungsbedürftige Auffälligkeiten in der Testdiagnostik erkannt werden, bin ich damit einverstanden, dass mir diese mitgeteilt werden, so dass ich diese ggf. weiter abklären lassen kann. Ich wurde darüber aufgeklärt, dass die Information über auffällige Befunde u.U. mit

Vorlage der Ethikkommission der Deutschen Gesellschaft für Psychologie
20. Juni 2017 in der Fassung vom 20.07.2020

EK-Antrag *Eva Bartaguiz*, 12.04.2021
Einwilligungserklärung

2

versicherungsrechtlichen Konsequenzen verbunden sein kann.

Ort, Datum & Unterschrift des
Teilnehmers/der Teilnehmerin:

Name des Teilnehmers/der Teilnehmerin in
Druckschrift:

Ort, Datum & Unterschrift des
Versuchsleiters/der Versuchsleiterin:

Name des Versuchsleiters/der
Versuchsleiterin in Druckschrift:

EK-Antrag Eva Bartaguiz, 12.04.2021
Einwilligungserklärung

3

Zusatzvereinbarung für künftige Kontaktaufnahmen im Rahmen dieser Studie

Ich gebe mein Einverständnis, dass im Falle einer Fortführung dieser Studie oder von Anschlussstudien die Kodierliste weiterhin für die Dauer von fünf Jahren aufbewahrt wird und ich für Anschlussstudien kontaktiert werden darf. Mein Einverständnis zur Aufbewahrung bzw. Speicherung dieser Daten kann ich jederzeit widerrufen, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Ich kann jederzeit eine Löschung all meiner Daten verlangen. Wenn allerdings die Kodierliste bereits gelöscht ist, kann mein Datensatz nicht mehr identifiziert und also auch nicht mehr gelöscht werden.

JA NEIN.

Rückmeldung von Ergebnissen

Ich bin daran interessiert, etwas über die grundsätzlichen Ergebnisse der Studie zu erfahren, und bitte um Übersendung entsprechender Informationen.

JA NEIN.

Bei Fragen oder anderen Anliegen kann ich mich an folgende Personen wenden:

<p>Versuchsleiter/-in: <i>Eva Bartaguiz M.Sc</i> <i>Erwin-Schrödinger-Str. 57/532</i> <i>+49 (0) 631 205 4122</i> <i>eva.bartaguiz@sowi.uni-kl.de</i></p>	<p>Projektleiter/-in: <i>Prof. Dr. Michael Fröhlich</i> <i>Erwin-Schrödinger-Str. 57/533</i> <i>+49 (0) 631 205 5723</i> <i>michael.froehlich@sowi.uni-kl.de</i></p>
---	--



Das Health.Holo.Lab als Teilprojekt des Vorhabens „U.EDU: Unified Education – Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.*

Vorlage der Ethikkommission der Deutschen Gesellschaft für Psychologie
20. Juni 2017 in der Fassung vom 20.07.2020

Anhang V Deskriptive Statistik Studie 1

Eyetracking

Kennwerte beider Augen während der Intervention

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 1

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	37.39/33.98	6.16/5.76	35.36/32.09	39.42/35.88	0.52/0.36	-0.42/-0.44	p>0.05/p>0.05
t2	36.73/33.66	6.17/5.61	34.70/31.82	38.77/35.50	0.40/0.30	-0.64/-0.34	p>0.05/p>0.05
t3	36.60/33.51	6.24/5.65	34.55/31.65	38.67/35.36	0.31/0.24	-0.84/-0.37	p>0.05/p>0.05
t4	36.31/32.98	6.17/5.54	34.28/31.16	38.34/34.81	0.20/0.13	-0.90/-0.54	p>0.05/p>0.05
t5	35.85/32.73	6.29/5.68	33.78/30.86	37.92/34.60	0.11/0.10	-0.86/-0.68	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 2

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	38.82/35.74	7.12/7.19	36.49/33.40	41.15/38.07	0.13/0.47	-0.19/0.03	p<0.05/p>0.05
t2	39.43/35.92	7.81/7.80	36.90/33.40	41.97/38.45	-0.22/0.46	-0.08/0.15	p<0.05/p<0.05
t3	39.92/36.84	8.15/7.75	37.28/34.33	42.56/39.35	-0.24/0.33	-0.13/0.05	p>0.05/p>0.05
t4	39.36/36.08	7.80/7.48	36.83/33.65	41.89/38.50	-0.16/0.39	-0.21/0.43	p>0.05/p>0.05
t5	39.74/36.41	8.30/7.75	37.05/33.90	42.44/38.92	-0.21/0.29	-0.03/0.30	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 3

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	35.46/32.14	7.07/6.82	33.23/29.99	37.69/34.29	0.49/0.63	-0.17/-0.14	p>0.05/p<0.05
t2	35.79/32.30	7.38/7.11	33.46/30.06	38.12/34.55	0.51/0.65	-0.30/-0.26	p<0.05/p<0.05
t3	36.44/33.26	7.66/7.31	33.99/30.91	38.71/35.64	0.61/0.60	0.10/-0.13	p>0.05/p<0.05
t4	35.78/32.73	7.34/7.14	33.44/30.42	37.97/35.04	0.67/0.59	0.17/-0.28	p<0.05/p>0.05
t5	35.73/32.56	7.37/7.25	33.39/30.20	37.94/34.89	0.67/0.71	-0.06/-0.04	p>0.05 /p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 4

VAC 4 – Diameter linkes/rechtes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	38.47/35.15	6.92/7.01	36.16/32.82	40.78/37.49	0.12/0.27	0.21/-0.26	p<0.05/p<0.05
t2	38.98/35.56	7.35/7.23	36.53/33.15	41.43/37.97	0.27/0.37	0.27/0.16	p<0.05/p<0.05
t3	39.23/35.67	7.55/7.49	36.71/33.17	41.75/38.17	0.26/0.31	0.27/-0.16	p<0.05/p<0.05
t4	39.38/35.86	7.69/7.61	36.81/33.32	41.94/38.39	0.23/0.22	0.25/-0.29	p<0.05/p<0.05
t5	39.08/35.74	7.91/7.83	36.44/33.13	41.72/38.45	0.30/0.27	0.15/-0.40	p<0.05/p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 5, Tag 2

VAC 5 – Diameter linkes/rechtes Auge – Distanz 0.7

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	35.93/33.15	6.52/6.56	27.90/25.11	34.47/48.77	0.18/1.63	-0.81/2.86	p>0.05/p>0.05
t2	34.74/32.28	6.68/6.68	26.75/22.82	33.12/48.57	0.32/0.83	-0.51/-0.77	p>0.05/p>0.05
t3	34.02/31.52	6.64/6.29	25.20/19.39	31.71/46.97	0.52/0.52	-0.58/-0.17	p>0.05/p>0.05
t4	33.13/31.20	6.71/6.31	25.33/20.44	31.70/46.37	0.35/0.06	-1.08/-0.06	p>0.05/p>0.05
t5	32.98/30.43	6.84/6.32	26.00/19.17	32.06/44.44	0.28/0.51	-1.04/-0.21	p>0.05 /p>0.05

VAC 5 – Diameter linkes/rechtes Auge – Distanz 2.5

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	33.19/29.30	9.00/7.07	18.91/18.05	47.46/40.54	-1.92/-0.82	3.72/1.73	p<0.05/p>0.05
t2	32.02/28.74	8.51/7.15	18.47/17.35	45.57/40.12	-1.84/-1.00	3.42/1.01	p>0.05/p>0.05
t3	30.57/27.97	7.57/6.93	18.52/16.95	42.62/38.99	-1.68/-0.49	2.80/0.14	p>0.05/p>0.05
t4	28.41/27.62	8.08/6.74	15.55/16.89	41.26/38.35	-0.01/-0.51	-3.04/-0.41	p>0.05/p>0.05
t5	31.18/27.53	7.85/5.85	18.68/18.23	43.68/36.83	-1.51/-1.00	2.53/-0.31	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 6, Tag 2

VAC 6 – Diameter linkes/rechtes Auge – Distanz 0.7

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	39.48/37.67	5.22/6.81	31.17/26.83	47.80/48.52	0.42/1.83	-1.16/3.35	p>0.05/p>0.05
t2	40.22/38.74	5.35/6.81	31.70/27.91	48.74/49.56	0.61/1.86	0.40/3.48	p>0.05/p<0.05
t3	40.73/38.37	6.48/7.02	30.41/27.21	51.05/49.54	0.47/1.82	1.53/3.49	p>0.05/p>0.05
t4	39.38/37.82	5.71/8.40	30.30/24.46	48.45/51.18	1.32/1.90	2.31/3.65	p>0.05/p<0.05
t5	40.43/38.87	7.02/6.64	29.27/28.30	51.60/49.44	-0.29/1.75	1.44/3.24	p>0.05 /p>0.05

VAC 6 – Diameter linkes/rechtes Auge – Distanz 2.5 m

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	32.17/29.45	6.16/4.54	22.37/22.22	41.97/37.49	-0.98/-0.68	0.14/-1.46	p>0.05/p>0.05
t2	31.82/32.93	6.32/6.88	21.76/29.71	41.88/36.16	-0.31/0.18	-1.68/0.30	p>0.05/p>0.05
t3	30.43/28.93	7.23/5.70	18.92/19.85	41.93/38.00	0.29/-0.81	-0.55/-1.34	p>0.05/p>0.05
t4	29.95/28.94	7.36/5.97	18.23/18.84	41.66/37.85	0.14/-0.59	-0.40/-2.67	p>0.05/p>0.05
t5	29.60/27.64	7.36/6.27	17.89/17.66	41.31/37.62	0.65/-0.23	1.03/-4.21	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

*Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 7, Tag 2***VAC 7 – Diameter linkes/rechtes Auge – Distanz 0.7 m**

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	32.13/28.43	5.08/4.72	29.75/26.22	34.51/30.64	0.52/0.26	-0.48/-1.00	p>0.05/p>0.05
t2	33.17/29.41	5.96/4.79	30.38/27.17	35.96/31.66	0.46/0.42	-0.57/-1.12	p>0.05/p>0.05
t3	33.69/29.64	6.25/5.13	30.77/27.24	36.62/32.04	0.33/0.52	-0.78/-0.78	p>0.05/p>0.05
t4	33.70/29.64	6.08/4.89	30.85/27.35	36.54/31.92	0.31/0.58	-0.90/-0.70	p>0.05/p>0.05
t5	33.92/29.92	5.97/5.10	31.12/27.53	36.71/32.31	0.22/0.41	-0.95/-0.93	p>0.05 /p>0.05

VAC 7 – Diameter linkes/rechtes Auge – Distanz 2.5 m

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	33.23/30.23	7.27/6.00	29.49/27.84	36.97/34.02	0.16/0.76	-0.71/0.18	p>0.05/p>0.05
t2	34.10/31.95	7.31/6.80	30.34/28.46	37.86/35.45	0.22/0.59	-0.19/-0.08	p>0.05/p>0.05
t3	34.37/32.21	7.42/7.16	30.55/28.53	38.19/35.89	0.24/0.57	-0.23/-0.27	p>0.05/p>0.05
t4	34.37/32.40	7.32/6.95	30.60/28.82	38.13/35.97	0.31/0.51	-0.14/-0.34	p>0.05/p>0.05
t5	34.40/32.43	7.66/7.18	30.31/28.74	38.49/36.12	0.05/0.41	-0.36/-0.61	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

HRV**Kennwerte der Mittlere HF**

Deskriptive Werte der Mittleren HF der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkte an Tag 1

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-S)
			UG	OG			
Baseline	78.20	9.00	74.71	81.68	-0.40	0.86	p>0.05
t1	77.32	9.39	73.68	80.96	-0.10	0.08	p>0.05
t2	76.20	8.98	72.72	79.68	-0.27	-0.09	p>0.05
t3	76.53	8.58	73.53	79.56	-0.30	-0.68	p>0.05
t4	76.00	8.65	72.64	79.35	-0.20	0.50	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Werte der Mittleren HF der männlichen und weiblichen Probanden zu den Messzeitpunkten an Tag 1

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-V)
			UG	OG			
Baseline	75.00	8.68	69.16	80.82	-0.90	0.15	p>0.05
t1	73.56	7.85	68.57	78.55	-0.74	1.19	p>0.05
t2	72.96	8.07	67.83	78.10	-0.86	0.62	p>0.05
t3	73.20	7.59	68.37	78.02	-0.40	-0.07	p>0.05
t4	72.82	7.92	67.79	77.85	-0.59	0.50	p>0.05

Mittlere HF (bpm): Frauen, Tag 1

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	80.27	8.82	75.73	84.81	-0.28	-0.62	p>0.05
t1	80.14	9.68	74.98	85.30	-0.24	-0.23	p>0.05
t2	78.62	9.09	79.78	83.47	-0.27	-0.57	p>0.05
t3	79.03	8.64	74.43	83.64	-0.58	-0.62	p>0.05
t4	78.38	8.64	73.77	82.98	-0.21	-0.11	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Werte der Mittleren HF der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkten an Tag 2

Mittlere HF: Tag 2, Distanz 2.5 m/0.7 m							
CI (95%)							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Baseline	78.23/81.04	10.63/8.17	72.32/76.27	84.18/85.83	-0.06/-0.68	-1.22/2.00	p>0.05/p>0.05
t1	77.89/80.99	8.70/6.73	72.98/77.10	82.70/84.87	0.06/-0.12	-0.83/-0.06	p>0.05/p>0.05
t2	77.14/78.42	9.12/5.94	72.15/74.99	82.19/81.85	0.14/-0.30	-1.26/0.96	p>0.05/p>0.05
t3	75.99/79.75	8.71/7.01	71.09/75.90	80.81/84.00	0.25/0.09	-0.78/-0.86	p>0.05/p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Werte der Mittleren HF der Gesamtstichprobe zu den Interventionstypen an Tag 2

Mittlere HF: Tag 2, Distanz 2.5 m/0.7 m							
CI (95%)							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Baseline	78.23/81.04	10.63/8.17	72.32/76.27	84.18/85.83	-0.06/-0.68	-1.22/2.00	p>0.05/p>0.05
VAC 1	77.18/77.17	8.19/7.84	72.64/72.64	81.71/81.70	0.82/-0.80	-0.30/0.16	p>0.05/p>0.05
VAC 2	76.41/81.32	6.53/8.80	72.80/76.24	80.03/86.40	-0.18/-0.41	-0.80/-1.00	p>0.05/p>0.05
VAC 3	78.09/79.85	6.85/8.36	74.30/75.02	81.88/84.68	-0.04/-0.57	0.31/-0.98	p>0.05/p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennwerte des RMSSD

Deskriptive Werte der RMSSD der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkten an Tag 1

RMSSD (ms): Gesamt, Tag 1							
CI (95%)							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (K-S)
Baseline	44.23	14,82	38,49	49,97	0.56	-0.82	p>0.05
t1	43.02	12.97	37.99	48.05	0.28	-0.49	p>0.05
t2	43.38	13.23	37.19	49.56	1.33	3.24	p<0.05
t3	41.83	13.65	36.54	47.13	0.61	-0.31	p>0.05
t4	42.42	15.82	36.28	48.55	0.81	-0.29	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Werte der RMSSD der männlichen und weiblichen Probanden zu den Messzeitpunkten an Tag 1

RMSSD (ms): Männer, Tag 1

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	49.41	14.62	39.59	59.24	0.34	-1.17	p>0.05
t1	42.10	13.41	34.95	49.24	0.02	-1.05	p>0.05
t2	42.04	11.03	35.03	49.05	0.34	-1.09	p>0.05
t3	44.82	11.77	37.34	52.30	0.70	-0.23	p>0.05
t4	45.92	13.62	37.26	54.57	-0.17	-1.48	p>0.05

RMSSD (ms): Frauen, Tag 1

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	40.88	14.37	33.50	48.27	0.86	-0.17	p<0.05
t1	42.10	13.41	34.95	49.24	0.02	-1.05	p>0.05
t2	44.38	19.14	34.18	54.58	1.31	2.58	p>0.05
t3	39.59	14.87	31.67	47.52	0.85	0.06	p>0.05
t4	39.79	17.25	30.60	48.98	1.46	1.19	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Werte der RMSSD der beiden Gruppen mit unterschiedlichen Distanzen zu den Messzeitpunkten an Tag 2

RMSSD (ms): Tag 2 Distanz 2.5 m/0.7 m

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	42.26/41.82	19.13/19.63	31.66/30.49	52.85/53.16	0.97/2.55	1.03/8.16	p>0.05/p<0.05
t1	40.52/39.07	16.62/12.81	31.32/31.68	49.72/46.47	0.76/1.06	1.42/1.52	p>0.05/p>0.05
t2	41.87/41.67	18.81/13.54	31.45/33.85	52.29/49.48	0.79/1.47	0.87/3.23	p>0.05/p>0.05
t3	41.77/38.47	18.31/9.99	31.63/32.70	51.91/44.23	1.54/-0.67	3.79/1.21	p<0.05/p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Werte der RMSSD der beiden Gruppen mit unterschiedlichen Distanzen zu den Interventionstypen an Tag 2

RMSSD: Tag 2, Distanz 2.5 m/0.7 m

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	42.26/41.82	19.13/19.63	31.66/30.49	52.85/53.16	0.97/2.55	1.03/8.16	p>0.05/p<0.05
VAC 5	39.47/41.04	15.66/16.35	30.79/31.98	48.14/50.09	1.84/0.28	5.31/1.11	p<0.05/p>0.05
VAC 6	46.63/36.74	19.16/13.20	33.02/29.43	54.25/44.05	1.15/0.28	2.04/2.09	p>0.05/p>0.05
VAC 7	41.19/35.74	18.47/11.15	30.96/29.57	51.42/41.92	0.60/-0.41	0.26/0.76	p>0.05/p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennwerte der SDNN*Deskriptive Werte der SDNN der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkten an Tag 1*

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-S)
			UG	OG			
Baseline	47.02	12.07	42.34	51.70	0.46	-0.22	p>0.05
t1	44.10	9.81	40.30	47.90	-0.10	-0.71	p>0.05
t2	44.29	11.12	39.98	48.60	1.01	1.55	p>0.05
t3	44.25	12.89	39.25	49.25	0.68	-0.12	p>0.05
t4	46.00	14.69	40.46	51.52	0.69	-0.30	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Werte der SDNN der männlichen und weiblichen Probanden zu den Messzeitpunkten an Tag 1

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	52.02	13.54	43.41	60.62	0.21	-0.82	p>0.05
t1	46,09	9.48	40.07	52.11	-0.74	0.23	p>0.05
t2	45.41	9.39	39.44	51.38	0.17	-0.72	p>0.05
t3	48.48	13.67	39.80	57.17	0.48	-0.38	p<0.05
t4	49.48	14.10	40.48	58.40	-0.16	-1.36	p>0.05

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	43.27	9.64	38.14	48.40	0.04	-0.94	p>0.05
t1	42.61	10.08	37.24	47.98	0.32	-0.44	p>0.05
t2	43.45	12.49	36.79	50.11	1.42	2.67	p<0.05
t3	41.08	11.71	34.84	47.31	0.87	0.64	p>0.05
t4	43.41	14.27	35.81	51.01	1.44	2.10	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

*Deskriptive Werte der SDNN der beiden Gruppen mit unterschiedlichen Distanzen zu den Messzeitpunkten an Tag 2***SDNN (ms): Tag 2 Distanz 2.5 m/0.7 m**

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	47.84/46.30	19.15/18.90	37.24/35.83	58.45/56.76	0.67/1.68	-0.85/3.28	p>0.05/p<0.05
t1	46.75/44.93	17.53/10.23	37.04/39.02	56.46/50.84	0.57/0.05	-0.74/-0.61	p>0.05/p>0.05
t2	45.83/46.99	17.90/9.42	35.91/41.55	55.74/52.43	0.41/0.93	-0.50/0.77	p>0.05/p>0.05
t3	49.59/44.30	22.66/10.54	37.04/38.22	62.14/50.38	0.71/1.06	1.33/0.65	p>0.05/p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

*Deskriptive Werte der SDNN der beiden Gruppen mit unterschiedlichen Distanzen zu den Interventionstypen an Tag 2***SDNN: Tag 2, Distanz 2.5 m/0.7 m**

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Baseline	47.84/46.30	19.15/18.90	37.24/35.83	58.45/56.76	0.67/1.68	-0.85/3.28	p>0.05/p<0.05
VAC 5	48.75/44.28	21.78/11.36	36.68/38.00	60.81/50.57	1.15/-0.68	0.78/1.16	p>0.05/p>0.05
VAC 6	48.17/42.63	19.29/12.64	37.49/35.64	58.86/49.63	0.72/0.13	-0.04/0.60	p>0.05/p>0.05
VAC 7	45.24/44.16	17.18/11.43	35.73/37.83	54.76/50.49	0.24/0.26	-0.60/0.67	p>0.05/p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennwerte der LF*Deskriptive Werte der LF der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkte an Tag 1***LF (ms²) Gesamt, Tag 1**

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-S)
			UG	OG			
Baseline	923.99	144.34	854.42	999.56	-1.24	2.90	p>0.05
t1	714.17	136.50	648.38	779.96	-1.45	2.71	p>0.05
t2	759.92	242.53	643.02	876.81	2.79	10.24	p<0.05
t3	785.86	216.38	681.58	890.16	1.59	2.81	p>0.05
t4	728.77	138.71	661.91	795.62	-1.04	1.89	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Kennwerte der HF*Deskriptive Werte der HF der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkte an Tag 1*

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-S)
			UG	OG			
Baseline	775.56	137.01	709.52	841.59	-1.95	6.11	p>0.05
t1	724.36	150.99	651.59	797.14	-0.66	2.16	p>0.05
t2	780.89	118.39	723.83	837.95	0.90	0.96	p<0.05
t3	763.53	118.63	706.36	820.71	0.01	0.73	p>0.05
t4	769.39	262.90	642.68	896.11	2.64	11.01	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Kennwerte der LF/HF*Deskriptive Werte der LF/HF Ratio der Gesamtstichprobe zu den Messzeitpunkte an Tag 1*

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-S)
			UG	OG			
Baseline	1.23	0.34	1.07	1.40	3.13	12.30	p<0.05
t1	1.15	0.66	0.83	1.48	3.59	14.25	p<0.05
t2	0.96	0.17	0.88	1.04	1.83	4.03	p<0.05
t3	1.03	0.22	0.92	1.13	1.31	1.53	p<0.05
t4	1.01	0.28	0.88	1.14	-0.02	1.95	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-S) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Fragebogen nach Hoffman et al. 2008

Kennwerte des Items Müdigkeit

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman, Girshick, Akeley und Banks (2008) für das Item Müdigkeit, Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	2.49	1.20	2.13	2.85	-0.14	-1.25	p<0.05
t2	1.93	1.27	1.55	2.31	0.83	-0.88	p<0.05
t3	2.11	1.27	1.73	2.49	0.49	-1.27	p<0.05
t4	1.84	1.13	1.51	2.18	0.72	-1.22	p<0.05

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.49	1.18	1.98	3.19	-0.11	-0.33	p<0.05
t2	2.12	1.32	1.44	2.79	0.68	-0.65	p<0.05
t3	2.06	1.20	1.44	2.67	0.37	-1.69	p<0.05
t4	1.76	1.09	1.20	2.33	0.85	-1.07	p<0.05

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.43	1.23	1.95	2.91	-0.14	-1.68	p<0.05
t2	1.82	1.25	1.34	2.31	0.98	-0.91	p<0.05
t3	2.14	1.33	1.63	2.66	0.54	-1.20	p<0.05
t4	1.89	1.17	1.44	2.34	0.68	-1.31	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Müdigkeit, Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.84	1.21	1.48	2.21	0.97	-0.50	p<0.001
VAC 2	2.07	1.20	1.71	2.43	0.37	-1.60	p<0.001
VAC 3	2.02	1.22	1.66	2.39	0.59	-1.06	p<0.001
VAC 4	2.44	1.27	2.06	2.83	-0.01	-1.47	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Müdigkeit, Männer und Frauen, Tag 1

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.59	0.94	1.11	2.07	0.99	-1.17	p< 0.001
VAC 2	2.12	1.11	1.55	2.69	0.05	-1.87	p<0.001
VAC 3	2.35	1.27	1.70	3.01	0.27	-0.83	p<0.05
VAC 4	2.47	1.38	1.76	3.18	0.15	-1.35	p<0.05

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	2.00	1.33	1.48	2.52	0.81	-0.91	p<0.001
VAC 2	2.04	1.26	1.55	2.52	0.52	-1.56	p<0.001
VAC 3	1.82	1.16	1.37	2.27	0.84	-1.06	p<0.001
VAC 4	2.43	1.23	1.95	2.91	-0.14	-1.68	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Müdigkeit, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.27	0.55	2.03	2.52	1.99	3.50	p<0.001
t2	2.32	0.65	2.03	2.60	1.92	2.63	p<0.001
t3	2.45	0.74	2.13	2.78	1.34	0.38	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t 1	2.57	0.84	2.20	2.93	1.52	1.89	p<0.001
t 2	2.48	0.73	2.16	2.79	2.00	5.31	p<0.001
t 3	2.43	0.51	2.22	2.65	0.28	-2.11	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Müdigkeit, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 5	2.41	0.59	2.15	2.67	1.15	0.51	p<0.001
VAC 6	2.05	0.21	1.95	2.14	4.69	22.00	p<0.001
VAC 7	2.59	0.85	2.21	2.97	0.95	-0.92	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	2.43	0.59	2.18	2.69	1.00	0.16	p<0.001
VAC 2	2.57	0.79	2.22	2.91	1.60	2.90	p<0.001
VAC 3	2.16	0.73	2.16	2.79	2.00	5.31	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennwerte des Items Irritation der Augen

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Irritation der Augen, Tag 1

Gesamt							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.11	0.53	0.95	1.27	4.87	23.61	p<0.001
t2	1.09	0.42	0.96	1.21	4.58	19.81	p<0.001
t3	1.07	0.45	0.93	1.20	6.71	45.00	p<0.001
t4	1.09	0.42	0.96	1.21	4.58	19.81	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Müdigkeit, Männer und Frauen, Tag 1

Männer							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.18	0.73	0.80	1.55	4.12	17.00	p<0.001
t2	1.12	0.49	0.87	1.37	4.12	17.00	p<0.001
t3	1.18	0.73	0.80	1.55	4.12	17.00	p<0.001
t4	1.12	0.49	0.87	1.37	4.12	17.00	p<0.001

	Frauen						
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
UG			OG				
t1	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001
t2	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001
t3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	p<0.001
t4	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Irritation der Augen, Tag 1

	Gesamt						
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
UG			OG				
VAC 1	1.09	0.42	0.96	1.21	4.58	19.81	p<0.001
VAC 2	1.04	0.30	0.95	1.13	6.71	45.00	p<0.001
VAC 3	1.11	0.53	0.53	1.27	4.87	23.61	p<0.001
VAC 4	1.11	0.53	0.53	1.27	4.87	23.61	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Irritation der Augen, Männer und Frauen, Tag 1

	Männer						
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
UG			OG				
VAC 1	1.12	0.49	0.87	1.37	4.12	17.00	p<0.001
VAC 2	1.12	0.49	0.87	1.37	4.12	17.00	p<0.001
VAC 3	1.18	0.73	0.80	1.55	4.12	17.00	p<0.001
VAC 4	1.18	0.73	0.80	1.55	4.12	17.00	p<0.001

	Frauen						
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
UG			OG				
VAC 1	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001
VAC 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 3	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001
VAC 4	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Irritation der Augen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.32	0.57	2.07	2.57	1.66	2.15	p<0.001
t2	2.45	0.67	2.16	2.75	1.22	0.44	p<0.001
t3	2.18	0.50	1.96	2.40	2.91	8.43	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.13	0.46	0.93	1.33	3.71	13.96	p<0.001
t2	1.22	0.52	0.99	1.44	2.47	5.86	p<0.001
t3	1.17	0.49	0.96	1.39	2.99	8.95	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Irritation der Augen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	2.32	0.57	2.07	2.57	1.66	2.15	p<0.001
VAC 2	2.32	0.57	2.07	2.57	1.66	2.15	p<0.001
VAC 3	2.32	0.57	2.07	2.57	1.66	2.15	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	2.35	0.71	2.04	2.28	1.82	1.82	p<0.001
VAC 2	2.30	0.64	2.03	2.58	1.99	2.94	p<0.001
VAC 3	2.30	0.47	2.10	2.51	0.91	-1.29	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennwerte des Items Beeinträchtigung der Sicht

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.91	1.10	1.58	2.24	0.50	-1.51	p<0.001
t2	1.42	0.87	1.16	1.68	1.68	1.18	p<0.001
t3	1.73	1.07	1.41	2.06	0.91	-0.90	p<0.001
t4	1.73	1.01	1.43	2.04	0.71	-1.37	p<0.001

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.06	1.20	1.44	2.67	0.37	-1.69	p<0.001
t2	1.53	1.01	1.01	2.05	1.57	0.97	p<0.001
t3	1.65	1.22	1.02	2.28	1.48	0.33	p<0.001
t4	1.71	0.99	1.20	2.21	0.68	-1.77	p<0.001

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.87	1.06	1.41	2.23	0.59	-1.52	p<0.001
t2	1.36	0.78	1.05	1.66	1.78	1.23	p<0.001
t3	1.79	1.00	1.40	2.17	0.46	-1.93	p<0.001
t4	1.75	1.04	1.35	2.15	0.76	-1.26	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.49	0.87	1.23	1.75	1.23	-0.51	p<0.001
VAC 2	1.60	0.96	1.31	1.89	1.06	-0.69	p<0.001
VAC 3	1.73	1.07	1.41	2.06	0.91	-0.90	p<0.001
VAC 4	1.98	1.14	1.64	2.32	0.43	-1.60	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Männer und Frauen, Tag 1

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.59	0.94	1.11	2.07	0.99	-1.17	p<0.001
VAC 2	1.65	1.06	1.10	2.19	1.18	-0.29	p<0.001
VAC 3	1.82	1.18	1.21	2.43	0.89	-1.00	p<0.001
VAC 4	1.88	1.27	1.23	2.53	0.87	-1.14	p<0.001

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.43	0.84	1.10	1.75	1.47	0.18	p<0.001
VAC 2	1.57	0.92	1.21	1.93	1.00	-1.08	p<0.001
VAC 3	1.68	1.02	1.28	2.07	0.94	-0.91	p<0.001
VAC 4	2.04	1.07	1.62	2.45	0.12	-1.88	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
t2	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
t3	2.14	0.47	1.93	2.34	3.62	13.27	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.04	0.21	1.95	2.13	4.80	23.00	p<0.001
t2	2.00	0.00	2.00	2.00	-	-	-
t3	2.00	0.00	2.00	2.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Beeinträchtigung der Sicht, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
VAC 2	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
VAC 3	2.14	0.47	1.93	2.34	3.62	13.27	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	2.00	0.00	2.00	2.00	-	-	-
VAC 2	2.00	0.00	2.00	2.00	-	-	-
VAC 3	2.04	0.21	1.95	2.13	4.80	23.00	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennwerte des Items Kopfschmerzen

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Kopfschmerzen, Tag 1

Gesamt							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.60	1.03	1.29	1.91	1.28	-0.30	p<0.001
t2	1.49	0.94	1.21	1.77	1.56	0.82	p<0.001
t3	1.56	0.92	1.28	1.83	1.21	-0.20	p<0.001
t4	1.58	1.03	1.27	1.89	1.03	0.58	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Kopfschmerzen, Männer und Frauen, Tag 1

Männer							
	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.35	0.79	0.95	1.76	1.87	1.67	p<0.001
t2	1.12	0.49	0.87	1.37	4.12	17.00	p<0.001
t3	1.29	0.69	0.94	1.65	2.18	3.45	p<0.001
t4	1.18	0.53	0.90	1.45	3.14	9.80	p<0.001

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.75	1.14	1.31	2.19	1.01	-0.72	p<0.001
t2	1.71	1.08	1.29	2.13	1.00	-0.73	p<0.001
t3	1.71	1.01	1.32	2.11	0.86	-1.00	p<0.001
t4	1.82	1.19	1.36	2.28	0.94	-0.86	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Kopfschmerzen, Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.18	0.58	1.00	1.35	2.99	7.26	p<0.001
VAC 2	1.51	0.89	1.24	1.78	1.36	0.23	p<0.001
VAC 3	1.60	1.05	1.28	1.92	1.37	0.26	p<0.001
VAC 4	1.93	1.16	1.59	2.28	0.60	-1.35	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Kopfschmerzen, Männer und Frauen, Tag 1

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 2	1.18	0.53	0.90	1.45	3.14	9.80	p<0.001
VAC 3	1.29	0.69	0.94	1.65	2.18	3.45	p<0.001
VAC 4	1.47	0.87	1.02	1.92	1.37	-0.15	p<0.001

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.29	0.71	1.01	1.56	2.16	2.86	p<0.001
VAC 2	1.71	1.01	1.32	2.11	0.56	-1.00	p<0.001
VAC 3	1.79	1.20	1.32	2.25	1.00	-0.79	p<0.001
VAC 4	2.21	1.23	1.74	2.69	0.21	-1.69	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Kopfschmerzen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
t2	2.14	0.35	1.98	2.29	2.28	3.50	p<0.001
t3	2.27	0.55	2.03	2.52	1.99	3.50	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	2.26	0.62	1.99	2.53	2.31	4.26	p<0.001
t2	2.09	0.29	1.96	2.21	3.14	8.61	p<0.001
t3	2.17	0.39	2.01	2.34	1.84	1.52	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Kopfschmerzen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	2.14	0.35	1.98	2.29	2.28	3.50	p<0.001
VAC 2	2.09	0.29	1.96	2.22	3.06	8.09	p<0.001
VAC 3	2.27	0.55	2.03	2.52	1.99	3.50	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	2.17	0.49	1.96	2.39	2.33	8.95	p<0.001
VAC 2	2.26	0.54	2.03	2.49	2.06	3.82	p<0.001
VAC 3	2.09	0.29	1.96	2.21	3.14	8.61	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennwerte des Items Übelkeit

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t3	1.13	0.51	0.98	1.28	3.60	11.43	p<0.001
t4	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t4	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t3	1.21	0.63	0.97	1.46	2.69	5.61	p<0.001
t4	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.04	0.30	0.95	1.13	6.71	45.00	p<0.001
VAC 2	1.04	0.30	0.95	1.13	6.71	45.00	p<0.001
VAC 3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 4	1.04	0.30	0.95	1.13	6.71	45.00	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Männer und Frauen, Tag 1

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 4	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001
VAC 2	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001
VAC 3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 4	1.07	0.38	0.92	1.22	5.29	28.00	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t3	1.09	0.43	0.90	1.28	4.69	22.00	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
t3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Übelkeit, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 3	1.09	0.43	0.90	1.28	4.69	22.00	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
VAC 3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennwerte des Items Nackenschmerzen

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Nackenschmerzen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.11	0.49	0.96	1.26	5.24	29.56	p<0.001
t2	1.22	0.56	1.05	1.39	3.30	13.31	p<0.001
t3	1.27	0.54	1.10	1.43	1.96	3.11	p<0.001
t4	1.29	0.55	1.12	1.45	1.79	2.44	p<0.001

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.22	0.73	0.86	1.59	3.67	13.88	p<0.001
t2	1.33	0.77	0.95	1.71	2.84	8.82	p<0.001
t3	1.33	0.59	1.04	1.63	1.68	2.22	p<0.001
t4	1.44	0.71	1.09	1.79	1.35	0.65	p<0.001

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.04	0.19	0.96	1.11	5.20	27.00	p<0.001
t2	1.15	0.36	1.00	1.29	2.10	2.59	p<0.001
t3	1.22	0.51	1.02	1.42	2.32	5.10	p<0.001
t4	1.19	0.40	1.03	1.34	1.72	1.02	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Nackenschmerzen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.18	0.44	1.05	1.31	2.53	6.25	p<0.001
VAC 2	1.27	0.54	1.10	1.43	1.96	3.11	p<0.001
VAC 3	1.18	0.54	1.02	1.34	3.90	17.75	p<0.001
VAC 4	1.27	0.62	1.08	1.45	2.79	8.77	p<0.001

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.24	0.56	0.95	1.52	2.47	5.84	p<0.001
VAC 2	1.35	0.61	1.04	1.11	1.60	1.90	p<0.001
VAC 3	1.35	0.79	0.95	1.76	2.74	8.24	p<0.001
VAC 4	1.29	0.77	0.90	1.69	3.11	10.26	p<0.001

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.14	0.37	1.00	1.28	2.16	2.86	p<0.001
VAC 2	1.21	0.50	1.02	1.41	2.38	5.42	p<0.001
VAC 3	1.07	0.26	0.97	1.17	3.52	11.18	p<0.001
VAC 4	1.25	0.52	1.05	1.45	2.04	3.72	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Nackenschmerzen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t 1	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.09	p<0.001
t 2	1.14	0.35	0.98	1.29	2.28	3.50	p<0.001
t 3	1.14	0.35	0.98	1.29	2.28	3.50	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t 1	1.09	0.42	0.91	1.27	4.80	23.00	p<0.001
t 2	1.13	0.46	0.93	1.33	3.71	13.96	p<0.001
t 3	1.09	0.42	0.91	1.27	4.80	23.00	p<0.001

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.17	0.35	0.98	1.29	2.28	3.50	p<0.001
VAC 2	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.09	p<0.001
VAC 3	1.14	0.35	0.98	1.29	2.28	3.50	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.13	0.46	0.93	1.33	3.71	13.96	p<0.001
VAC 2	1.17	0.49	0.96	1.39	2.99	8.95	p<0.001
VAC 3	1.22	0.52	0.99	1.44	2.47	5.86	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennzahlen des Items Rückenschmerzen

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Rückenschmerzen, Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.18	0.58	1.00	1.35	3.74	14.79	p<0.001
t2	1.16	0.56	0.99	1.32	4.06	17.13	p<0.001
t3	1.13	0.46	1.00	1.27	3.54	11.93	p<0.001
t4	1.13	0.46	1.00	1.27	3.54	11.93	p<0.001

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.17	0.71	0.82	1.52	4.24	18.00	p<0.001
t2	1.17	0.71	0.82	1.52	4.24	18.00	p<0.001
t3	1.11	0.47	0.88	1.35	4.24	18.00	p<0.001
t4	1.11	0.47	0.88	1.35	4.24	18.00	p<0.001

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	1.19	0.48	0.99	1.38	2.74	7.45	p<0.001
t2	1.15	0.46	0.97	1.33	3.29	10.99	p<0.001
t3	1.15	0.46	0.97	1.33	3.29	10.99	p<0.001
t4	1.15	0.46	0.97	1.33	3.29	10.99	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Rückenschmerzen an Tag 1

Gesamt							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.13	0.46	1.00	1.27	3.54	11.93	p<0.001
VAC 2	1.13	0.46	1.10	1.27	3.54	11.93	p<0.001
VAC 3	1.16	0.56	0.99	1.32	4.06	17.13	p<0.001
VAC 4	1.18	0.58	1.00	1.35	3.74	14.79	p<0.001

Männer							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.12	0.49	0.87	1.37	4.12	17.00	p<0.001
VAC 2	1.12	0.49	0.87	1.37	4.12	17.00	p<0.001
VAC 3	1.18	0.73	0.80	1.55	4.12	17.00	p<0.001
VAC 4	1.18	0.73	0.80	1.55	4.12	17.00	p<0.001

Frauen							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.14	0.45	0.97	1.32	3.36	11.50	p<0.001
VAC 2	1.14	0.45	0.97	1.32	3.36	11.50	p<0.001
VAC 3	1.14	0.45	0.97	1.32	3.36	11.50	p<0.001
VAC 4	1.18	0.48	0.99	1.36	2.81	7.85	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Messzeitpunkten nach Hoffman et al. (2008) für das Item Rückenschmerzen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t 1	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.09	p<0.001
t 2	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.09	p<0.001
t 3	1.05	0.05	0.95	1.14	4.69	22.00	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
t 1	2.43	0.79	2.09	2.78	1.46	0.39	p<0.001
t 2	2.26	0.45	2.07	2.46	1.17	-0.71	p<0.001
t 3	2.26	0.54	2.03	2.49	2.06	3.82	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptive Kennwerte der Symptom- und Befindlichkeitsabfrage zu den einzelnen Interventionstypen nach Hoffman et al. (2008) für das Item Rückenschmerzen, Distanz 0.7 m und 2.5 m an Tag 2

Distanz 0.7 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.09	p<0.001
VAC 2	1.09	0.29	0.96	1.22	3.06	8.09	p<0.001
VAC 3	1.05	0.05	0.95	1.14	4.69	22.00	p<0.001

Distanz 2.5 m							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
VAC 1	1.09	0.42	0.91	1.27	4.80	23.00	p<0.001
VAC 2	1.13	0.46	0.93	1.33	3.71	13.96	p<0.001
VAC 3	1.09	0.42	0.91	1.27	4.80	23.00	p<0.001

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (K-W) = Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov, NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Determinationstest**Kennzahlen des Median Reaktionszeit***Deskriptiven Kennzahlen der Median Reaktionszeit, Gruppe 0.7 m*

MDRT: Distanz 0.7 m							
CI (95%)							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Tag 1_pre	0.75	0.03	0.74	0.77	-0.84	1.06	p>0.05
Tag 1_post	0.71	0.03	0.69	0.72	< 0.01	-1.33	p>0.05
Tag 2_pre	0.67	0.05	0.65	0.70	0.94	0.66	p>0.05
Tag 2_post	0.65	0.05	0.63	0.68	1.20	1.94	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptiven Kennzahlen der Median Reaktionszeit, Gruppe 2.5 m

MDRT: Distanz 2.5 m							
CI (95%)							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Tag 1_pre	0.74	0.04	0.72	0.75	-0.82	-0.04	p>0.05
Tag 1_post	0.70	0.05	0.67	0.72	0.19	-0.23	p>0.05
Tag 2_pre	0.66	0.04	0.64	0.68	0.99	1.31	p>0.05
Tag 2_post	0.65	0.04	0.63	0.67	0.73	-0.58	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennzahlen der Summe falscher und ausgelassener Reaktionen*Deskriptiven Kennzahlen der Summe falscher und ausgelassener Reaktionen, Gruppe 0.7 m*

SFA: Distanz 0.7 m							
CI (95%)							
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Tag 1_pre	31.11	13.69	24.51	37.70	0.14	0.21	p>0.05
Tag 1_post	26.79	12.44	20.79	32.79	0.41	-0.80	p>0.05
Tag 2_pre	30.68	14.84	23.53	37.84	0.20	-0.88	p>0.05
Tag 2_post	34.00	17.21	25.70	42.30	0.27	-0.80	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

*Deskriptiven Kennzahlen der Summe falscher und ausgelassener Reaktionen, Gruppe 2.5 m***SFA: Distanz 2.5 m**

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	30.37	14.77	23.25	37.49	-0.29	-0.37	p>0.05
Tag 1_post	36.58	19.31	27.27	45.89	0.07	-1.17	p>0.05
Tag 2_pre	36.53	15.37	29.12	43.93	-0.31	-0.26	p>0.05
Tag 2_post	33.26	15.76	25.67	40.86	0.27	-0.35	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennzahlen der verspäteten Reaktionen*Deskriptiven Kennzahlen der verspäteten Reaktionen, Gruppe 0.7 m***V: Distanz 0.7 m**

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	62.79	17.83	54.19	71.39	0.11	-0.20	p>0.05
Tag 1_post	73.37	19.45	63.99	82.74	0.08	-0.36	p>0.05
Tag 2_pre	79.53	16.19	71.72	87.33	-0.33	-0.92	p>0.05
Tag 2_post	75.16	15.85	67.52	82.80	0.41	-0.71	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

*Deskriptiven Kennzahlen der verspäteten Reaktionen, Gruppe 2.5 m***V: Distanz 2.5 m**

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	73.00	14.70	65.92	80.08	-0.12	-0.64	p>0.05
Tag 1_post	72.05	14.62	65.00	79.10	-0.11	0.53	p>0.05
Tag 2_pre	72.95	19.17	63.71	82.19	-0.81	0.01	p>0.05
Tag 2_post	75.11	18.47	66.20	84.01	-1.20	0.75	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennzahlen der richtigen Reaktionen*Deskriptiven Kennzahlen der richtigen Reaktionen, Gruppe 0.7 m*

Z: Distanz 0.7 m							
CI (95%)							
	M	SD	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Tag 1_pre	178.16	16.59	170.16	186.15	-0.44	0.35	p>0.05
Tag 1_post	196.63	18.34	187.79	205.47	0.54	-0.18	p>0.05
Tag 2_pre	207.16	21.90	196.60	217.71	-0.43	-0.68	p>0.05
Tag 2_post	211.53	19.15	202.30	220.76	-0.08	0.04	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptiven Kennzahlen der richtigen Reaktionen, Gruppe 2.5 m

Z: Distanz 2.5 m							
CI (95%)							
	M	SD	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Tag 1_pre	186.47	16.66	178.44	194.51	0.08	-0.63	p>0.05
Tag 1_post	200.68	17.83	192.09	209.28	-0.31	-0.74	p>0.05
Tag 2_pre	213.79	20.84	203.75	223.83	-0.17	-0.44	p>0.05
Tag 2_post	222.95	26.01	210.41	235.48	-0.16	-1.19	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Kennzahlen der zeitgerechten Reaktionen*Deskriptiven Kennzahlen der zeitgerechten Reaktionen, Gruppe 0.7 m*

ZV: Distanz 0.7 m							
CI (95%)							
	M	SD	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Tag 1_pre	240.95	29.72	226.62	255.27	-0.49	-0.59	p>0.05
Tag 1_post	270.00	29.22	255.91	284.09	-0.33	-0.56	p>0.05
Tag 2_pre	286.58	32.20	271.06	302.10	-0.18	-1.80	p<0.05
Tag 2_post	211.53	19.15	202.30	220.76	-0.08	0.04	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

 Deskriptiven Kennzahlen der zeitgerechten Reaktionen, Gruppe 2.5 m

ZV: Distanz 2.5 m

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Tag 1_pre	259.47	22.30	248.73	270.22	0.19	-1.42	p>0.05
Tag 1_post	272.74	27.13	259.66	283.12	-0.20	-0.84	p>0.05
Tag 2_pre	286.74	31.76	271.43	302.04	-0.68	0.36	p>0.05
Tag 2_post	222.95	26.01	210.41	235.48	-0.16	-1.19	p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Anhang VI Deskriptive Statistik Studie 2

Fragebogen nach Hoffman et al. 2008

Deskriptiven Kennwerte des Symptom- und Beschwerdefragebogen nach Hoffman et al. (2008), Studie 2

		Müdigkeit der Augen						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Woche 1	Tag 1	1.58	0.90	1.01	2.16	1.05	-0.91	p<0.05
	Tag 2	1.75	0.97	1.14	2.36	0.59	-1.86	p<0.05
Woche 2	Tag 1	1.75	0.97	1.14	2.36	0.59	-1.86	p<0.05
	Tag 2	2.08	1.08	1.39	2.77	0.32	-1.38	p<0.05
Woche 3	Tag 1	1.66	1.15	0.93	2.40	1.63	1.36	p<0.05
	Tag 2	2.00	0.95	1.39	2.61	0.00	2.13	p<0.05
Woche 4	Tag 1	1.92	0.90	1.34	2.49	0.99	-0.02	p<0.05
	Tag 2	1.83	1.03	1.18	2.49	0.99	-0.02	p<0.05
Woche 5	Tag 1	1.58	0.79	1.08	2.09	0.99	-0.02	p<0.05
	Tag 2	1.83	1.03	1.18	2.49	0.99	-0.35	p<0.05
Woche 6	Tag 1	1.58	0.79	1.08	2.09	0.99	-0.46	p<0.05
	Tag 2	1.58	0.90	1.01	2.16	1.05	-0.91	p<0.05

		Beeinträchtigung der Sicht						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Woche 1	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.50	0.90	0.93	2.07	1.33	-0.33	p<0.05
Woche 2	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.50	0.90	0.93	2.07	1.33	-0.33	p<0.05
Woche 3	Tag 1	1.50	1.17	0.76	2.24	2.06	2.64	p<0.05
	Tag 2	1.42	1.00	0.78	2.05	2.26	4.15	p<0.05
Woche 4	Tag 1	1.33	0.78	0.84	1.83	2.06	2.64	p<0.05
	Tag 2	1.33	0.78	0.84	1.83	2.06	2.64	p<0.05
Woche 5	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
Woche 6	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05

Irritation der Augen

		CI (95%)						
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Woche 1	Tag 1	1.58	1.08	0.89	2.27	1.54	0.90	p<0.05
	Tag 2	1.91	1.44	1.00	2.83	1.26	0.24	p<0.05
Woche 2	Tag 1	1.58	1.08	0.89	2.27	1.54	0.90	p<0.05
	Tag 2	1.50	0.90	0.93	2.07	1.33	-0.33	p<0.05
Woche 3	Tag 1	1.67	0.98	1.04	2.29	0.81	-1.65	p<0.05
	Tag 2	1.75	1.14	1.03	2.47	1.03	-0.70	p<0.05
Woche 4	Tag 1	1.58	1.08	0.89	2.27	1.54	0.90	p<0.05
	Tag 2	1.58	1.08	0.89	2.27	1.54	0.90	p<0.05
Woche 5	Tag 1	1.67	0.98	1.04	2.29	0.81	-1.65	p<0.05
	Tag 2	1.50	0.90	0.93	2.07	1.33	-0.33	p<0.05
Woche 6	Tag 1	1.33	0.78	0.84	1.83	2.06	2.64	p<0.05
	Tag 2	1.75	1.14	1.03	2.47	1.03	-0.70	p<0.05

Kopfschmerzen

		CI (95%)						
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Woche 1	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.50	0.90	0.93	2.07	1.33	-0.33	p<0.05
Woche 2	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.42	1.00	0.78	2.05	2.26	4.15	p<0.05
Woche 3	Tag 1	1.42	1.00	0.78	2.05	2.26	4.15	p<0.05
	Tag 2	1.42	1.00	0.78	2.05	2.26	4.15	p<0.05
Woche 4	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Woche 5	Tag 1	1.42	1.00	0.78	2.05	2.26	4.15	p<0.05
	Tag 2	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
Woche 6	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

		Übelkeit						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Woche 1	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.33	0.78	0.84	1.83	2.06	2.64	p<0.05
Woche 2	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Woche 3	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Woche 4	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Woche 5	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Woche 6	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
		Nackenschmerzen						
				CI (95%)				
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Woche 1	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
Woche 2	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
Woche 3	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
Woche 4	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Woche 5	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Woche 6	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

		Rückenschmerzen							
		CI (95%)							
		<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)	
Woche 1	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-	
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-	
Woche 2	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05	
	Tag 2	1.50	0.90	0.93	2.07	1.33	-0.33	p<0.05	
Woche 3	Tag 1	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05	
	Tag 2	1.25	0.87	0.70	1.80	3.46	12.00	p<0.05	
Woche 4	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-	
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-	
Woche 5	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-	
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-	
Woche 6	Tag 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-	
	Tag 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-	

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)

Deskriptiven Kennwerte Fragebogen VFQ Studie 2, n = 12

		M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
				UG	OG			
Ich habe trockene Augen	Pre	1.58	1.00	0.95	2.22	1.71	2.22	p<0.05
	Post	1.83	1.34	0.98	2.68	1.18	-0.58	p<0.05
Meine Augen tränen	Pre	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
	Post	1.50	1.00	0.86	2.14	1.96	3.02	p<0.05
Meine Augen sind gereizt und brennen	Pre	1.67	1.23	0.88	2.45	2.17	4.77	p<0.05
	Post	1.75	1.14	1.03	2.47	1.47	0.99	p<0.05
ich habe Schmerzen in meinen oder um die Augen	Pre	1.50	0.90	0.93	2.07	2.21	5.23	p<0.05
	Post	1.83	1.03	1.18	2.49	0.99	-0.02	p<0.05
Ich habe schwere Augen	Pre	2.33	0.98	1.71	2.96	-0.13	-0.98	p<0.05
	Post	1.83	1.03	1.18	2.49	0.99	-0.02	p<0.05
Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können	Pre	1.17	0.39	0.92	1.41	2.06	2.64	p<0.05
	Post	1.25	0.62	0.86	1.64	2.56	6.24	p<0.05
Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen	Pre	2.17	1.27	1.36	2.97	0.60	-1.37	p<0.05
	Post	1.50	1.17	0.76	2.24	2.06	2.64	p<0.05
Text springt vor meinen Augen hin und her	Pre	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
	Post	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Ich sehe Buchstaben oder Linien verschwommen	Pre	1.83	1.19	1.08	2.59	1.15	-0.20	p<0.05
	Post	1.50	1.17	0.76	2.24	2.06	2.64	p<0.05
Ich werde durch Lichter oder freie Flächen geblendet	Pre	1.75	1.06	1.08	2.42	1.15	0.13	p<0.05
	Post	1.33	0.89	0.77	1.90	2.95	8.89	p<0.05
Ich habe eine verschwommene Sicht	Pre	1.83	1.19	1.08	2.59	1.15	-0.20	p<0.05
	Post	1.50	1.17	0.76	2.24	2.06	2.64	p<0.05
Ich sehe Dinge doppelt	Pre	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
	Post	1.17	0.58	0.80	1.53	3.46	12.00	p<0.05
Ich habe Kopfschmerzen	Pre	1.58	1.08	2.27	2.27	1.54	0.90	p<0.05
	Post	1.50	1.17	0.76	2.24	2.06	2.64	p<0.05
Ich habe Nackenschmerzen	Pre	1.33	0.89	0.77	1.90	2.95	8.89	p<0.05
	Post	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Ich verspüre Übelkeit	Pre	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
	Post	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Ich verspüre geistige Ermüdung	Pre	2.17	1.03	1.51	2.82	0.81	-0.02	p<0.05
	Post	1.25	0.45	0.96	1.54	1.33	-0.33	p<0.05
Mein Gesicht ist schweißnass	Pre	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
	Post	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Eyetracking

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 1, Studie 2

VAC 1 – Diameter Pre/Post – linkes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	36.36/36.40	7.99/4.37	31.28/33.62	41.44/39.17	-0.23/0.13	-0.98/-0.39	p>0.05/p>0.05
t2	35.74/36.20	8.74/4.90	30.20/33.09	41.30/39.31	-0.14/0.19	-0.87/-0.99	p>0.05/p>0.05
t3	35.21/35.45	8.15/3.89	30.03/32.97	40.39/37.92	0.01/-0.42	-0.82/0.06	p>0.05/p>0.05
t4	34.45/35.06	7.56/4.87	29.65/31.97	39.26/38.16	-0.25/0.27	-0.58/-0.74	p>0.05/p>0.05
t5	33.42/33.93	6.84/5.20	29.07/30.62	37.77/37.23	0.18/0.63	0.46/-0.11	p>0.05 /p>0.05

Pre/Post – rechtes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	33.66/33.69	6.39/5.17	29.60/30.40	37.72/36.97	0.11/0.61	-1.35/-0.21	p>0.05/p>0.05
t2	33.20/33.53	7.84/5.62	28.22/29.97	38.18/37.10	0.38/0.36	-0.72/-0.65	p>0.05/p>0.05
t3	32.51/32.99	6.47/5.53	28.40/29.48	36.62/36.51	0.36/0.62	-1.34/0.85	p>0.05/p>0.05
t4	32.18/32.68	5.61/5.80	28.61/28.99	35.74/36.36	0.12/0.49	-0.94/0.17	p>0.05/p>0.05
t5	33.12/31.70	4.79/6.06	28.07/27.85	34.16/35.55	0.54/0.81	-0.02/0.95	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 2 und 3, Studie 2

VAC 2 – Diameter Pre/Post – linkes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	35.78/35.59	7.88/5.74	30.77/31.95	40.79/39.24	0.02/0.37	-1.00/-1.63	p>0.05/p>0.05
t2	37.38/35.53	8.03/5.59	32.28/31.97	42.49/39.08	0.11/0.75	-0.58/-0.86	p>0.05/p>0.05
t3	38.18/37.44	8.21/6.00	32.97/33.63	43.40/41.25	-0.27/-0.07	-1.10/-1.74	p>0.05/p>0.05
t4	36.97/37.88	7.67/5.17	32.10/34.59	41.84/41.16	-0.12/0.12	-1.12/-1.51	p>0.05/p>0.05
t5	37.48/36.96	7.68/6.61	32.60/32.97	42.36/41.16	-0.17/0.29	-1.35/-1.50	p>0.05 /p>0.05

Pre/Post – rechtes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	33.09/33.21	6.71/6.80	28.82/28.90	37.35/37.53	0.33/0.58	-1.48/-0.29	p>0.05/p>0.05
t2	34.81/34.89	7.59/6.64	29.99/30.67	39.63/39.11	0.43/0.59	-0.95/-0.83	p>0.05/p>0.05
t3	35.30/35.53	7.15/6.23	30.76/31.57	39.85/39.49	0.20/0.63	-1.45/-0.84	p>0.05/p>0.05
t4	34.88/34.54	7.25/6.49	30.27/30.41	39.48/38.66	0.06/0.84	-1.42/-0.10	p>0.05/p>0.05
t5	34.66/34.50	6.78/7.22	30.35/29.91	38.96/39.09	-0.07/0.88	-1.21/0.05	p>0.05 /p>0.05

VAC 3 – Diameter Pre/Post – linkes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	34.40/31.19	7.25/5.01	29.79/28.01	39.01/34.37	-0.63/0.40	-1.48/-1.59	p>0.05/p>0.05
t2	34.00/31.19	7.72/5.67	29.10/27.59	38.91/34.79	0.33/0.55	-0.74/-1.07	p>0.05/p>0.05
t3	34.31/31.95	8.32/5.80	29.02/28.27	39.60/35.64	0.35/0.34	-0.76/-1.43	p>0.05/p>0.05
t4	33.35/30.73	8.24/5.56	28.11/27.20	38.58/34.26	0.11/0.40	-0.91/-1.39	p>0.05/p>0.05
t5	33.00/30.84	8.30/5.84	27.73/27.13	38.27/34.55	0.15/0.50	-0.96/-0.88	p>0.05 /p>0.05

Pre/Post – rechtes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	30.55/28.67	5.83/5.78	26.85/25.00	34.26/32.34	0.03/0.69	-1.26/-0.98	p>0.05/p>0.05
t2	31.22/29.17	6.79/5.76	26.91/25.52	35.54/32.83	0.72/0.52	-0.89/-1.06	p>0.05/p>0.05
t3	32.16/29.88	5.96/6.01	28.37/26.06	35.95/33.70	0.78/0.16	-0.64/-1.37	p>0.05/p>0.05
t4	31.49/28.82	6.51/5.63	27.35/25.24	35.62/32.40	0.49/0.25	-1.00/-1.14	p>0.05/p>0.05
t5	31.62/28.88	6.45/5.82	27.53/25.88	35.72/32.58	0.84/0.28	-0.57/-0.95	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Deskriptiven Kennwerte Pupillendurchmesser, VAC 4, Studie 2

VAC 4 – Diameter Pre/Post – linkes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	35.18/34.18	8.77/5.28	29.61/30.82	40.76/37.53	-0.47/0.49	-0.65/-1.15	p>0.05/p>0.05
t2	35.37/34.92	9.32/5.10	29.45/31.68	41.29/38.16	-0.54/0.17	-0.22/-1.17	p>0.05/p>0.05
t3	34.93/34.16	9.78/5.03	28.71/30.96	41.14/37.36	-0.60/-0.04	0.03/-0.59	p>0.05/p>0.05
t4	34.97/34.60	9.90/5.09	28.68/31.30	41.26/37.95	-0.68/0.14	0.80/0.25	p>0.05/p>0.05
t5	35.05/34.62	9.60/5.23	28.31/31.30	41.79/37.95	-0.80/0.25	0.84/-0.49	p>0.05 /p>0.05

Pre/Post – rechtes Auge

	M	SD	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (K-W)
			UG	OG			
t1	34.04/31.59	5.74/5.93	30.39/27.82	37.68/35.36	0.46/0.50	-1.34/-0.73	p>0.05/p>0.05
t2	34.23/32.82	6.04/6.26	30.39/28.84	38.07/36.80	0.50/0.05	-1.15/-0.73	p>0.05/p>0.05
t3	34.31/32.42	6.22/5.76	30.36/28.76	38.26/36.08	0.24/-0.13	-1.42/0.35	p>0.05/p>0.05
t4	34.28/32.65	5.97/6.06	30.49/28.80	38.07/36.51	0.15/0.06	-1.43/0.14	p>0.05/p>0.05
t5	34.92/32.93	6.30/6.06	30.92/29.08	38.92/36.78	0.14/-0.02	-1.15/0.23	p>0.05 /p>0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

Anhang VII Deskriptive Statistik Studie 3

Visual Fatigue Questionnaire (Bangor, 2000)

Deskriptiven Kennwerte Fragebogen VFQ Studie 3, n = 12

Ich habe trockene Augen							
			CI (95%)				
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Messzeitpunkt 1	1.25	0.45	0.96	1.54	1.33	-0.33	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.58	0.99	1.95	3.22	1.71	2.23	p<0.05
Messzeitpunkt 3	2.83	1.27	2.03	3.64	1.01	-0.88	p<0.05

Meine Augen tränen							
			CI (95%)				
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Messzeitpunkt 1	1.08	0.29	0.99	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.17	0.83	1.64	2.70	0.77	1.15	p<0.05
Messzeitpunkt 3	2.50	1.24	1.71	3.29	0.85	-0.09	p<0.05

Meine Augen sind gereizt und brennen							
			CI (95%)				
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Messzeitpunkt 1	1.25	0.45	0.96	1.54	1.33	-0.33	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.67	0.98	2.04	3.29	1.50	1.70	p<0.05
Messzeitpunkt 3	3.00	1.21	2.23	3.77	0.75	-1.05	p<0.05

Ich habe Schmerzen in meinen oder um meine Augen							
			CI (95%)				
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Messzeitpunkt 1	1.33	0.49	1.02	1.65	0.81	-1.65	p<0.05
Messzeitpunkt 2	1.67	0.89	1.10	2.23	1.73	3.81	p<0.05
Messzeitpunkt 3	1.83	1.19	1.08	2.59	1.92	4.15	p<0.05

Ich habe schwere Augen							
			CI (95%)				
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Messzeitpunkt 1	1.33	0.49	1.02	1.65	0.81	-1.65	p<0.05
Messzeitpunkt 2	3.33	0.98	2.71	3.96	-0.13	-0.98	p>0.05
Messzeitpunkt 3	3.92	1.31	3.08	4.75	-0.69	-1.40	p<0.05

Ich habe Schwierigkeiten Linien folgen zu können							
			CI (95%)				
	<i>M</i>	<i>SD</i>	UG	OG	Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
Messzeitpunkt 1	1.17	0.39	0.92	1.41	2.06	2.64	p<0.05
Messzeitpunkt 2	1.75	0.87	1.20	2.30	0.67	-1.45	p<0.05
Messzeitpunkt 3	1.92	1.16	1.18	2.66	1.02	-0.32	p<0.05

Ich habe Schwierigkeiten scharf zu sehen

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.50	0.52	1.17	1.83	0.00	-2.44	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.50	1.45	1.58	3.42	0.87	-0.47	p<0.05
Messzeitpunkt 3	2.67	1.61	1.64	3.69	0.65	-1.34	p<0.05

Text springt vor meinen Augen hin und her

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 2	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 3	1.25	0.45	0.96	1.54	1.33	-0.33	p<0.05

Ich sehe Buchstaben oder Linien verschwommen

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.33	0.49	0.96	1.54	1.33	-0.33	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.33	1.50	1.38	3.28	0.68	-1.23	p<0.05
Messzeitpunkt 3	2.67	1.83	1.51	3.83	0.49	-1.80	p<0.05

Ich werde durch Lichter oder freie Flächen geblendet

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.25	0.45	0.96	1.54	1.33	-0.33	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.75	1.06	2.08	3.42	1.15	0.23	p<0.05
Messzeitpunkt 3	3.08	1.38	2.21	3.96	0.57	-1.79	p<0.05

Ich habe eine verschwommene Sicht

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.33	0.49	1.02	1.65	0.81	-1.65	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.83	1.19	2.08	3.59	1.15	-0.20	p<0.05
Messzeitpunkt 3	3.08	1.38	2.21	3.96	0.57	-1.79	p<0.05

Ich sehe Dinge doppelt

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.08	0.29	1.90	2.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 3	2.17	0.58	1.80	2.53	3.46	12.00	p<0.05

Ich habe Kopfschmerzen

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.92	1.00	2.28	3.55	0.85	-0.01	p<0.05
Messzeitpunkt 3	3.42	1.08	2.73	4.11	-0.01	-1.15	p>0.05

Ich habe Nackenschmerzen

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.17	0.39	0.92	1.41	2.06	2.64	p<0.05
Messzeitpunkt 2	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 3	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05

Ich verspüre Übelkeit

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Messzeitpunkt 2	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-
Messzeitpunkt 3	1.00	0.00	1.00	1.00	-	-	-

Ich verspüre geistige Ermüdung

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.67	0.49	1.35	1.98	-0.81	-1.65	p<0.05
Messzeitpunkt 2	2.92	0.67	2.49	3.34	0.09	-0.19	p<0.05
Messzeitpunkt 3	3.67	1.07	2.98	4.35	-0.79	-0.52	p<0.05

Mein Gesicht ist schweißnass

	<i>M</i>	<i>SD</i>	CI (95%)		Schiefe	Kurtosis	NV (S-W)
			UG	OG			
Messzeitpunkt 1	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 2	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05
Messzeitpunkt 3	1.08	0.29	0.90	1.27	3.46	12.00	p<0.05

CI (95%) = 95%iges Konfidenzintervall mit Unter- (UG) und Obergrenze (OG). NV (S-W) = Normalverteilung nach Shapiro-Wilk

CURRICULUM VITAE

Eva Bartaguiz

Adresse: Erwin-Schrödinger-Straße 57/532
67663 Kaiserslautern

Telefon: +49 631 205 5122
E-Mail: eva.bartaguiz@rptu.de



Vita	
seit 2021	Promotion zum Thema „Einfluss des Vergence-Accommodation-Conflicts auf die Augen, das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit“
seit 2022	Projektkoordination des ESF+ geförderten Projekts „Berufsbegleitender Masterstudiengang Sport, Gesundheit, Technologie und Gesundheit“
seit 2021	Co-Leitung Labor IV: Leistungsdiagnostik
2022 bis 2023	Vertreterin der Promovierenden des Fachbereichs Sozialwissenschaften an der RPTU am Standort Kaiserslautern
2020 bis 2023	Verantwortliche wissenschaftliche Mitarbeiterin in dem U.EDU-Projekt „Health.Holo.Lab“
2019 bis 2020	Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Deubel Balance GmbH in Neunkirchen
2017 bis 2020	Masterstudium Sportwissenschaft an der Universität des Saarlandes mit den Abschlüssen M.Sc. Leistungssport und M.Sc. Bewegungs- und Sporttherapie
2015 bis 2018	Bachelorstudium Sportwissenschaft an der Universität des Saarlandes mit dem Abschluss B.A. Sportwissenschaft

Herausgeberwerke	
2024	Dindorf, C., Bartaguiz, E., Gassmann, F., & Fröhlich, M. <i>AI in Sports, Movement and Health</i> . Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67256-9
2023	Dindorf, C., Bartaguiz, E., Gassmann, F. & Fröhlich, M. (2023). <i>Künstliche Intelligenz in Sport und Sportwissenschaft: Potenziale, Herausforderungen und Limitationen</i> . Springer Spektrum Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-67419-2

Peer-Reviewed Journal Artikel	
2024	Simon, S., Dully, J., Dindorf, C., Bartaguiz, E., Becker, S., & Fröhlich, M. (2024). <i>Impact of Fatigue on Ergonomic Risk Scores and Foot Kinetics: A Field Study Employing Inertial and In-Shoe Plantar Pressure Measurement Devices</i> . <i>Sensors</i> , 24(4), 1175.

	Dindorf, C., Weisenburger, F., Bartaguiz, E., Dully, J., Klappenberger, L., Lang, V., ... & Seibert, J. N. (2024). <i>Exploring Decision-Making Competence in Sugar-Substitute Choices: A Cross-Disciplinary Investigation among Chemistry and Sports and Health Students</i> . <i>Education Sciences</i> , 14(5), 531.
	Simon, S., Dully, J., Dindorf, C., Bartaguiz, E., Walle, O., Roschlock-Sachs, I. & Fröhlich, M. (2024). <i>Inertial motion capturing in ergonomic workplace analysis: Assessing the correlation between RULA, upper-body posture deviations and musculoskeletal discomfort</i> . <i>Safety</i> , 10 (1), 16. doi:10.3390/safety10010016
2023	Bartaguiz, E., Dindorf, C., Dully, J., Becker, S. & Fröhlich, M. (2023). Effects of increasing physical load and fatigue on the biomechanics of elite cyclists. <i>Scientific Journal of Sport and Performance</i> , 2(1), 59-69.
	Bartaguiz, E., Dindorf, C., Janowicz, E., Fröhlich, M., & Ludwig, O. (2023). Effects of asymmetric trunk muscle fatigue on pelvic inclination and rotation. <i>Scientific Journal of Sport and Performance</i> , 2(2), 177-185. DOI: 10.55860/FVNL6076
	Becker, S., Simon, S., Dindorf, C., Dully, J., Bartaguiz, E., Schmitz, L., Kothe, N., Fröhlich, M. & Ludwig, O. (2023). Fatigue as a key factor for testing knee stability with single leg drop landing for injury prevention and return to play tests. <i>Frontiers in Sports and Active Living</i> , 5, 1-8
	Dindorf, C., Thomas, A., Bartaguiz, E., Sprenger, M. & Fröhlich, M. (2023). Betrachtung des psychischen Wohlbefindens vor, während und nach einer Kletterexkursion im hochschulischen Ausbildungskontext. <i>Zeitschrift für Studium und Lehre in der Sportwissenschaft</i> , 6(2), 21-28.
	Dindorf, C., Bartaguiz, E., Dully, J., Sprenger, M., Becker, S., Fröhlich, M., & Ludwig, O. (2023). In vivo monitoring of acute and intermittent fatigue in sport climbing using near-infrared spectroscopy wearable biosensors. <i>Sports</i> , 11(2), 37.
	Dindorf, C., Bartaguiz, E., Gassmann, F. & Fröhlich, M. (2023). Conceptual structure and current trends in artificial intelligence, machine learning, and deep learning research in sports: A bibliometric review. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , 20 (1), 173.
2022	Dindorf, C., Bartaguiz, E., Dully, J., Sprenger, M., Merk, A., Becker, S., Ludwig, O. & Fröhlich, M. (2022). Evaluation of Influencing Factors on the Maximum Climbing Specific Holting Time: An inferential Statics and Machine Learning Approach, <i>Journal of Functional Morphology and Kinesiology</i> , 7, 95, 1-10.
	Dindorf, C., Bartaguiz, E., Gassmann, F., & Fröhlich, M. (2022). Conceptual structure and current trends in artificial intelligence, machine learning, and deep learning research in sports: a bibliometric review. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , 20(1), 173.
	Dindorf, C., Bartaguiz, E., Janowicz, E., Fröhlich, M., & Ludwig, O. (2022). <i>Effects of Unilateral Muscle Fatigue on Thermographic Skin Surface Temperature of Back and Abdominal Muscles—A Pilot Study</i> . <i>Sports</i> , 10(3), 41.
	Obentheuer, M., Harant, M., Bartaguiz, E., Dindorf, C., Linn, J. & Fröhlich, M. (2022). Muscle Torque Generators for Digital Human Model Control – Measurement Protocol for data acquisition. <i>27th Congress of the European Society of Biomechanics</i> : Porto

2021	Dindorf, C., Konradi, J., Wolf, C., Taetz, B., Bleser, G., Huthwelker, J., Werthmann, F., Bartaguiz, E., Kniepert, J., Drees, P., Betz, U., & Fröhlich, M. (2021). Classification and Automated Interpretation of Spinal Posture Data Using a Pathology-Independent Classifier and Explainable Artificial Intelligence (XAI). <i>Sensors</i> , 21(18), 1–18. https://doi.org/10.3390/s21186323
------	--

Abstracts (mit Peer Review-Verfahren)	
2022	Bartaguiz, E., Mukhametov, S., Dindorf, C., Ludwig, O., Kuhn, J. & Fröhlich, M. (2022). Influence of the vergence-accommodation-conflict by using HMDs with augmented reality for sport and exercises – First results. In D. Krumm, S. Schwanitz & S. Odenwald (Hrsg.), <i>spinfortec 2022. Tagungsband zum 14. Symposium der Sektion Sportinformatik und Sporttechnologie der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft</i> (pp. 77-80). Universitätsverlag Technische Universität Chemnitz
2021	Obentheuer, M., Harant, M., Bartaguiz, E., Dindorf, C., Linn, J. & Fröhlich, M. (2022). Muscle Torque Generators for Digital Human Model Control – Measurement Protocol for data acquisition. <i>27th Congress of the European Society of Biomechanics: Porto</i>
	Dindorf, C., Konradi, J., Wolf, C., Taetz, B., Bleser, G., Huthwelker, J., Werthmann, F., Bartaguiz, E., Drees, P., Betz, U., & Fröhlich, M. (2021). Visualization of interindividual differences in spinal dynamics in the presence of intraindividual variabilities. In C. Gillmann, J. Schmidt, S. Jänicke & D. Wiegrefe (Hrsg.), <i>LEVIA'22: Leipzig Symposium on Visualization in Applications 2022</i> . Universität Leipzig.
	Bartaguiz, E., Ludwig, O. Mukhametov, S., Kuhn, J., Fröhlich, M. (2021) <i>Vergence-Accommodation-Conflict in Augmented Reality Szenarien Untersuchung zum Einfluss des Vergence-Accommodation-Conflicts auf die Vergenz, das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit von Studierenden des Studiengangs Lehramt BBS Gesundheit</i> . Goethe Universität Frankfurt

Konferenzen, wissenschaftliche und eingeladene Vorträge	
2024	Dindorf, C. & Bartaguiz, E., (20. März 2024). <i>Intelligente Technologien im Sport – KI als Game-Changer?!</i> . Sportbund Pfalz, Kaiserslautern
2023	Zimmermann, L., Seibert, J., Weisenburger, F., Dindorf, C., Bartaguiz, E., Fröhlich, M. <i>Sportistry -Ernährung und Energiebereitstellung interdisziplinär begreifen</i> . (September 2023). WiFo 2023. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.23892.58243
	Dully, J. Bartaguiz, E., Dindorf, C., & Fröhlich, M. Implementierungsphase (26.-28. April 2023). <i>Digitalisierung und Künstliche Intelligenz bei Sportstudierenden vermitteln. Erste Ergebnisse der Implementierungsphase</i> . University: Future Festival 2023. Berlin.
	Dindorf, C. & Bartaguiz, E., (22. März 2023). <i>Ausdauerparameter – Leistungsdiagnostik für jedermann</i> . Sportbund Pfalz, Kaiserslautern.
2021	Bartaguiz, E. & Dindorf, C. (4. November 2021-5. November 2021). <i>Aktuelle Entwicklungen in der radsportspezifischen Leistungsdiagnostik. Implikationen für die Praxis</i> . Radsportverband Rheinland-Pfalz, Kaiserslautern.
2022	Bartaguiz, E., Janowicz, E., Dindorf, C., Ludwig, O. & Fröhlich, M., (Oktober 2022). Lehr-Lern-Labore in Sport und Gesundheit. Conference: <i>Digitalisierung in der Lehrer:innenbildung – Corona als Katalysator?</i> . Mainz

I'm excited about augmented reality because unlike virtual reality, which closes the world out, AR allows individuals to be present in the world but hopefully allows improvement on what's happening presently.

-Tim Cook