Hochschule Aalen

Zugelassene Abschlussarbeit
des Studiengangs Augenoptik/Optometrie
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (B.Sc.)

Vergleich von vier Methoden zur Eingabe von Landoltring-Lückenpositionen im Hinblick auf Validität, Retest-Ergebnisse, Untersuchungs-dauer und Probandenzufriedenheit

Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, modifizierte Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung

Vorgelegt von

Ronja Granz

Matrikelnummer 65149

Tag der Einreichung

23. Juni 2020

Prüfer: Prof. Dr. med. Ulrich Schiefer

Zweitprüferin: Judith Ungewiß, M.sc. Augenoptik & Psychophysik

Zusammenfassung

Ziel: Vergleich der Validität von vier Methoden zur Eingabe von Landoltring-Lückenpositionen. Sekundäre Zielgrößen: Retest-Ergebnisse, Untersuchungsdauer, Probandenzufriedenheit.

Methoden: Jede Versuchsperson absolvierte monokular vier Eingabemethoden (Randomisierung bzgl. Testsequenz und Führungsauge): Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter (Prototyp), modifizierte Fernbedienung (8-in-1 Universal-Fernbedienung, PEARL, Buggingen/D), sprachliche Rückmeldung. Für jede Eingabemodalität erfolgten zwei Testdurchläufe mit je 16 größenkonstanten, um zehn Visusstufen (dB) überschwellig dargebotenen Landoltringen, die mit einer modifizierten Version des FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test, Version 3.10.4, Prof. Michael Bach, Universitätsklinikum Freiburg/D) in standardisierter Form auf einem 5 m entfernten Laptopbildschirm (Acer Aspire A515-51G, Bildschirmauflösung 1366x768 Pixel, Taipeh/TWN) dargestellt wurden. Die Testzeichenleuchtdichte betrug 2,6 cd/m^2, die Leuchtdichte des Prüffeldes 200 cd/m^2 (Luminance Meter LS-160, Konica Minolta, Marunouchi/JPN), die Raum-Beleuchtungsstärke 230-250 lx (Digital Lux Meter 5025, PeakTech, Ahrensburg/D). Als Maß für die Validität der Eingabemethoden diente der prozentuale Anteil der korrekt eingegebenen Lückenpositionen an der Gesamtzahl der Darbietungen. Die Untersuchungsdauer wurde mittels eines Smartphones registriert (P Smart 2019, Huawei, Shenzhen/CHN). Im Anschluss kam ein 4-Punkte-Evaluationsbogen unter Verwendung von *visual analogue scales* (Bereich: 0-100) zum Einsatz. Sämtliche nachfolgenden Ergebnisse sind als Median/Interquartilsabstand (IQR) dargestellt. Ergänzend wurde der Quade-Test unter Verwendung der proprietären Statistiksoftware GNU R (R i386 3.5.3, Ross Ihaka und Robert Gentleman, Universität Auckland, NZL) durchgeführt. Es erfolgte eine Korrektur für multiples Testen nach Bonferroni.

Ergebnisse: Im Rahmen dieser Pilotstudie wurden fünf Versuchspersonen im Alter von 21/9 J. untersucht. Die Sehschärfe der untersuchten Augen lag bei 1,7/0,8. Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik in Bezug auf die Validität (Anteil der korrekten Antworten), Retest-Ergebnisse, Untersuchungsdauer und Probandenzufriedenheit sind in *Tabelle 1* dargestellt.

Tabelle 1: *Ergebnisdarstellung der ermittelten Zielgrößen aller Eingabemethoden. Die Ergebnisse sind als Median/Interquartilsabstand (IQR) dargestellt*

Zielgrößen	**Modifizierter Nummernblock**	**8-Wege-Wippschalter**	**Modifizierte Fernbedienung**	**Sprachliche Rückmeldung**
Validität	100,0/0,0	93,8/9,4	100,0/0,0	100,0/0,0
Retest-Ergebnisse	100,0/3,1	100,0/9,4	100,0/3,1	100,0/0,0
Untersuchungsdauer [s]	21,0/5,0	24,0/10,0	29,0/7,0	35,0/7,5
Durchschnittliche Probandenzufriedenheit (Maximum 100 Punkte)	76,9/37,3	73,6/27,4	68,8/19,9	75,5/37,0

Gemäß des Quade-Tests konnte ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Untersuchungsdauer im 1. Testdurchlauf ermittelt werden (Diskrepanz zwischen dem modifizierten Nummernblock und der sprachlichen Rückmeldung und Ungleichheit zwischen dem 8-Wege-Wippschalter und der sprachlichen Rückmeldung mit $p < .003$).Der kritische p-

Wert (p_{krit} = .033) ist mit 15 durchgeführten Tests Bonferroni-korrigiert. Für alle anderen Zielgrößen ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Für deutlich überschwellige Optotypen lag die Validität bei allen Eingabemethoden hoch, diese schwankte zwischen 93,75/9,38 beim modifizierten Nummernblock und 100/0 bei den anderen drei Eingabemodalitäten im 1. Testdurchlauf. Die Retest-Ergebnisse waren den Ergebnissen des 1. Testdurchlaufs bei allen Eingabemodalitäten sehr ähnlich, die beiden Durchläufe unterschieden sich um maximal einen Eingabefehler pro Eingabemodalität. Die Untersuchungsdauer für die sprachliche Rückmeldung war mehr als 1,5 Mal länger als für den modifizierten Nummernblock. Die modifizierte Fernbedienung erreichte die geringste Probandenzufriedenheit.

Schlussfolgerung: Die vier Eingabemethoden unterscheiden sich hinsichtlich der Untersuchungsdauer auf einem Signifikanzniveau von α = 5 %, wodurch die Nullhypothese, dass sich die vier Eingabemodalitäten nicht unterscheiden, abgelehnt wird.

Für die Praxis ist es notwendig, die Eingabegeräte weiterzuentwickeln. Nach Abschluss der Optimierung stellen diese sicher eine bessere, und vor allem auch schnellere, Möglichkeit dar, die Landoltring-Lückenpositionen einzugeben. Insbesondere, wenn die Kunden/Patienten Schwierigkeiten haben, rechts und links zu unterscheiden, oder wenn sprachliche Hürden überwunden werden müssen.

Um die in dieser Studie erzielten Ergebnisse zu überprüfen, sind weitere, schwellennähere Untersuchungen mit höherer Fallzahl notwendig.

Schlüsselwörter: Psychophysik, Sehschärfe, Optotypen, Eingabemethode, Landoltring, Validität, Retest, Untersuchungsdauer, Evaluation

Abstract

Primary Objective: To compare the validity of four methods for entering Landolt C gap positions. Secondary objectives: retest-results, duration of examination, subject satisfaction.

Methods: Each subject completed four input methods monocularly (randomization with respect to test sequence and leading eye): Modified numeric keypad, 8-positions rocker switch (prototype), modified TV remote control (8-in-1 universal remote control, PEARL, Buggingen/D), voice feedback. For each input method, two test runs were completed. In each test run 16 Landolt Cs, which didn't change in size and which were ten times larger than the size of the visual threshold of the subjects, were displayed. They were displayed in a modified version of FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test, Version 3.10.4, Prof. Michael Bach, University Clinical Center Freiburg/D) in a standardized way on a laptop screen (Acer Aspire A515-51G, screen resolution 1366x768 pixels, Taipei/TWN) with an observation distance of 5 m. The luminance of Landolt C was 2.6 cd/m^2, the test field luminance 200 cd/m^2 (Luminance Meter LS-160, Konica Minolta, Marunouchi/JPN), the room illuminance was 230-250 lx (Digital Lux Meter 5025, PeakTech, Ahrensburg/D). The percentage of correctly entered gap positions in relation to the total number of presentations served as the validity of the input methods. The duration of the examination was registered by using a smartphone (P Smart 2019, Huawei, Shenzhen/CHN). A 4-point evaluation sheet, using visual analogue scales (range: 0-100), was then used. All subsequent results are presented as median/interquartile range (IQR). In addition, the Quade test was conducted in the R programming language (R i386 3.5.3, Ross Ihaka and Robert Gentleman, University of Auckland, NZL). A correction for multiple testing according to Bonferroni was made.

Results: In this pilot study five subjects aged 21/9 years were examined. The visual acuity of the examined eyes was 1.7/0.8. The results of the descriptive statistics, related to the validity (percentage of correctly entered gap positions), retest-results, examination duration and subject satisfaction are shown in *Table 2*.

Table 2: *Results of the determined objectives of all four input methods. The results are displayed as median/interquartile range (IQR)*

Objectives	**Modified numeric keypad**	**8-positions rocker switch**	**Modified TV remote control**	**Voice feedback**
Validity	100,0/0,0	93,8/9,4	100,0/0,0	100,0/0,0
Retest-Results	100,0/3,1	100,0/9,4	100,0/3,1	100,0/0,0
Duration of examination [s]	21,0/5,0	24,0/10,0	29,0/7,0	35,0/7,5
Subject satisfaction on average (range 0-100)	76,9/37,3	73,6/27,4	68,8/19,9	75,5/37,0

The Quade test revealed a statistically significant difference in the duration of the examination in the first test run (dissimilarity between the modified numeric keypad and the voice feedback and inequality between the 8-positions rocker switch and the voice feedback with $p < .003$).

The critical p-value (p_{crit} = .033) is Bonferroni-corrected with 15 tests performed. For all other objectives no statistically, significant differences were found.

For clearly supra-threshold optotypes, validity was high for all input methods, ranging from 93.75/9.38 for the 8-positions rocker switch to 100/0 for the other three input methods in the first test run. The retest-results are very similar to the results of the first test run for all input methods. The two test runs differed by a maximum of one input error per input modality. The examination duration for voice feedback was more than 1.5 times as long as for the modified numeric keypad. The modified TV remote control achieved the lowest subject satisfaction.

In order to verify these results, further investigations with higher case numbers close to the threshold are necessary.

Conclusion: The four input modalities differed in terms of examination duration at a significance level of α = 5 %, thus rejecting the null hypothesis that the four input modalities do not differ.
For practical purposes it is necessary to further develop the input devices. After completion of the optimization, these will certainly provide a better, and above all a faster, way of entering the Landolt C gap positions. Especially when customers/patients have difficulty distinguishing right from left, or when language barriers must be overcome.

Keywords: psychophysics, visual acuity, optotypes, input method, Landolt C, validity, retest, examination duration, evaluation

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine andere als die angegebene Literatur benutzt habe. Alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehnenden Ausführungen meiner Arbeit sind besonders gekennzeichnet. Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, ohne deren Hilfe diese Bachelorthesis nicht zustande gekommen wäre.

Hierzu gehören Prof. Dr. med. Ulrich Schiefer und Judith Ungewiß, M.Sc.: Herzlichen Dank für Ihre umfangreiche Unterstützung und Betreuung während der gesamten Durchführung dieser Arbeit.

Vielen Dank an Tobias Frankenreiter, Tobias Hölzli und Prof. Dr. Peter Eichinger, Studiengang Mechatronik der Hochschule Aalen, für die Entwicklung der modifizierten Fernbedienung und des 8-Wege-Wippschalters.

Zusätzlich gebührt Prof. Dr. rer. nat. Michael Bach, Universitätsklinikum Freiburg, mein herzlicher Dank für die Bereitstellung des FrACT und die hiermit verbundene wertvolle Beratung.

Allen Versuchspersonen, die sich freiwillig bereit erklärt haben, an der Studie teilzunehmen, möchte ich ganz herzlich danken. Ohne euch, wäre die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Bei meinem Cousin Michael Granz möchte ich mich von Herzen für das sehr detaillierte Interview bezüglich der Infrarot-Signalübertragung bedanken.

Abschließend gilt mein besonderer Dank auch meinem Partner, Dominik Geiger, für die mentale und zielführende Unterstützung während der gesamten Zeit.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung I
Abstract III
Eidesstattliche Erklärung V
Danksagung VI
Inhaltsverzeichnis VII
Verzeichnis der Abkürzungen X
Verzeichnis der Abbildungen XII
Verzeichnis der Tabellen XV
1. Einleitung 1
1.1 Motivation/Ausgangssituation 1
1.2 Aufbau der Arbeit 2
1.3 Stand der Forschung und Technik 2
1.4 Ziele der Arbeit 2
2. Theoretischer Hintergrund 4
2.1 Arten der Sehschärfe 4
2.2 Methoden der Sehschärfebestimmung 5
2.3 Bestimmung von psychophysischen Schwellen 10
2.4 Bedeutung der Visusbestimmung für Gutachterzwecke 12
2.5 Der Landoltring - ein international anerkanntes Normsehzeichen 12
3. Probanden und Methoden 14
3.1 Probanden – Ein- und Ausschlusskriterien 14
3.2 Technische Ausstattung/Versuchsaufbau 15
3.3 Durchführung 21
3.4 Datenauswertung/statistische Analyse 22
3.5 Verwendete Programme und Richtlinien zur Erstellung und Formatierung 25
3.6 Einhaltung ethischer Richtlinien 25
3.7 Offenlegung des Versuchsplans und der Ergebnisse 26
4. Ergebnisse: 27
4.1 Probanden 27
4.2 Versuchsdurchführung 27
4.3 Zusammenfassung aller ermittelten Zielgrößen 27
4.4 Primäre Zielgröße: Validität 29
4.5 Sekundäre Zielgröße: Retest-Ergebnisse 31

4.6 Sekundäre Zielgröße: Gesamtuntersuchungsdauer ... 32
4.7 Sekundäre Zielgröße: Probandenzufriedenheit ... 35
5. Diskussion ... 39
5.1 Richtungsschwächen ... 39
5.2 Versuchsaufbau/allgemeine Durchführung ... 40
5.3 Klinische Relevanz ... 40
5.4 Validität ... 47
5.5 Retest-Ergebnisse vs. Retest-Reliabilität ... 48
5.6 Gesamtuntersuchungsdauer ... 50
5.7 Probandenzufriedenheit: ... 51
5.8 Statistische Auswertung/Datenanalyse ... 51
6. Schlussfolgerung ... 54
7. Ausblick ... 54
8. Quellen ... 56
9. Anhang ... 62
Anhang 1: Studiensynopsis ... 62
Anhang 2: Ethikantrag bei der Landesärztekammer Baden-Württemberg ... 65
Anhang 2.1: Bestätigung Landesärztekammer Baden-Württemberg ... 65
Anhang 2.2: Probandenaufklärung ... 67
Anhang 2.3: Anamnesebogen ... 76
Anhang 2.4: Augenärztliche Untersuchung ... 78
Anhang 2.5: Begründung klinische Relevanz ... 81
Anhang 2.6: Fragebögen zur subjektiven Zufriedenheit ... 83
Anhang 3: Einreichung des Abstracts bei der DOG 2020 ... 87
Anhang 4: Ermittelte Werte aller Probanden ... 88
Anhang 4.1: Anamnese aller Probanden ... 88
Anhang 4.2: Augenärztliche Untersuchung aller Probanden ... 90
Anhang 4.3: Auswertung des FrACT aller Probanden ... 96
Anhang 5: Auswertungen mit JMP ... 98
Anhang 5.1: Verteilungen der Anzahl korrekter Antworten ... 98
Anhang 5.2: Verteilung der intraindividuellen Differenzen zwischen Test und Retest ... 100
Anhang 5.3: Verteilungen der Untersuchungsdauer ... 101
Anhang 5.4: Verteilungen der Probandenzufriedenheit ... 103
Anhang 5.5: Verteilung der Sehschärfe ... 107
Anhang 5.6: Verteilung des Alters ... 107

Anhang 6: Umrechnungstabelle Visus – Darzustellende Landoltringgrößen 108
Anhang 7:Lebenslauf..... 109

Verzeichnis der Abkürzungen

Einheiten:

cd/m^2	Candela pro Quadratmeter
cm	Zentimeter
dB	Dezibel
dpt	Dioptrie(n)
lx	Lux
m	Meter
s	Sekunden
°	Grad (Winkel)

Länder:

CH	China
D	Deutschland
F	Frankreich
JPN	Japan
NZL	Neuseeland
TWN	Taiwan

Literatur:

DIN EN ISO	Deutsches Institut für Normung, Europäische Norm, International Organization for Standardization, Herkunft: International Standardizing Organization (Bibliographisches Institut GmbH, 2020)
et al.	et alii/et aliae (= und andere)
e.V.	eingetragener Verein
ISCED	International Standard Classification of Education

Sonstiges:

APA	American Psychological Association
Best PEST	Best Parameter Estimation by Sequential Testing
COVID-19	Corona Virus Disease 2019
CRF	Case Report Form
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
Fa.	Firma
J.	Jahre

Statistik:

α	Signifikanzniveau/Irrtumswahrscheinlichkeit
IQR	Interquartilsabstand (engl. interquartile range)
n	Stichprobenumfang
p-Wert	Probability-Wert/Überschreitungswahrscheinlichkeit (Hagl, 2017)
Quade	Spannweitenrangtest von Quade

Technische Ausstattung:

FrACT	Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (Prof. Michael Bach, Universitätsklinikum Freiburg/D)
GNU	GNU's Not Unix (Betriebssystem)
JMP	Statistiksoftware
LED	Leuchtdiode (light emitting diode)
PC	Personal Computer
R	Proprietäre Statistiksoftware GNU R (Programmiersprache)
USB	Universal Serial Bus

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Relative Erkennbarkeit der verschiedenen Optotypen. In Abbildung 1a sind die relativen Erkennbarkeiten der Landoltringe in den 8 möglichen Orientierungen aufgetragen (R=Rechts, O=Oben usw.). Abbildung 1b zeigt die relativen Erkennbarkeiten der untersuchten Buchstaben und Abbildung 1c die relativen Erkennbarkeiten aller Ziffern. Eine Abweichung nach oben zeigt, dass die jeweiligen Optotypen leichter erkannt werden als der Mittelwert, eine Abweichung nach unten eine schwierigere Erkennung (W. Wesemann, 2002) (© W. Wesemann, 2002)..... 13

Abbildung 2: In dieser Abbildung werden die verschiedenen Eingabegeräte (2a-c), der allgemeine Versuchsaufbau (2e) sowie ein Sichtschutz zur Abdeckung der Geräte (2d) dargestellt. 15

Abbildung 3: Der Infrarotempfänger, welcher auf der Platine (schwarzes Bauteil auf der Box) platziert ist, empfängt die von der Fernbedienung ankommenden Infrarotsignale und leitet diese über die Leitungen (in der Abbildung blau) an den in der Box platzierten Microcontroller weiter. Dieser wertet die ankommenden Signale des Infrarotempfängers aus und gibt die ausgewerteten Daten als Hexadezimalcode an den Computer, welcher via USB-Port mit dem gesamten Bauteil verbunden ist, weiter..... 16

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Übertragung der Beispielzahl 49 als Binärcode. Der Abstand zwischen zwei gestrichelten Linien, entspricht zwei Zeitintervallen. Um eine Eins darzustellen, leuchtet die Leuchtdiode der Fernbedienung für ein Zeitintervall (dargestellt durch den roten Abschnitt), im zweiten Zeitintervall ist die Leuchtdiode aus. Der Infrarotempfänger empfängt diese Daten und gibt sie an den Microcontroller weiter, welcher diese Daten dann auswerten kann. Bei der Übertragung einer Null ist die Leuchtdiode im ersten Zeitintervall aus und im zweiten Zeitintervall ist sie an (© Granz, 2020) 16

Abbildung 5: Darstellung der Validität, d.h. des prozentualen Anteils der korrekten Lückenpositionsangaben im Verhältnis zur Gesamtzahl der Darbietungen. 5a) Veranschaulichung mittels Box-Whisker-Plots (die Boxplots wurden durch JMP Trial 15 erstellt, die restliche Grafik wurde durch Microsoft Word 365 bearbeitet) für Test (rot) und Retest (blau). Es werden die Ergebnisse aller Eingabemodalitäten von fünf Probanden ausgegeben. Unter den Boxplots stehen jeweils die dazugehörigen Ergebnisse der deskriptiven Statistik, das heißt die Mediane und Interquartilsabstände. Abbildung 5b) kann der grundlegende Aufbau eines Box-Whisker-Plots entnommen werden. Die Punkte stellen jeweils die Messwerte dar, d.h. den prozentualen Anteil der korrekt eingegebenen Lückenpositionen einer jeden Versuchsperson. Durch die Boxen werden das 1.Quartil, der Median und das 3. Quartil eingegrenzt. Die Verteilung der Werte, die kleiner als das 1. Quartil

sind, werden durch den unteren „Whisker“ gekennzeichnet, die Verteilung der Werte, die größer als das 3. Quartil sind, durch den oberen „Whisker“ (Bortz & Schuster, 2010). Der obere und der untere Whisker stellen den Maximal- bzw. den Minimalwert dar, sofern diese nicht mit dem 1. Und dem 3. Quartil zusammenfallen. Die Länge der Whisker wird demnach durch die Differenz zwischen dem ersten Quartil und dem Minimalwert bzw. dem dritten Quartil und dem Maximalwert bestimmt. Die p-Werte wurden über den Quade-Test in der Programmiersprache R (R i386 3.5.3) ermittelt. Der Bonferroni-korrigierte p-Wert beträgt .003 bei einem Signifikanzniveau von α=5 %. Im Kasten unten rechts können die ermittelten p-Werte, sowie der Bonferroni-korrigierte kritische p-Wert entnommen werden. Daraus lässt sich schließen, dass bezüglich des Anteils der korrekten Lückenpositionsangaben keine statistisch signifikanten Ergebnisse vorliegen 30

Abbildung 6: Darstellung der intraindividuellen Differenzen zwischen dem ersten und dem zweiten Durchlauf (Test vs. Retest). Jeder farbige Punkt stellt einen Probanden dar, d.h. jeder Proband wird durch genau eine Farbe dargestellt. Auf der Abszisse sind die Eingabemodalitäten dargestellt, auf der Ordinate die Differenzen zwischen Test und Retest in Prozent. Liegt die Differenz bei 0, lieferte der Proband im ersten und im zweiten Testdurchlauf dasselbe Ergebnis. Bei den Werten > 0 war beim ersten Testdurchlauf der prozentuale Anteil korrekter Lückenpositionen größer als im zweiten Testdurchlauf, bei den Werten < 0 ist es entsprechend umgekehrt. Die Boxplots wurden durch JMP erstellt, die grundlegende Grafik wurde durch Word bearbeitet. Eine Differenz von 6,3 % entspricht, bei 16 dargebotenen Landoltringen, lediglich einer einzigen Lückenpositionsangabe. Unterhalb der Boxplots ist jeweils der Median/IQR der Verteilung angegeben. Der Aufbau und die Erklärung eines Boxplots können Abbildung 5 und dessen Beschriftung entnommen werden 32

Abbildung 7: Darstellung der Untersuchungsdauer in Sekunden. 7a) Veranschaulichung mittels Box-Whisker-Plots (erstellt mit JMP Trial 15, modifiziert durch Microsoft Word 365) für Test (rot) und Retest (blau). Es werden die Ergebnisse aller Eingabemodalitäten von fünf Probanden ausgegeben. Unter den Boxplots stehen jeweils die dazugehörigen Ergebnisse der deskriptiven Statistik, das heißt die Mediane und Interquartilsabstände. Abbildung 7b) kann der grundlegende Aufbau eines Box-Whisker-Plots entnommen werden. Die Punkte stellen jeweils die Messwerte dar, d.h. die benötigte Gesamtuntersuchungsdauer in Sekunden pro Testdurchlauf, pro Gerät, einer jeden Versuchsperson. Abbildung 5 und dessen Legende kann eine genauere Erläuterung der Boxplots entnommen werden. Der Bonferroni-korrigierte p-Wert beträgt .003 bei einem Signifikanzniveau von α=5 %. Da nur der 1. Testdurchlauf einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Eingabemethoden ergab (p < .003), wurde nur hier der Quade „Post hoc“-Test in der Programmiersprache R durchgeführt. Daher sind

auch nur die p-Werte des ersten Testdurchlaufs zwischen jeweils zwei Eingabemodalitäten eingezeichnet, in fett markiert die beiden signifikanten Unterschiede 34

Abbildung 8: Darstellung der subjektiven Probandenzufriedenheit, untergliedert in Handhabung (a), Benutzerführung (b), Schwierigkeitsgrad (c), Veränderung (d) und Gesamtbewertung (e) als Box-Whisker-Plots. Der Aufbau und die Erklärung der Boxplots kann Abbildung 6 entnommen werden. Die Messwerte beziehen sich auf die Ergebnisse von fünf Probanden und wurden mittels Fragebogen und visual analogue scales ermittelt. Es liegen keine statistisch signifikanten Unterschiede vor, da alle P-Werte > .003 sind. Die Boxplots wurden mit JMP erstellt und mithilfe von Word bearbeitet 38

Abbildung 9: Begründung für die gewählte Überschwelligkeit von 10 Visusstufen [dB] durch die Darstellung von psychometrischen Funktionen. Auf der x-Achse sind die Visusstufen sowie der Logarithmus des Visus aufgetragen. Auf der y-Achse ist die prozentuale Trefferrate angegeben. Die Ratequote für Landoltringe mit 8 möglichen Lückenpositionen beträgt 12,5 %, weshalb an dieser Stelle eine zusätzliche Linie (untere grüne Linie) eingezeichnet ist. Die Visusschwelle stellt den steilsten Teil der psychometrischen Funktion dar und liegt bei 56,25 %. Diese errechnet sich aus (100 % - 12,5 %)/2+12,5 % (Bach, 1996). Auch diese ist als zusätzliche Linie (oberere grüne Linie) eingezeichnet. Auf der Höhe der Schwelle können die erreichten Visuswerte an der x-Achse abgelesen werden, welche durch die rechte blaue Linie und die rechte orangene Linie dargestellt sind. Hier liegt die Trefferrate bei 56,25 %. Wird der Visus nun um 10 Visusstufen vergrößert, resultieren daraus die Werte bei der linken blauen und der linken orangenen Linie. Hier liegt die Trefferrate bei 100 %, weshalb ausgeschlossen werden kann, dass die Landoltringe, welche 10 Visusstufen überschwellig dargestellt werden, nicht erkannt werden (in Anlehnung an https://www.uniklinik-freiburg.de/augenklinik/fpat/sehschaerfe.html, bearbeitet mithilfe von Microsoft Excel und Microsoft Word, Version Microsoft Office 365 ProPlus, Microsoft Corporation, Redmond, Washington/USA) 46

Abbildung 10: Links: Abbildung des in dieser Studie verwendeten Prototyps des 8-Wege-Wippschalters. Das Wippschalter-Element, welches zur Eingabe der Lückenpositionen verwendet wurde, ist bei diesem noch relativ locker angebracht, wodurch Verwacklungen nicht ausgeschlossen werden können. Rechts: Nachfolgermodell des 8-Wege-Wippschalters mit zusätzlichem mittigem Kreuz. Das Wippschalter-Element ist hier stabiler angebracht. Es ist jeweils nicht das gesamte Gerät zu sehen, sondern lediglich das Wippschalter-Element, d.h. der Tastenkopf (Bildausschnitt rechts: © Tobias Frankenreiter) 48

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Ergebnisdarstellung der ermittelten Zielgrößen aller Eingabemethoden. Die Ergebnisse sind als Median/Interquartilsabstand (IQR) dargestellt..... I

Table 2: Results of the determined objectives of all four input methods. The results are displayed as median/interquartile range (IQR) III

Tabelle 3: Darstellung von verschiedenen Sehzeichen (Buchstaben, Zahlen, Snellen-Haken, Landoltringen, Gitter- und Schachbrettmustern und Bildtafeln) anhand derer Vor- und Nachteile. Bei den Hintergrundinformationen werden die Bezüge zur Praxis hergestellt und notwendige theoretische Hintergrundinformationen gegeben..... 7

Tabelle 4: Ergebnisdarstellung aller ermittelten Zielgrößen (Validität von Test und Retest, Probandenzufriedenheit, Untersuchungsdauer von Test und Retest) aller getesteten Eingabemethoden (modifizierter Nummernblock, 8-Wege Wippschalter, modifizierte Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung). Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind als Median/Interquartilsabstand (IQR) dargestellt, die Ergebnisse der induktiven Statistik als p-Werte. Die angegebenen p-Werte wurden durch den Quade-Test in der Programmiersprache R (R i386 3.5.3) ermittelt. Die Werte resultierten aus den Messergebnissen von fünf Probanden. Das Signifikanzniveau beträgt 5 %, der Bonferroni-korrigierte p-Wert beträgt $p = .003$. Der einzige statistisch signifikante Unterschied ($p < .003$) zwischen den Eingabemodalitäten wurde grün markiert..... 28

Tabelle 5: Anzahl der Fehlangaben des ersten und zweiten Testdurchlaufs aller Eingabemodalitäten. Dargestellt ist jeweils die absolute Anzahl, sowie der prozentuale Anteil der Fehlangaben an der Gesamtzahl der Darbietungen. Für jeden Durchlauf und für jede Eingabemethode wurden 16 Landoltringe dargestellt..... 29

1. Einleitung

Dieses Kapitel soll dem Leser den Grund für die Durchführung dieser Studie vermitteln. Zusätzlich sollen unter anderem die Ausgangssituation sowie der aktuelle Stand der Forschung und Technik erläutert werden. Alle personenbezogenen Angaben wie Probanden, Untersucher etc. beziehen sich auf die männliche, die weibliche, sowie die diverse Geschlechterform. Der Übersichtlichkeit halber wird jeweils nur die männliche Form genannt.

1.1 Motivation/Ausgangssituation

„Die Sehschärfenbestimmung ist die häufigste und wichtigste Funktionsuntersuchung des Augenarztes. Denn die als Me[ss]wert dokumentierte Visusminderung liegt vielen therapeutischen Entscheidungen zugrunde, und eine Visusbesserung gilt als direktes quantitatives Maß für den Therapieerfolg“ (Petersen, 1993). Die Sehschärfe wird bestimmt und dokumentiert, um ophthalmologisch-augenoptische Veränderungen des Auges direkt feststellen zu können.

Bei der normgerechten Bestimmung der Sehschärfe sind als Testzeichen Landoltringe mit acht Lückenpositionen vorgeschrieben (Deutsches Institut für Normung e.V., 2018). Bei der konventionellen und bislang am häufigsten angewendeten Methode, teilt die Versuchsperson dem Untersucher verbal mit, in welcher der acht möglichen Richtungen sich die Landoltring-Lückenposition befindet. Diese Vorgehensweise ist nicht nur sehr zeitaufwendig, sondern auch recht fehleranfällig: Laut Umfragen und wissenschaftlicher Studien leiden 20 bis 30 % der Bevölkerung an einer Rechts-/Linksschwäche (Kramer, 2010). Diese Prävalenz konnte in weiteren Studien bestätigt werden: Elze führte Umfragen unter Akademikern allen Alters durch und kam zu dem Ergebnis, dass schätzungsweise jeder Fünfte bis Sechste Schwierigkeiten bei der Unterscheidung zwischen rechts und links hat oder zumindest in der Vergangenheit hatte (Elze, 1926). 1973 wurde eine große Studie mit Ärzten und deren Ehepartnern durchgeführt, bei welcher festgestellt wurde, dass ca. 9 % der Männer und ca.17 % der Frauen regelmäßig Schwierigkeiten mit den Begriffen „rechts“ und „links“ haben (Ocklenburg, 2019), zitiert nach (Wolf, 1973). In einer australischen Studie wurde herausgefunden, dass rund ein Drittel zumindest manchmal Schwierigkeiten haben, die Begriffe „rechts“ und „links“ auseinanderzuhalten (Ocklenburg, 2019), zitiert nach (McMonnies, 1990). In *Kapitel 5.1* wird nochmals ausführlich auf die Problematik der Richtungsschwächen eingegangen.

Des Weiteren stellen Sprachbarrieren eine beträchtliche Hürde dar. Rassow et al. äußerten sich hierzu wie folgt: „Den Vorteilen des Landolt-Ringes – gleiches Erkennbarkeitsdetail in allen acht Anbietungsrichtungen und geringe Richtungsabhängigkeit bei vollkorrigiertem Probanden – stehen aber auch erhebliche Nachteile gegenüber. So zeigte sich, […] [dass] der Test ohne eine genaue Erklärung oft nicht richtig verstanden wird und zahlreiche Probanden in der Prüfungssituation die Begriffe rechts und links verwechseln“ (Rassow et al., 1990). Derartige Störfaktoren haben einen erheblichen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis. Daher ist es sinnvoll, nach einer Eingabemethode für die Lückenposition des Landoltrings zu suchen, die möglichst fehlerfrei funktioniert, sich durch eine einfache Handhabung bei minimaler Untersuchungsdauer auszeichnet und keiner Sprachbarriere unterworfen ist.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit untergliedert sich in sieben grundlegende Kapitel: Nach diesem Einleitungsteil, welcher unter anderem den aktuellen Stand der Technik darstellt, werden im nächsten Kapitel theoretische Hintergrundinformationen gegeben. Die genaue Umsetzung und Durchführung dieser Studie sind in Kapitel drei erläutert. Kapitel vier stellt die Studienergebnisse dar, die in Kapitel fünf diskutiert und mit der vorliegenden Literatur verglichen werden. Im darauffolgenden Kapitel werden Schlussfolgerungen aus dieser Studie gezogen. Der letzte Gliederungspunkt dieser Arbeit beinhaltet Anregungen, wie – basierend auf dieser Studie – weiter verfahren werden kann. Im Anschluss folgen die Quellenangaben und der Anhang.

1.3 Stand der Forschung und Technik

Mit der Thematik, wie Landoltring-Lückenpositionen ohne Hindernisse wie Sprachbarrieren und Rechts-/Linksschwächen angegeben werden können, haben sich schon einige Forscher beschäftigt. In *Kapitel 5* werden die für diese Arbeit relevanten Teilergebnisse der folgenden Studien mit den Ergebnissen der in dieser Arbeit durchgeführten Studie verglichen und diskutiert. In *Kapitel 5 w*erden außerdem weitere relevante Informationen zu den folgenden Studien gegeben.

Menozzi et al. untersuchte an 30 Probanden die Präzision der Richtungsanzeige von sechs herkömmlichen computer-basierten Eingabegeräten: Ein Joystick, ein Gamepad, ein Trackball, zwei Touchpads und eine PC-Maus. Die Landoltring-Lückenpositionen wurden durch neun LED-Lichtanzeigen symbolisiert, eine LED-Anzeige wurde zentral platziert, die anderen acht LEDs waren kreisförmig, in 45°-Abständen, um die mittige LED herum angeordnet (Menozzi et al., 2016).

J. Mann verglich die Eingabe mittels eines modifizierten Nummernblocks, welcher auch in dieser Studie verwendet wurde, mit einer weiteren Eingabemethode, einem in 45°-Abständen einrastenden haptischen Landoltring mit tastbarer Lückenposition, jeweils unter Verwendung des FrACT (Mann, 2014).

I. Schöllhorn untersuchte Unterschiede zwischen dem im vorangehenden Absatz genannten haptischen Landoltring sowie dem modifizierten Nummernblocks, jeweils unter Verwendung des FrACT (Schöllhorn, 2014).

Reading und Weale untersuchten die Akzeptanz und selbständige Durchführung von Computer-basierten Sehtestgeräten im Vergleich zur Snellen Sehzeichentafel (Reading & Weale, 1993).

1.4 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Pilotstudie war es, die Validität (in Gestalt des prozentualen Anteils korrekt eingegebener Lückenpositionen an der Gesamtzahl der Darbietungen), die Retest-Ergebnisse, die benötigte Gesamtuntersuchungsdauer sowie die Probandenzufriedenheit in Bezug auf die vier verschiedenen Eingabemethoden zu ermitteln und zu vergleichen. In *Anhang 1* sind in der Studiensynopsis die Haupt- und Nebenziele dieser Arbeit sowie die Nullhypothesen aufgeführt.

Folgende Nullhypothesen wurden geprüft:

1. Die prozentualen Anteile der korrekten Antworten, im Verhältnis zu der Gesamtzahl der Darbietungen unterscheiden sich für die vier Eingabemethoden nicht.
2. Die Retest-Ergebnisse unterscheiden sich für die vier Eingabemethoden nicht.
3. Die vier Eingabemethoden unterscheiden sich hinsichtlich der Gesamtuntersuchungsdauer nicht.
4. Die vier Eingabemethoden unterscheiden sich hinsichtlich der Probandenzufriedenheit nicht.

Alle Nullhypothesen beziehen sich auf die folgenden vier Eingabemodalitäten: Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, modifizierte Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung.

Für jede Nullhypothese wird zuerst geprüft, ob sich mindestens eine der Eingabemethoden von mindestens einer anderen Eingabemethode bezüglich der getesteten Zielgröße unterscheidet. Resultiert bei diesem Vergleich ein signifikantes Ergebnis, „können multiple paarweise Vergleiche […] berechnet werden“ (Hedderich & Sachs, 2018), bei welchen immer zwei Eingabemodalitäten gegeneinander verglichen werden. Für diesen paarweisen Vergleich wird der Quade „Post hoc“-Test angewendet.

2. Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel werden Hintergrundinformationen zu den Arten der Sehschärfe, den Methoden der Sehschärfebestimmung, der Bestimmung von psychophysischen Schwellen, der Bedeutung der Visusbestimmung für Gutachterzwecke und zu dem international anerkannten Sehzeichen – dem Landoltring – gegeben. Dies hat den Hintergrund, dass die Eingabemethoden das Ziel haben, bei der Visusbestimmung eingesetzt zu werden.

2.1 Arten der Sehschärfe

„Der Begriff ‚Sehschärfe' bezeichnet ganz allgemein die Fähigkeit des Sehorgans, ‚scharf' zu sehen, das heißt, in einem gegebenen Objekt möglichst viele Einzelheiten zu erkennen" (Diepes, 2004). Es gibt viele verschiedene Arten der Sehschärfe, welche im Folgenden erläutert werden sollen:

1. Die Punktsehschärfe (auch bezeichnet als mininum visibile) gibt den kleinsten Gesichtswinkel an, unter dem ein Objekt erscheinen muss, damit es wahrgenommen werden kann. Die Form des Objektes muss dabei nicht zwingend erkannt werden. Bei der Wahrnehmung sehr kleiner Objekte ist die Sehschärfe nicht von der Größe des Abbildes auf der Netzhaut, sondern vom retinalen Beleuchtungsstärkenunterschied abhängig (Paliaga, 1993).

2. Die Auflösungssehschärfe (auch bezeichnet als minimum separabile) definiert sich durch den Kehrwert des minimalen Auflösungswinkels in Winkelminuten (Paliaga, 1993). Dieser stellt den „kleinste[n] Gesichtswinkel, unter dem zwei Punkte oder zwei Linien noch getrennt wahrgenommen werden können" (Paliaga, 1993), dar. Die Größe dieses Gesichtswinkels wird auch als minimaler Auflösungswinkel (MAW) oder Minimum Angle of Refusion (MAR) bezeichnet (Paliaga, 1993). Die sogenannte Gittersehschärfe, bei welcher getestet wird, „wie viele Linien pro Grad Sehwinkel ein Gitter als Objekt haben darf, damit die Richtung der Striche und nicht eine einheitlich graue Fläche wahrgenommen wird" (Diepes, 2004), ist ebenfalls ein Teilgebiet der Auflösungssehschärfe.

3. „Die Lokalisationssehschärfe wird durch die kleinste erkennbare Veränderung der räumlichen Beziehung zweier Objekte zueinander definiert" (Paliaga, 1993). Die Noniussehschärfe ist ein Teilgebiet der Lokalisationssehschärfe. Zur Ermittlung der Noniussehschärfe wird der Prüfling dazu aufgefordert, zwei Linien exakt übereinander zu positionieren. Andere Teilgebiete der Lokalisationssehschärfe beschreiben die Qualifikation, herauszufinden, ob zwei Objekte zueinander verschoben oder auch, ob zwei Linien zueinander parallel sind (Paliaga, 1993).

4. Die Erkennungssehschärfe definiert, im Gegensatz zur Punktsehschärfe, den kleinsten Gesichtswinkel, unter dem ein Objekt erscheinen muss, um nicht nur dessen Existenz, sondern auch dessen Form und Eigenschaften erkennen zu können. Sie hängt von denselben Faktoren ab, wie die Punkt-, die Auflösungs- und die Lokalisationssehschärfe (Paliaga, 1993). „Darüber hinaus spielen jedoch auch psychische Faktoren eine Rolle, etwa die Fähigkeit, Formen (z.B. Buchstaben, Zahlen, Gegenstände usw.) zu erkennen. Bei der Visusprüfung, die üblicherweise mittels Buchstaben, Zahlen oder anderer Figuren durchgeführt wird, bestimmt man also eine

Erkennungssehschärfe“ (Paliaga, 1993). Die in dieser Studie verwendeten Eingabemethoden sind zur Bestimmung der Erkennungssehschärfe vorgesehen.

5. Der Nahvisus wird vom Lesevisus (Minimum legibile) unterschieden. Der Unterschied liegt darin, dass es sich beim Nahvisus, wie beim Fernvisus auch, um einen Schwellenwert handelt, welcher die Erkennung von Optotypen beschreibt. Die verwendeten Optotypen sollten zur Vergleichbarkeit bei der Bestimmung des Nah- und Fernvisus mit denselben Optotypen in derselben Anordnung erhoben werden. Dagegen wird beim Lesevisus die Lesefähigkeit geprüft, d.h. die Leseprobe besteht aus Wortfolgen einer bestimmten Schriftart. Unterschiedliche Wortfolgen werden in unterschiedlichen Größen dargestellt. Ein großer Nachteil hierbei ist es, dass Buchstaben und Wörter allein aus dem Kontext erschlossen werden können. Dadurch dient diese Art der Sehschärfe lediglich der Kontrolle, ob der Patient Alltagssituationen wie das Lesen bewältigen kann (Dietze, 2015). „Das Lesen ist […] ein sehr komplexer Vorgang, bei dem der Formensinn und die Übung eine mindestens ebenso große Rolle spielen wie die eigentliche Sehschärfe“ (Diepes, 2004).

Weiterhin gibt es Unterschiede zwischen der Einzeloptotpyen- und der Reihenoptotypensehschärfe:

„Für benachbarte Optotypen einer Optotypenzeile ist das Auflösungsvermögen gegenüber einzeln dargebotenen Optotypen reduziert, abhängig vom Abstand der Optotypen zueinander“ (Dietze, 2015), zitiert nach (Simmers et al., 1999). Dieser Umstand wird auch als Crowding-Phänomen bezeichnet. Daher ist es wichtig, dass die Abstände zwischen den Buchstaben berücksichtigt werden, um vergleichbare Visusergebnisse zu erhalten (Dietze, 2015). Die ETDRS-Tafel und die Bailey-Lovie-Tafel erfüllen den normgerechten Abstand ab einer Visusstufe von 0,4 nicht mehr (Wesemann et al., 2020). „Durch den geringen Abstand tritt eine Konturinteraktion zwischen den eng beieinanderstehenden Sehzeichen auf. Besonders bei amblyopen Patienten beeinflusst dies die Erkennbarkeit und die gemessene Sehschärfe“ (Wesemann et al., 2020).

In dieser Studie wurden Einzeloptotypen verwendet, d.h., es wurde immer nur ein einziger Landoltring zeitgleich auf dem Bildschirm dargestellt. Dies hat den Hintergrund, dass es in dieser Studie um den Test und den Vergleich von Modalitäten zur Eingabe von Landoltring-Lückenpositionen handelt. In dieser Studie muss sichergestellt sein, dass die Optotypen zu 100 % richtig erkannt werden. Reihenoptotypen bringen hier keinen Mehrwert, sondern reduzieren sogar die Erkennbarkeit. Warum die Landoltringe zwingend richtig erkannt werden müssen, wird in *Kapitel 5.3* erläutert.

2.2 Methoden der Sehschärfebestimmung

Es gibt viele verschiedene Arten von Sehzeichen, welche sich in ihrer Form, ihrer Erkennbarkeit und ihrer Funktion unterscheiden. Die Sehzeichen werden allgemein zur Bestimmung der Sehschärfe herangezogen. In *Tabelle 3* sind die geläufigsten Optotypenarten mit ihren Vor- und Nachteilen aufgeführt. Weitere Sehzeichen, welche nicht explizit in *Tabelle 3* aufgeführt sind, sind beispielsweise reelle Objekte wie Kugeln unterschiedlicher Größe die verwendet werden können, um die Punktsehschärfe abzuschätzen (Paliaga, 1993). Weiterhin gibt es zum Beispiel lateinische Buchstaben Snellen‘scher Konstruktion, welche als

Serifenschrift in ein 5x5-elementiges Raster hinein konstruiert werden. Die Sehzeichen Snellen‘scher Konstruktion können auch als serifenlose Schrift dargestellt werden (Diepes, 2004). Zur Prüfung im Nahbereich können Lesetexte verwendet werden (Paliaga, 1993).

In dieser Studie wurden als Sehzeichen Landoltringe verwendet, da es sich hierbei um das Normsehzeichen handelt. Der Landoltring hat den großen Vorteil, dass er auch von Analphabeten oder Personen, welchen lateinische Buchstaben und Zahlen nicht geläufig sind, verwendet werden kann. Somit ist es bei allen Menschen möglich, eine Sehschärfenprüfung mit dem Landoltring durchzuführen. Außerdem bietet er eine nahezu gleiche Erkennbarkeit in allen acht möglichen Lückenpositionen, was durch kein anderes Sehzeichen gewährleistet wird. Genauere Erläuterungen hierzu sind in *Kapitel 2.5* aufgeführt

Tabelle 3: *Darstellung von verschiedenen Sehzeichen (Buchstaben, Zahlen, Snellen-Haken, Landoltringen, Gitter- und Schachbrettmustern und Bildtafeln) anhand derer Vor- und Nachteile. Bei den Hintergrundinformationen werden die Bezüge zur Praxis hergestellt und notwendige theoretische Hintergrundinformationen gegeben*

Sehzeichen	Hintergrundinformationen	Vorteile	Nachteile
Buchstaben	- In täglicher Praxis am gebräuchlichsten (Dietze, 2015) - Nur ausgewählte Buchstaben oder Symbole werden verwendet, da die Buchstaben mit gleicher Wahrscheinlichkeit erkannt werden sollen (Dietze, 2015). Diese werden als klinische Sehzeichen bezeichnet (Wesemann et al., 2020) - Es werden meistens Großbuchstaben verwendet (Paliaga, 1993) - Verwendung für die Bestimmung der Erkennungssehschärfe (Paliaga, 1993)	- Test muss kaum erklärt werden, weil die meisten Patienten das Alphabet beherrschen (Dietze, 2015) - Hohe Sensitivität, da Refraktionsfehler und Augenerkrankungen den Buchstabenvisus deutlich verschlechtern und somit schnell erkannt werden können (Dietze, 2015) - Die Ratewahrscheinlichkeit ist gegenüber anderer Sehzeichen geringer, da die Buchstaben genau identifiziert werden müssen, um diese korrekt benennen zu können (Dietze, 2015) - Es können die Buchstaben des Alphabets ausgewählt werden, die bezüglich der Erkennbarkeit relativ ähnlich sind (Wesemann, 2002)	- Große Streuungen bzgl. der Erkennbarkeit zwischen den einzelnen Buchstaben → nicht jeder Buchstabe wird gleich gut oder gleich schlecht erkannt (Wesemann, 2002) - Der Unterschied von Buchstabe zu Buchstabe variiert sehr stark zwischen den zu untersuchenden Personen: Für manche Menschen sind Buchstaben leicht zu erkennen, welche sich für andere als schwierig erweisen und umgekehrt. Daher kann die Erkennungsrate starken Schwankungen unterliegen (Paliaga, 1993) - Verwechslungshäufigkeit der Buchstaben untereinander → hat einen großen Einfluss auf das Ergebnis → werden Buchstaben häufig verwechselt, resultieren geringere Visuswerte als bei der Verwendung von Buchstaben, die weniger häufig verwechselt werden (Wesemann, 2002)
Zahlen	- Werden Ebenfalls für die Bestimmung der Erkennungssehschärfe verwendet (Paliaga, 1993)	- Sehr einfache Durchführung - Muss kaum erklärt werden	- Noch größere Streuungen bezüglich der Erkennbarkeit zwischen den einzelnen Zahlen als bei den Buchstaben (Wesemann, 2002) - „Da es nur zehn Ziffern gibt, ist es unmöglich, aus diesen zehn die Ähnlichsten auszuwählen, denn dann bleiben zu wenige Ziffern übrig“ (Wesemann, 2002)

Snellen-Haken	- Der Snellen-Haken ähnelt einem lateinischen E, welches in ein Quadrat hineinkonstruiert wurde (Dietze, 2015) - Es gibt vier mögliche Orientierungen (Dietze, 2015) - Der Snellen-Haken gehört zu den sog. Symbolfreien Zeichen (Dietze, 2015) - Abwandlung: Pflüger-Haken, bei welchem der mittlere Balken von dem Buchstaben E gekürzt wurde → noch stärkere unsymmetrische Leuchtdichteverteilung als bei den Snellen-Haken (Diepes, 2004)	- Gut geeignet bei der Visusbestimmung von Kindern und Personen ohne Kenntnisse des lateinischen Alphabets (Dietze, 2015) - Auch Analphabeten können unter Verwendung von Snellen-Haken untersucht werden (Paliaga, 1993) - Der Auflösungswinkel kann exakt bestimmt werden (Paliaga, 1993)	- Die Ratewahrscheinlichkeit beträgt 25 %, da nur vier verschiedene Orientierungen möglich sind (Dietze, 2015) - unsymmetrische „Leuchtdichteverteilung zwischen der offenen und geschlossenen Seite des Zeichens tritt […] noch stärker auf als beim Landoltring“ (Diepes, 2004). Dadurch sind Verfälschungen der Visusergebnisse möglich (Diepes, 2004)
Landoltringe	- gehört zu den symbolfreien Zeichen (Dietze, 2015) - Es gibt acht mögliche Orientierungen (Dietze, 2015) - Ist das Normsehzeichen	- Ratewahrscheinlichkeit von lediglich 12,5 %, da acht verschiedene Orientierungen möglich sind (Diepes, 2004) - Auch Analphabeten können unter Verwendung der Landoltringe untersucht werden (Paliaga, 1993) - Der Auflösungswinkel kann exakt bestimmt werden (Paliaga, 1993) - Nahezu gleiche Erkennbarkeit in allen 8 Orientierungen (Wesemann, 2002). Siehe auch *Kapitel 2.4* - „[G]eringe Richtungsabhängigkeit bei vollkorrigierte[n] Probanden“ (Rassow et al., 1990)	- Wird ohne eine Erklärung oft nicht richtig verstanden (Rassow et al., 1990) - Der Landoltring „besitzt eine unsymmetrische Leuchtdichteverteilung, das heißt an der Stelle, wo sich die Lücke befindet, sieht der Prüfling den Ring auch dann noch heller, wenn er die Lücke eigentlich nicht mehr auflösen kann, und erhält so eine Information über deren Richtung“ (Diepes, 2004). Dadurch sind Verfälschungen der Visusergebnisse möglich (Diepes, 2004) - Da die Orientierungen Rechts und Links unterschieden werden müssen, ist die Voraussetzung, dass die Patienten diese bei mündlicher Angabe richtig benennen können. - Zahlreiche Probanden verwechseln in der Prüfungssituation die Begriffe rechts und links (Rassow et al., 1990)

Gitter- und Schachbrettmuster	- Werden zur Bestimmung der Auflösungssehschärfe verwendet (Paliaga, 1993) - Bei der Verwendung von Schachbrettmustern muss der Prüfling eines von vier Feldern identifizieren, welches ein anderes Raster hat als die übrigen drei Felder (Diepes, 2004) - Bei der Verwendung von Gittern muss der Prüfling angeben, in welcher Orientierung diese liegen (Paliaga, 1993)	- Der Auflösungswinkel kann mit der größten Richtigkeit bestimmt werden (Paliaga, 1993) - „Gittermuster bilden einen idealen Test zur Erkennung einer meridionalen Amblyopie durch einen Astigmatismus“ (Paliaga, 1993) - Durch geringe kognitive Anforderung auch zur Visusbestimmung bei Klein- und Vorschulkindern geeignet → Die Gitter müssen nicht wiedererkannt, sondern lediglich wahrgenommen oder nach deren Orientierung unterschieden werden können (Dietze, 2015)	- Die Gitter sind nicht in jeder Orientierung gleich schwer zu erkennen. Die vertikalen oder horizontalen Streifen sind leichter zu erkennen als die schräg angeordneten Streifen (Paliaga, 1993)
Bildtafeln	- Stilisierte Bilder von Objekten und Tieren (Paliaga, 1993) - Geometrische Figuren wie Dreiecke, Kreise, Quadrate und Scheiben (Paliaga, 1993) - LEA-Symbole (Dietze, 2015)	- Besonders geeignet bei der Visusbestimmung mit Kindern (Dietze, 2015; Paliaga, 1993) - „Die mit Bildtafeln ermittelten Visuswerte stimmen bei hohen und mittleren Visusstufen relativ gut mit dem Buchstabenvisus überein“ (Dietze, 2015), zitiert nach (Dobson et al., 2003) - Die Entwicklung der LEA-Symbole hatte als Schwerpunkt die Realisierung gleicher Erkennbarkeit und gleicher Ratewahrscheinlichkeit (Dietze, 2015)	- Bei niedrigen Visusstufen können die durch Bildtafeln ermittelten Visuswerte im Vergleich zu den ermittelten Visuswerten durch Buchstaben zu hoch ausfallen (Dietze, 2015), zitiert nach (Dobson et al., 2003) - Es gilt vor allem zu beachten, dass es möglich ist, dass Kinder die Sehzeichen zwar erkennen können, sie die Begriffe und Formen aber noch nicht in ihrem Erfahrungsschatz gespeichert haben, wodurch die Kinder, aufgrund dessen, die Begriffe unter Umständen nicht richtig benennen können (Paliaga, 1993)

2.3 Bestimmung von psychophysischen Schwellen

Dieses Kapitel soll Hintergrundinformationen zur Bestimmung von psychophysischen Schwellen geben. Es sei an dieser Stelle ausdrücklich gesagt, dass in dieser Studie *keine* Schwellenbestimmungen stattgefunden haben. Somit haben die Schwankungen, welche bei einer Visusbestimmung auftreten können, *keinen* Einfluss auf das hier erzielte Ergebnis! Die Ausführungen der Schwellenbestimmungen dienen lediglich dazu, über den Hintergrund und die Wichtigkeit der Genauigkeit der Eingabemodalitäten aufmerksam zu machen. Werden durch die Verwendung der Eingabemodalitäten zusätzliche Fehler indiziert, wird der Sinn dieser verfehlt.

„Für die Bestimmung der psychophysischen Schwellen wird eine der drei klassischen psychophysischen Methoden […] eingesetzt: das Konstanzverfahren, die Grenzmethode und die Herstellungsmethode“ (Paliaga, 1993).

Das Konstanzverfahren wird auch Methode der konstanten Stimuli genannt (Paliaga, 1993). Hierbei werden dem Probanden üblicherweise „mehrere Dutzend Stimuli für 5-10 Größenabstufungen des Stimulus dargeboten“ (Paliaga, 1993). Darunter sind deutlich überschwellige, deutlich unterschwellige und mittlere Reizintensitäten, d.h. Landoltringgrößen, vertreten. Jede Größe muss dabei gleich oft vorkommen. Die Stimuli werden der Versuchsperson in randomisierter Reihenfolge dargeboten und der Proband muss die Form/Orientierung des Sehzeichens angeben. Ist sich der Proband unsicher, kann er zu einer Antwort „gezwungen“ werden, was dann als „Forced Choice“-Methode bezeichnet wird. Diese hat den Vorteil, dass das Ergebnis nicht auf den Einschätzungen des Probanden beruht (Paliaga, 1993). „Würde man Antworten hinnehmen wie ‚den Ring kann ich nicht erkennen, er ist viel zu klein‘, käme bei entscheidungsschwachen Patienten, die ‚bloß nichts falsch machen‘ wollen, eine zu niedrige Sehschärfe heraus“ (Bach & Kommerell, 1998). Ein Nachteil der „Forced Choice“-Methode ist es dagegen, dass der Prüfling sich verunsichert und unwohl fühlen könnte. Wichtig ist, dass die Ratequote mit in die Berechnung der Schwelle einkalkuliert wird.

Aus den prozentualen Anteilen korrekter Antworten für jede Intensität wird dann eine psychometrische Funktion aufgestellt (Paliaga, 1993). Wie eine psychometrische Funktion ausschaut, ist in *Abbildung 9* zu sehen.

Bei der Grenzmethode wird mit einem deutlich überschwelligen Reiz gestartet. Dieser wird dann kontinuierlich verkleinert, bis vom Prüfling angegeben wird, dass er ihn nicht mehr wahrnehmen kann. Dieser Teil wird auch absteigende Schwellenannäherung genannt. Anschließend erfolgt die aufsteigende Schwellenannäherung, bei welcher ein unterschwelliger Reiz solange vergrößert wird, bis der Prüfling angibt, diesen wahrzunehmen. Aus den ermittelten *momentanen Schwellen* wird dann die Schwelle berechnet (Paliaga, 1993). „Bei der Visusprüfung nach der Grenzmethode werden die Optotypen meistens nur in fallender Reihenfolge gezeigt. Ihre Größe wird kontinuierlich bis zu dem Punkt reduziert, wo die Merkmale nicht mehr zu erkennen sind“ (Paliaga, 1993).

Die sog. Treppenmethode („staircase procedure“) ist eine Abwandlung der Grenzmethode. Bei dieser Methode wird die Größe des Stimulus solange reduziert, bis der Patient die erste falsche Angabe macht. Anschließend wird die Reizintensität wieder erhöht (Paliaga, 1993).

„Die Größe der gezeigten Stimuli ist also von den Antworten abhängig, die bei den vorhergegangenen Stimulusdarbietungen gegeben wurden“ (Paliaga, 1993).

Eine Abwandlung der Treppenmethode ist die Best PEST Methode, welche in *Kapitel 3.3* näher erläutert wird. Bei dieser werden die Schrittgrößen auf Basis der vorangegangen Antworten variiert (Bach, 1996).

Bei der ‚Herstellungsmethode‘ wird eine bestimmte Stimulusgröße eingestellt, anschließend wird die Entfernung solange verändert, bis der Optotyp gerade noch erkannt werden kann (Paliaga, 1993).

Für gutachterliche Zwecke gelten die Anforderungen gemäß *Kapitel 2.4*.

Gemäß der DIN EN ISO 8596 werden bei der Sehschärfenprüfung pro Sehschärfenstufe (Visusstufe) fünf oder zehn Ringe projiziert (Deutsches Institut für Normung e.V., 2018). Eine Sehschärfenstufe definiert sich dadurch, dass die dargestellten Landoltringe für die jeweilige Stufe exakt dieselbe Größe haben. Erst, wenn diese Reihe als erkannt gilt, das heißt wenn 56,25 % (gerundet 60 %) der Sehzeichen bei acht möglichen Orientierungen erkannt werden, wird die nächstkleinere Stufe dargeboten. Bei fünf dargebotenen Sehzeichen (hier: Landoltringen) müssen demnach mindestens drei Richtige angegeben werden (Wesemann et al., 2020). Die erzielte Schwelle ist die steilste Stelle der psychometrischen Funktion, d.h. kleinste Veränderungen der Reizintensität führen bereits zu großen Änderungen der Trefferrate (Bach, 1996).

Üblicherweise können bei den oben genannten Methoden zwei Fehler auftreten (Kalloniatis & Luu, 2011):

1. Der Proband könnte bei einem überschwelligen Reiz angeben, diesen noch nicht zu sehen, da er sich nicht zu 100 % sicher ist (Kalloniatis & Luu, 2011).
2. Bei einem Reiz, welcher aus dem unterschwelligen Bereich kommt und vergrößert wird könnte der Proband angeben, diesen bereits zu sehen, obwohl es in Wahrheit noch gar nicht der Fall ist (Kalloniatis & Luu, 2011).

Diese Nachteile treten bei der Visusbestimmung jedoch nicht auf, da der Prüfling durch die „Forced Choice“-Methode immer eine Angabe machen muss. Der Prüfling muss das Detail des Sehzeichens richtig benennen können, wodurch er nicht vorgeben kann, einen Reiz zu sehen, obwohl er ihn in Wahrheit nicht sieht.

Erfahrungsgemäß wird nicht bei jeder Visusbestimmung dieselbe Sehschärfenstufe erreicht. Bei der Hälfte der Fälle treten Differenzen von einer Stufe auf, bei einem Sechstel der Fälle sogar Differenzen von zwei Stufen. Daher gelten erst Unterschiede ab drei Sehschärfenstufen als relevant. Gründe hierfür sind beispielsweise eine falsche Durchführung des Tests. Dies kann beispielsweise auftreten, wenn der Prüfling aufgefordert wird, falsch angegebene Lückenpositionen nochmals zu wiederholen oder indem der Prüfer dem Prüfling gewährt, sogar ganze Zeilen zu wiederholen, obwohl die Visusstufe eigentlich schon nicht mehr erreicht wurde. Ein weiterer wichtiger Grund ist die Variabilität der Schwellenangabe, da viele Ringe mehr geraten als gesehen werden (Petersen, 1993).

2.4 Bedeutung der Visusbestimmung für Gutachterzwecke

„[B]ei der Sehschärfebestimmung für gutachterliche Aussagen, z.B. für klinische Messungen zur Bestimmung von Blindheit oder Sehbehinderung“ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2009) wird der dritte Teil der DIN 58220 angewendet . Zweck der Normung ist es, „die Wiederholungspräzision und Vergleichspräzision der Sehschärfewerte“ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2009) zu verbessern.

In der Norm ist festgelegt, dass als Sehzeichen lediglich Landoltringe verwendet werden dürfen. Diese müssen der DIN EN ISO 8596, der internationalen Norm welche dieser Norm zu Grunde liegt, entsprechen (Deutsches Institut für Normung e.V., 2009). Die Lückenpositionen der Landoltringe müssen in acht verschiedenen Orientierungen dargeboten werden. Optotypen wie die ETDRS-Buchstaben oder die Bailey-Lovie-Tafeln sind nicht erlaubt, da diese weder die Optotoypenform (den Landoltring), noch den verlangten Mindestabstand zwischen den Sehzeichen erfüllen. Klinisch angeschlossene Sehzeichen wie Buchstaben und Zahlen sind für Gutachten nicht zulässig. Der Prüfabstand für den Fernvisus muss mindestens 4 m betragen, für den Nahvisus 25, 33 oder 40 cm. Pro Visusstufe müssen mindestens fünf Landoltringe dargeboten werden, von denen mindestens 60% korrekt benannt werden müssen. Alle Visusstufen von 0,05 bis 2,0 müssen geprüft werden können, für Blindengutachten auch die Visusstufen 0,02; 0,025 und 0,032. Kann die Prüfentfernung von 4 m aufgrund sehr geringer Visuswerte nicht eingehalten werden, darf die Prüfentfernung verkürzt werden. Zur Darbietung der Landoltringe sind elektronische Bildschirme zulässig. Die Testfeldleuchtdichte muss zwischen 80-320 cd/m^2 liegen. Der Abstand vom Rand des Prüffeldes zur Kante des Sehzeichens muss mindestens 0,5 ° betragen (Wesemann et al., 2020).

2.5 Der Landoltring - ein international anerkanntes Normsehzeichen

Der Landoltring ist das einzige Sehzeichen, welches nach der aktuellen Norm für Gutachten verwendet werden darf (Wesemann et al., 2020).

In *Tabelle 3 s*ind einige Vor- und Nachteile dieses Sehzeichens aufgeführt. Besonders hervorzuheben ist hier, dass der Landoltring als einziges Sehzeichen ein „gleiches Erkennbarkeitsdetail in allen acht Anbietungsrichtungen“ (Rassow et al., 1990) liefert. Dies ist zwar nicht zu 100 % korrekt, da auch die Orientierungen der Landoltringe bezüglich der Erkennbarkeit Schwankungen unterliegen, in *Abbildung 1* wird allerdings deutlich, dass diese Schwankungen, im Vergleich zu den anderen Sehzeichen, sehr gering sind. Die geraden Orientierungen (oben, unten, rechts und links) werden tendenziell leichter erkannt als die schrägen Orientierungen dazwischen, dennoch weicht keine der Orientierungen um mehr als 0,4 Visusstufen vom Mittelwert ab (Wesemann et al., 2020).

Bei den anderen Sehzeichen (Buchstaben und Zahlen, s. Abbildung 1) sind diese Abweichungen deutlich größer (Wesemann et al., 2020). Zahlreiche Forscher haben versucht, Buchstaben auszuwählen, die der Erkennbarkeit des Landoltrings sehr nahe kommen, da Buchstaben den meisten Menschen geläufig sind und keine langwierigen Erklärungen notwendig sind (Rassow et al., 1990). Darüber hinaus wurde versucht, die Verwechslungshäufigkeit zwischen den Buchstaben zu eliminieren (Rassow et al., 1990; Rassow & Wang, 1998; Rohrschneider et al., 2019). Doch auch Rassow et al mussten

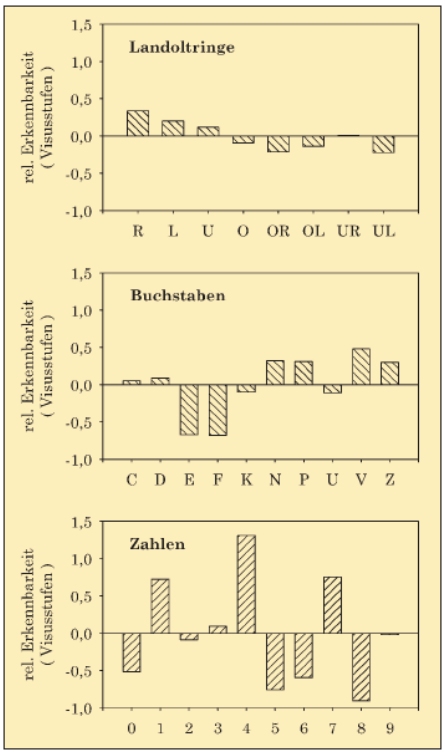


Abbildung 1: *Relative Erkennbarkeit der verschiedenen Optotypen. In Abbildung 1a sind die relativen Erkennbarkeiten der Landoltringe in den 8 möglichen Orientierungen aufgetragen (R=Rechts, O=Oben usw.). Abbildung 1b zeigt die relativen Erkennbarkeiten der untersuchten Buchstaben und Abbildung 1c die relativen Erkennbarkeiten aller Ziffern. Eine Abweichung nach oben zeigt, dass die jeweiligen Optotypen leichter erkannt werden als der Mittelwert, eine Abweichung nach unten eine schwierigere Erkennung (W. Wesemann, 2002) (© W. Wesemann, 2002)*

feststellen, dass „die Forderung der gleichen Verwechslungshäufigkeit zwischen den einzelnen Buchstaben nicht erfüllbar ist, wenn gleichzeitig das Kriterium möglichst gleicher Erkennbarkeit aufrechterhalten werden soll“ (Rassow et al., 1990). Daher hält der Landoltring die Stellung als Normsehzeichen. Die anderen Sehzeichen, wie der Landoltring in nur vier möglichen Orientierungen, Buchstaben, Zahlen, ETDRS-Tafeln, Bailey-Lovie-Tafeln, Snellen E-Haken und Symbole für Kinder finden lediglich als klinische Sehzeichen Anwendung. Diese sind aufgrund der variierenden Lesbarkeit nicht zur Prüfung von Gutachten zugelassen (Wesemann et al., 2020), zitiert nach (Deutsches Institut für Normung e.V., 2018).

Ein weiterer sehr großer Vorteil ist, dass der Landoltring auch von Analphabeten verwendet werden kann (Paliaga, 1993), da es sich um ein „symbolfreie[s]“ (Dietze, 2015) Zeichen handelt.

Zu den Nachteilen des Landoltrings gehört zwar, dass das Zeichen eine unsymmetrische Leuchtdichte aufweist, wodurch es eventuell zu Verfälschungen des Ergebnisses kommen kann. Dies liegt daran, dass der Ring an der Lückenposition heller erscheint, wodurch der Prüfling diese unter Umständen allein aufgrund des Leuchtdichteunterschiedes wahrnehmen kann. Jedoch liegt diese Problematik in noch schwerwiegenderer Form bei anderen Sehzeichen, wie zum Beispiel dem Snellen‘schen E, vor (Diepes, 2004). Die bislang größte Problematik bei der Verwendung des Landoltrings besteht darin, dass „der Test ohne eine genaue Erklärung oft nicht richtig verstanden wird und zahlreiche Probanden in der Prüfungssituation die Begriffe rechts und links verwechseln, insbesondere, wenn diese noch mit den schrägen Richtungen verknüpft sind“ (Rassow et al., 1990). In *Kapitel 5.1* wird genauer auf die Problematik der Rechts-/Linksschwäche eingegangen.

3. Probanden und Methoden

Anhang 1 kann ein ausführliches Studienprotokoll entnommen werden. Dieses beinhaltet unter anderem die technische Ausstattung, die Anzahl der Probanden sowie Informationen zur Datenauswertung und der Durchführung dieser Studie. Ursprünglich war geplant, die Studie mit 24 Probanden durchzuführen, was aufgrund der aktuellen COVID-19-Krise und die damit einhergehenden Risiken für Untersucher und Probanden nicht realisiert werden konnte. Da die vorher geplanten Analyseinstrumente nicht auf die Auswertung einer Pilotstudie übertragen werden können, wurden die im Studienprotokoll angegebenen Informationen zur Datenanalyse nach der Datenerhebung überarbeitet. Die jetzige Version des Studienprotokolls in *Anhang 1* beinhaltet alle Informationen gemäß der untersuchten fünf Probanden, alle Überarbeitungen wurden farblich markiert.

3.1 Probanden – Ein- und Ausschlusskriterien

In *Anhang 1* sind die Ein- und Ausschlusskriterien innerhalb der Studiensynopsis dargestellt.

Zu den Einschlusskriterien gehörten folgende Aspekte:

- Studierende oder Mitarbeiter der Hochschule Aalen
- Alter: 18-35 J.
- (Fern-)Visus mit bester Korrektion: ≥ 0,8
- (Fern-)Ametropie ≥ - 8 dpt und ≤ + 8,0 dpt (sphärisches Äquivalent)
- Anisometropie ≤ 3 dpt
- Astigmatismus ≤ 2,5 dpt
- Informiert
- Unterzeichnete Einwilligungserklärung zur Durchführung der Studie
- Unterzeichnete Datenschutzerklärung

Ausschlusskriterien:

- Einnahme von reaktionszeitverlängernden Medikamenten/Drogen/Alkohol
- Bewegungsstörungen (der Hände) wie z.B. im Fall einer Parkinson-Krankheit
- Hinweise auf Amblyopie (Schiel-Operation, Okklusionsbehandlung, regelmäßige Sehschul-Termine)
- Augenbewegungsstörungen/Doppelbildangabe
- Fehlendes Stereosehen
    - Testverfahren: Stereotest nach Lang (Lang-Stereotest-I, Fronhäuser, Unternehmensbereich der PROMEDIA Medizintechnik A. Ahnfeldt GmbH, Siegen/D), Prüfentfernung 40 cm
    - Anforderungskriterium: Die Katze (1200“) und der Stern (600“) müssen erkannt werden, das Auto (550“) muss zumindest lokalisiert werden
- Vorliegen eines relativen afferenten Pupillendeffekts im *swinging-flashlight-Test*
- Anamnestischer Hinweis auf Sehbahnläsion oder anderweitige chronische oder progrediente Augen-/Sehbahnerkrankung
- Studierende und Mitarbeiter/Absolventen des Studiengangs Augenoptik/Optometrie

3.2 Technische Ausstattung/Versuchsaufbau

Folgende vier Eingabemethoden wurden getestet: Ein modifizierter Nummernblock, ein 8-Wege-Wippschalter (Prototyp), eine modifizierte Fernbedienung und die sprachliche Rück-

Abbildung 2: *In dieser Abbildung werden die verschiedenen Eingabegeräte (2a-c), der allgemeine Versuchsaufbau (2e) sowie ein Sichtschutz zur Abdeckung der Geräte (2d) dargestellt.*
a) Modifizierter Nummernblock
b) Modifizierte Fernbedienung. Bei dieser wurden lediglich die Tasten mit den Pfeilrichtungen, welche in der Mitte angebracht waren, verwendet. Diese sind durch die vergrößerte Darstellung mittels der Lupe hervorgehoben. Die modifizierte Fernbedienung wurde so konzipiert, dass sie ein Infrarotsignal an einen Infrarotempfänger (graues, quadratisches Bauteil neben der Fernbedienung, markiert durch einen roten Pfeil) sendet. Das ankommende Signal wird dann von dem eingebauten Microcontroller ausgewertet und über einen USB-Port, welcher am Empfänger angebracht ist, an den Computer via Hexadezimalcode weitergeleitet (Frankenreiter, 2020). Weitere Ausführungen zur Infrarot-Signalübertragung finden sich auf Seite 16 bzw. in Abb. 3 und Abb. 4.
c) 8-Wege-Wippschalter
Durch Druck auf die entsprechenden Tasten konnten bei allen Geräten die Lückenpositionen der Landoltringe eingegeben werden.
d) Abdeckung, welche die Sicht auf die Geräte verhinderte. Unter der Abdeckung wurden die Eingabemodalitäten von der jeweiligen Versuchsperson bedient. Der Ausschnitt, durch welchen in der dargestellten Abbildung das Kabel der Eingabemodalität verläuft, dient der Infrarot-Signalübertragung der modifizierten Fernbedienung. Ohne Ausschnitt könnte das Infrarotsignal nicht zum Infrarot-Empfänger gelangen.
e) Gesamter Versuchsaufbau mit Versuchsperson, Beobachtungsabstand: 5 m

meldung. Die drei erstgenannten Eingabemethoden sind in *Abbildung 2 a)* bis *c)* zu sehen. In *Abbildung 2 d)* ist eine Abdeckung zu sehen, welche als Sichtschutz für die Eingabegeräte verwendet wurde. *Abbildung 2 e)* zeigt den gesamten Versuchsaufbau.

Der 8-Wege-Wippschalter wurde so konzipiert, dass er via USB-Port mit dem Laptop, auf welchem die Landoltringe dargestellt werden, verbunden wird. Über den eingebauten Microcontroller können die Ergebnisse ausgelesen und an den Computer übertragen werden.

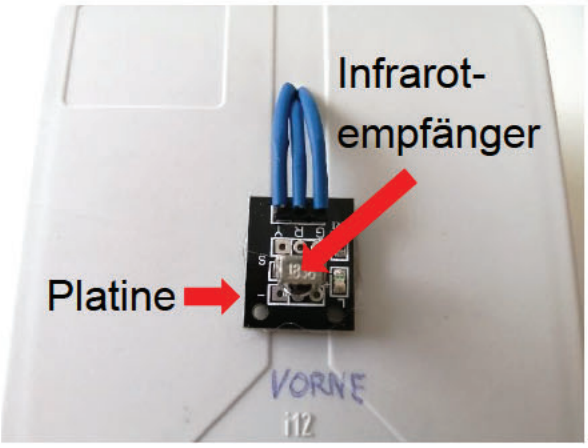


Abbildung 3: *Der Infrarotempfänger, welcher auf der Platine (schwarzes Bauteil auf der Box) platziert ist, empfängt die von der Fernbedienung ankommenden Infrarotsignale und leitet diese über die Leitungen (in der Abbildung blau) an den in der Box platzierten Microcontroller weiter. Dieser wertet die ankommenden Signale des Infrarotempfängers aus und gibt die ausgewerteten Daten als Hexadezimalcode an den Computer, welcher via USB-Port mit dem gesamten Bauteil verbunden ist, weiter*

Die modifizierte Fernbedienung wurde kurz gesagt so konzipiert, dass sie ein Infrarotsignal an einen Infrarotempfänger *(Abbildung 3)* schickt. Das ankommende Signal wird von dem eingebauten Microcontroller ausgewertet und über einen USB-Port, welcher am Empfänger angebracht ist, an den Computer via Hexadezimalcode weitergeleitet (Frankenreiter, 2020). Konkret funktioniert dies folgendermaßen: Jede Taste auf der Fernbedienung entspricht einer bestimmten Zahl. Welche Zahl dies genau ist, ist abhängig vom Hersteller bzw. vom Programmierer. Beispielsweise entspricht die Pfeiltaste von *unten links* der Zahl *49*. Die Zahl 49 wird beim Drücken dieser Taste in einen Binärcode umgewandelt, was einem Code von 110001 entspricht. Über das Infrarotlicht wird dieser Code an den Infrarotempfänger gesendet. Die Infrarot-Leuchtdiode der Fernbedienung kann entweder an oder aus sein. Ist das Licht an, entspricht dies technisch gesehen einer Eins, ist das Licht aus, entspricht dies technisch gesehen einer Null. Der Infrarotempfänger schaut dabei lediglich, ob ein Lichtsignal ankommt oder nicht und schickt die entsprechende Null oder Eins weiter an den Microcontroller. Der Microcontroller wertet dies nun aus: Je nach Übertragungsprotokoll werden die Nullen und Einsen unterschiedlich kodiert, um den Binärcode über das Infrarotlicht übertragen zu können. Wie genau diese kodiert sind, hängt vom Übertragungsprotokoll ab (Granz, 2020). In dieser Arbeit wurde ein RC-5-Protokoll verwendet (Frankenreiter, 2020). In diesem werden für jede Null und für jede Eins jeweils zwei Zeitintervalle für die Übertragung benötigt. Ist beim ersten Zeitintervall das

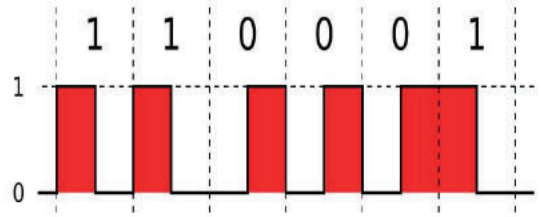


Abbildung 4: *Schematische Darstellung der Übertragung der Beispielzahl 49 als Binärcode. Der Abstand zwischen zwei gestrichelten Linien, entspricht zwei Zeitintervallen. Um eine Eins darzustellen, leuchtet die Leuchtdiode der Fernbedienung für ein Zeitintervall (dargestellt durch den roten Abschnitt), im zweiten Zeitintervall ist die Leuchtdiode aus. Der Infrarotempfänger empfängt diese Daten und gibt sie an den Microcontroller weiter, welcher diese Daten dann auswerten kann. Bei der Übertragung einer Null ist die Leuchtdiode im ersten Zeitintervall aus und im zweiten Zeitintervall ist sie an (© Granz, 2020)*

Licht aus und beim zweiten Zeitintervall das Licht an, d.h. der Infrarotempfänger schickt zuerst eine Null und dann eine Eins an den Microcontroller, wertet dieser diese beiden Signale insgesamt als eine Null aus. Ist dagegen beim ersten Zeitintervall das Licht an und beim zweiten Zeitintervall das Licht aus, d.h. der Infrarotempfänger schickt zuerst eine Eins und dann eine Null an den Microcontroller, wertet dieser diese beiden Signale insgesamt als eine Eins aus. Der Infrarot-Empfänger kann immer nur eine Null oder Eins auf einmal empfangen, weshalb dieser die empfangenen Daten direkt an den Microcontroller weitergibt, bevor er die nächsten Daten empfängt. Der Microcontroller schreibt die vom Infrarotempfänger ankommenden Signale mit, bis er eine vollständige Reihe aus acht Nullen und Einsen erhalten hat. Damit empfängt der Microcontroller eine Zuordnung, wie z.B. die anfangs erwähnte Zahl 49 als Binärcode *(Abbildung 4)* und wandelt diese in einen Hexadezimalcode um. Wird beispielsweise die Taste *unten links g*edrückt, entspricht dies in der Programmierung der Zahl *49.* Die Taste *unten links* entspricht auf dem Nummernblock einer Tastatur der Zahl *1.* Der Microcontroller sendet den entsprechenden ASCII Hexadezimal Code für die *Taste 1* an den Computer, was in diesem Fall einem Hexadezimalcode von 0x31 entspricht. Dadurch wird auf dem Computer der Tastendruck für die *Taste 1* eines Nummernblocks ausgelöst. 0x ist ein Präfix, um klarzustellen, dass es sich bei der angegebenen Zahl um einen Hexadezimalcode handelt (Granz, 2020). Welche Taste auf dem Nummernblock welchem entsprechenden Hexadezimalcode entspricht, kann man einer sog. ASCII-Tabelle entnehmen (Horn, 1998). Der Weg der Programmierung über die korrespondierenden Tasten eines Nummernblocks ist in dieser Arbeit notwendig, da der FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test, Version 3.10.4, Prof. Michael Bach, Universitätsklinikum Freiburg/D), mit welchem in dieser Studie die Landoltringe auf dem Bildschirm dargestellt werden, bereits auf diese Programmierung eingestellt ist.

Da auch das Sonnenlicht und manche Raumbeleuchtungen Infrarotlicht senden, pulsiert das Infrarotlicht, welches von der Fernbedienung übertragen wird. Um Störungen zu vermeiden, reagiert der Infrarotempfänger nur auf dieses pulsierende Infrarotlicht (Granz, 2020).

Bei der sprachlichen Rückmeldung wurde die von der Versuchsperson verbal angegebene Lückenposition von der Untersucherin mittels 8-Wege-Wippschalter eingegeben. Die Versuchsleiterin (R. Granz) schaute dabei nicht auf den Bildschirm mit den dargestellten Landoltringen, sondern lediglich auf den Wippschalter, um nicht durch die eigene visuelle Wahrnehmung der dargestellten Landoltring-Lückenpositionen beeinflusst zu werden.

Die Landoltringe wurden mit einer modifizierten Version des FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test, Version 3.10.4, Prof. Michael Bach, Universitätsklinikum Freiburg/D) in standardisierter Form auf einem 5 m entfernten Laptopdisplay dargestellt. Der FrACT ist ein Computer-basiertes System, welches dafür entwickelt wurde, eine automatische Visusbestimmung durchzuführen (Bach, 1996). Die Ringe wurden als Einzeloptotypen abgebildet. Es kam eine forced-choice-Methode zur Anwendung, in welcher die Versuchsperson jeweils eine Angabe machen musste, bevor der nächste Ring wiedergegeben wurde. Es erfolgte keine Rückmeldung, ob die Eingabe richtig oder falsch war.

Die Testzeichenleuchtdichte betrug 2,6 cd/m^2, die Leuchtdichte des Prüffeldes 200 cd/m^2, die Raumbeleuchtungsstärke 230-250 lx. Für jede Eingabemodalität wurden zwei Testdurchläufe mit je 16 größenkonstanten, jeweils zehn Visusstufen überschwelligen, Landoltringen durchgeführt. Die Untersuchungen wurden bezüglich der Sequenz der vier Eingabemethoden

und in Bezug auf die Führungseigenschaft des untersuchten Auges (Führungsauge/geführtes Auge) randomisiert. Bei jedem Testdurchlauf wurde jede Orientierung (von acht möglichen Richtungen) genau zwei Mal automatisch durch den FrACT in randomisierter Abfolge abgefragt. Welche Art der Randomisierung der FrACT verwendet, ist nicht bekannt. Im Vorfeld der Untersuchungen fand keine Proberunde statt. Dies bedeutet, dass das ersterzielte Ergebnis gewertet wurde. Den Versuchspersonen war es gestattet, sich mit dem jeweiligen Eingabegerät unmittelbar vor der Untersuchung kurz (für ca. 30 Sekunden) vertraut zu machen. Anschließend mussten sie die Eingabemodalität ausschließlich unter der Abdeckung bedienen *(Abbildung 2d).* Es erfolgten keine Vorgaben, mit welcher Hand und mit welchen Fingern die Landoltring-Lückenpositionen eingegeben werden mussten.

Die Ergebnisse des FrACT wurden in Excel ausgelesen. Dabei erfolgte unter anderem die Dokumentation, in welcher Richtung die Öffnung dargestellt und welche Orientierung von der Versuchsperson eingegeben wurde.
Der Abstand zwischen Ring und Bildschirmrand entsprach der DIN EN ISO 8596, in welcher festgelegt ist, dass der Abstand zwischen dem Rand des Prüffeldes und den Kanten der Sehtestzeichen mindestens 0,5 ° betragen muss (Deutsches Institut für Normung e.V., 2018). Der vorgegebene Abstand war somit abhängig vom Beobachtungsabstand. Durch diese Definition war der in dieser Studie geforderte Mindestabstand zwischen Bildschirmrand und Sehzeichen 4,36 cm, da ein Beobachtungsabstand von 5 m zu Grunde lag. Der benötigte Mindestabstand kann über die Winkelfunktion des Tangens gemäß *Formel 1* (Dorn et al., 2005) berechnet werden:

$$\tan(\alpha) = \frac{Gegenkathete}{Ankathete} \qquad (1)$$

Wird die Formel des Tangens nach *Gegenkathete* umgestellt, ergibt sich der Zusammenhang aus *Formel 2*.

$$Gegenkathete = \tan(\alpha) * Ankathete \qquad (2)$$

Der Winkel α stellt in diesem Zusammenhang den verlangten Abstand von 0,5 ° dar. Die Ankathete entspricht den 5 m des Beobachtungsabstandes. Daraus ergibt sich das Verhältnis in *Formel 3*.

$$Benötigter\ Abstand\ [m] = \tan(0{,}5°) * 5m = 0{,}0436\ m = 4{,}3630\ cm \qquad (3)$$

Die modifizierte Version des FrACT ist so gestaltet, dass prinzipiell nur Landoltringe dargestellt werden können, die einem Visus von 0,1 entsprechen.

Wird im Programm selbst ein Beobachtungsabstand von 5 m angegeben und der Prüfling ist tatsächlich in 5 m Entfernung vor dem Bildschirm platziert, entspricht die dargestellte Landoltringgröße immer einem Visus von 0,1. Um für jede individuelle Sehschärfenschwelle eine konstante Überschwelligkeit von zehn Visuszeilen (10 dB) sicherzustellen, wurde die Landoltringgröße anhand der *virtuellen* Veränderung des Beobachtungsabstandes realisiert. Das bedeutet konkret, dass der *eingegebene* Beobachtungsabstand im FrACT selbst variiert wurde, der *reale* Beobachtungsabstand blieb bei 5 m und wurde nicht verändert. Somit konnte die einheitliche Messung mit 10 Visusstufen überschwelligen Ringen eingehalten werden. In *Anhang 6* sind die Ergebnisse der Berechnung des *virtuell* einzugebenden Beobachtungsabstandes dargestellt, um eine bestimmte Visusstufe realisieren zu können. Die

Berechnung erfolgte auf der Grundlage von Diepes: „Der Visus ist der Kehrwert der angularen Sehschärfe“ (Diepes, 2004). Das bedeutet, dass ein Visus von 1,0, einer Landoltringöffnung von 1‘ (Winkelminute) gleichkommt. Die Öffnung beträgt dabei jeweils ein Fünftel des Gesamtdurchmessers des Landoltrings (Diepes, 2004).

Daraus kann abgeleitet werden, dass eine Visusstufe von 0,1, welche der dargebotenen Landoltringgröße im modifizierten FrACT entspricht, sofern v*irtuell* eingegebener und *realer* Beobachtungsabstand dieselben sind, einer Landoltringöffnung von 10‘ gleichkommt. Der Durchmesser und die Landoltringöffnung in Millimeter sind somit abhängig vom Beobachtungsabstand, welcher in dieser Studie 5 m beträgt.

Es ergibt sich der Zusammenhang in *Formel 4*, in welcher die Berechnung des Durchmessers der Landoltringöffnung [mm] in Abhängigkeit von der Landoltringöffnung ε [‘] und des Beobachtungsabstandes (hier: 5 m) dargestellt ist. Der Betrag muss am Schluss mit 1000 multipliziert werden, damit die Größe des dargestellten Landoltrings in Millimeter und nicht in Meter angegeben wird.

$$d[mm]\ des\ dargestellten\ Landoltringes = \tan\left(\frac{\varepsilon[']}{60}\right) * 5m * 1000 \qquad (4)$$

Mit Hilfe des daraus resultierenden Öffnungsdurchmessers kann die nachfolgende Rechnung durch Nachmessen der dargestellten Ringgröße auf dem Bildschirm überprüft werden.

Durch das Verhältnis zwischen *Normalentfernung* und *Prüfentfernung* können verschiedene Visuswerte dargestellt werden. Mithilfe von *Formel 5* können diese berechnet werden (Diepes, 2004).

$$Visus = \frac{Prüfentfernung}{Normalentfernung} \qquad (5)$$

„Die Normalentfernung ist die Entfernung, in der ein Optotyp bestimmter Größe einen Sehwinkel von 5 Winkelminuten einnimmt“ (Dietze, 2015). Wird die Prüfentfernung verändert, verändert sich auch der Visus. Speziell in dieser Studie soll allerdings die r*eale Prüfentfernung* beibehalten werden, und die *virtuell eingetragene Entfernung*, was der in *Formel 5* angegebenen *Normalentfernung* entspricht, verändert werden.

Nach Modifikation der *Formel 5* ergibt sich der Zusammenhang aus *Formel 6*. Durch *Formel 6* kann die Berechnung des virtuell einzutragenden Beobachtungsabstandes anhand des realen Beobachtungsabstandes (welcher in dieser Studie immer einem Abstand von 5 m entspricht) und dem zehnfachen der darzustellenden Visusgröße (das entspricht dem tatsächlichen Visus des Probanden) durchgeführt werden. Die dazustellende Visusgröße muss mit zehn multipliziert werden, weil bei dieser Version des modifizierten FrACT die Normalentfernung nicht dem Beobachtungsabstand entspricht, der eine Visusgröße von 1,0 darstellt. In dieser Version entspricht die Normalentfernung dem Beobachtungsabstand für eine Visusgröße von 0,1.

$$Virtueller\ (modifizierter) Beobachtungsabstand\ [m] = \frac{realer\ Beobachtungsabstand[m]}{10 *\ darzustellende\ Visusgröße} \qquad (6)$$

Als Maß für die Validität der Eingabemethoden dient der prozentuale Anteil der korrekt eingegebenen Lückenpositionen.

Ein direkter Blick auf die Geräte wurde durch eine Abdeckung, zu sehen in *Abbildung 2d,* verhindert. Die Abdeckung lag dabei auf einem Tisch, die Versuchsperson saß unmittelbar davor mit Blick in Richtung Bildschirm. Unter der Abdeckung hielt die Versuchsperson das jeweilige Eingabegerät.

Die Tastatur des Laptops wurde für alle Messungen, welche mit dem FrACT durchgeführt wurden, mit weißem Papier abgedeckt.

Mittels Stoppuhr eines Smartphones (P Smart 2019, Huawei, Shenzhen/CHN) konnte die Untersuchungsdauer registriert werden. Hierfür wurde die vorinstallierte App *Uhr* verwendet. In *Kapitel 3.3* wird die genaue Vorgehensweise erläutert.

Zur Untersuchung der subjektiven Probandenzufriedenheit, kam ein 4-Punkte-Evaluationsbogen mit *Visual Analogue Scales* zum Einsatz. Eine „Visual Analogue Scale“ ist ein Messinstrument, das dazu dient, Charakteristiken oder Einstellungen zu bewerten, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass sie sich kontinuierlich über ein gewisses Spektrum verteilen und welche nicht durch eine direkte Messung ermittelt werden können. In der vorliegenden Arbeite bestehen die „Visual Analogue Scales“ aus einer Linie, welche 10 cm lang ist. An einem Ende der Linien ist die minimale, am anderen Ende die maximal mögliche Ausprägung angegeben. Die Versuchsperson markiert dann durch einen senkrechten Strich diejenige Stelle der horizontalen Linie, die dem subjektiven Empfinden des jeweiligen Probanden auf dieser Skala entspricht (Crichton, 2001). In *Anhang 2.6* sind die Fragebögen nebst „Visual Analogue Scales“ dargestellt. Es gab kleine Abweichungen der Fragen zwischen den drei Eingabegeräten (modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, modifizierte Fernbedienung), und der sprachlichen Rückmeldung, da es sich bei letzterer nicht um ein *Gerät* handelte und einzelne Bezeichnungen daher nicht übertragen werden konnten. Sinngemäß stellten jedoch alle Fragen dieselben Inhalte dar.

Der Fragebogen für die *drei Eingabegeräte* beinhaltete die folgenden vier Fragestellungen:

- Wie kamen Sie mit der Handhabung des Gerätes zurecht?
- Wie selbsterklärend empfanden Sie das Gerät?
- Wie leicht ist es Ihnen gefallen, die richtige Orientierung wiederzugeben, d.h. die richtige Taste zu drücken?
- Ist Ihnen die Durchführung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen als anfangs?

Für die *sprachliche Rückmeldung* lauteten die Fragen wie folgt:

- Wie kamen Sie mit der allgemeinen Durchführung der Methode zurecht?
- Wie selbsterklärend empfanden Sie die Eingabemethode?
- Wie leicht ist es Ihnen gefallen, die richtige Orientierung wiederzugeben, d.h. die richtige Position anzusagen?
- Ist Ihnen die Durchführung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen als anfangs?

3.3 Durchführung

Vor Durchführung der eigentlichen Messungen wurden die Versuchspersonen über die Vorgehensweise, die Risiken, den Nutzen und den Zeitaufwand aufgeklärt. Im Anschluss erfolgte die Anamnese, bei welcher Fragen bezüglich der allgemeinen krankheits- und augenbezogenen Vorgeschichte, einer evtl. vorhandenen Rechts-/Linksschwäche, Rechts-/Linkshändigkeit, Alter, Geschlecht, Bildungsgrad, unterteilt in 8 Bildungskategorien nach der ISCED (UNESCO, 2015), Konsumgewohnheiten (Alkohol/Nikotin) und Medikamenten gestellt wurden. In *Anhang 4.1* sind die Ergebnisse der Anamnese aller Probanden und deren Dokumentation in einem CRF (Case Report Form) dargestellt.

Nachfolgend wurden augenärztliche, augenoptische Untersuchungen durchgeführt, wie die Bestimmung des Führungsauges (Durchblicktest, Fa. ESSLIOR, Paris/F), ein Test des räumlichen Sehvermögens in 40 cm Prüfentfernung (Lang-Stereotest-I, Fronhäuser, Unternehmensbereich der PROMEDIA Medizintechnik A. Ahnfeldt GmbH, Siegen/D), sowie eine Untersuchung der Augenstellung über die Hornhautreflexbildchen sowie einseitiger und alternierender Abdecktest, jeweils in Ferne und Nähe. Die Augenbeweglichkeit wurde über die Führungsbewegungen getestet, indem mit Hilfe eines bewegten Fixierlichts beobachtet wurde, ob in allen diagnostischen Blickrichtungen von der Versuchsperson adäquate, gleichmäßige Folgebewegungen ohne Doppelbildangabe ausgeführt wurden. „[D]ie Geschwindigkeit und die Zielgenauigkeit der Blicksprungbewegungen (Sakkaden)“ (Dietze, 2015) wurde getestet, indem die Versuchspersonen zwischen zwei Fixationsobjekten und -orten durch Blicksprünge hin- und herwechseln mussten. Außerdem wurden die efferenten und afferenten Pupillenfunktionen (Untersuchung des Pupillendurchmessers beider Augen unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen sowie swinging flashlight, Tübiskop/Feinmechanische Entwicklungswerkstatt Universität Tübingen/D) untersucht. Im Anschluss erfolgte die Untersuchung der vorderen Augenabschnitte (Lider, Bindehaut, Hornhaut, Augenlinse etc.) mittels Spaltlampe (BQ900, Fa. HAAG-STREIT, Köniz/CH). Die Netzhaut wurde im indirekten Bild mittels Kopfophthalmoskops und einer 20 dpt Lupe (OMEGA 500, Fa. HEINE Optotechnik, Herrsching/D, Fa. VOLK, Mentor/USA) untersucht.

Für das rechte und linke Auge wurde jeweils die Sehschärfe mit eventuell getragener Korrektion (Brille, Kontaktlinsen) gemessen. Die Visusbestimmung erfolgte durch den FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test, Version 3.10.2, Prof. Michael Bach, Universitätsklinikum Freiburg/D) und mündlicher Angabe. Es wurden 18 Landoltringe in acht möglichen Orientierungen dargestellt. Jeder sechste Ring war ein sogenannter Easy Trial, welcher einer Ringgröße entsprach, die vier Stufen größer als die zu diesem Zeitpunkt geschätzte Schwelle lag (Bach, 1996). Der Untersuchungsabstand betrug 5 m.
Der FrACT arbeitet mit der Best-PEST-Strategie (best parameter estimation by sequential testing) (Mittelviefhaus et al., 1993). Dieser ist eine Eingabelungsstrategie, bei welcher die nächste dargestellte Landoltring-Größe der erwarteten Sehschärfe am nächsten liegt. Die Bestimmung beruht auf allen vorher gegebenen Antworten. Die Eingabelungsschritte werden immer kleiner, je näher sich der Schwelle genähert wird (Mittelviefhaus et al., 1993). Nach Eingabe der 18 Ringe ist die Visusbestimmung beendet und der erzielte Visus erscheint auf dem Display, auf welchem zuvor die Landoltringe dargestellt wurden.

Die Angaben aus diesem Absatz beziehen sich lediglich auf die Visusbestimmung, welche im Rahmen der augenärztlichen/augenoptischen Untersuchungen durchgeführt wurde und nicht auf die Eingabe der überschwelligen Landoltringe durch die einzelnen Eingabemethoden.

Anhang 4.2 können die gesammelten Ergebnisse der augenärztlichen Untersuchung aller Probanden entnommen werden.

Auf der Grundlage des ermittelten Visus fand die Berechnung der darzustellenden Größe des Testzeichens statt. Die genaue Berechnung wurde im vorangegangenen *Kapitel 3.2* erläutert.

Nachdem die Aufklärung, die Anamnese und die augenärztlichen, augenoptischen Untersuchungen abgeschlossen waren, erfolgte die Durchführung der Messungen mit vier Eingabemodalitäten unter Verwendung des FrACT. Die Versuchspersonen gaben die dargestellten Landoltring-Lückenpositionen für die vier Eingabemodalitäten an. Jede Versuchsperson absolvierte die vier Eingabemethoden, im Vergleich zu den anderen Versuchspersonen, in unterschiedlicher Reihenfolge. Welche Bedingungen hier vorlagen, wie viele Ringe dargestellt wurden und wie die Eingabemodalitäten konkret funktionieren, wurde bereits im vorangegangen *Kapitel* 3.*2* erläutert.

Während der Eingabe der Lückenpositionen wurde die Untersuchungsdauer mit einem Smartphone (P Smart 2019, Huawei, Shenzhen/CHN) von der Versuchsleiterin gestoppt. Nach Installation der Geräte fragte sie hierfür die jeweilige Versuchsperson, ob diese bereit sei. Wurde dies positiv bestätigt, gab die Versuchsleiterin durch ein mündliches „*3-2-1-Start*“ den Beginn bekannt und drückte auf den „Play-Button“ der Stoppuhr. Sobald der letzte Ring eingegeben und das Ergebnis am Bildschirm aufleuchtete, drückte sie auf den „Stopp-Button“. Die Zeit wurde direkt nach Abschluss der jeweiligen Messung notiert.

Anschließend erfolgte auf gleiche Weise der zweite Testdurchlauf.

Nachdem beide Testdurchläufe mit einer Eingabemodalität abgeschlossen waren, wurde die subjektive Zufriedenheit mittels des Vier-Punkte-Fragebogens mit „*Visual Analogue Scales*“ (Skala 0-100) evaluiert. Der Fragebogen wurde bereits im vorangegangenen *Kapitel 3.2* beschrieben.

Während die Versuchspersonen die Fragen zu der jeweils unmittelbar davor getesteten Eingabemodalität beantworteten, bereitete die Untersucherin die nächste Eingabemodalität vor, welche direkt anschließend getestet wurde.

3.4 Datenauswertung/statistische Analyse

Das Hauptaugenmerk der statistischen Analyse lag auf der Anwendung von deskriptiven Statistiken. Diese werden auch als beschreibende oder explorative Statistik bezeichnet. Sie dienen dazu, viele Einzeldaten durch möglichst wenige, jedoch aussagekräftige, Zahlen zu charakterisieren (Bamberg et al., 2012). Beschreibende Statistiken können bei jeder statistischen Analyse angewendet werden.

Deskriptiv erhoben wurden die Mediane und Interquartilsabstände (im Folgenden dargestellt als Median/IQR). Diese wurden durch die Verteilungen mittels JMP (Version JMP Trial 15, SAS Institute, Cary/North Carolina/USA) bestimmt. Zur Darstellung der Ergebnisse in *Kapitel 4* wurden „Box-Whisker-Plots“ verwendet. Diese wurden ebenfalls durch JMP (JMP

Trial 15) erstellt und über Microsoft Word (Version Microsoft Office 365 ProPlus, Microsoft Corporation, Redmond, Washington/USA) modifiziert. *Anhang 5* können alle Auswertungen mit JMP entnommen werden.

„Der zentrale Quartilsabstand ZQA (auch: Interquartilsabstand) verwendet - wie die Spannweite - die Entfernung zwischen den Merkmalswerten zweier bestimmter Merkmalsträger als Maß für die Streuung“ (Bourier, 2018). Der Interquartilsabstand wird verwendet, wenn eine Aussage über den Kernbereich einer Häufigkeitsverteilung getroffen werden soll (Bourier, 2018). Dies ist in dieser Studie der Fall, da nicht auf Ausreißer, sondern auf den Kernbereich des prozentualen Anteils korrekter Antworten geachtet werden soll.

Zusätzlich wurden induktive Statistiken angewendet. Diese haben die Aufgabe, über Messwerte von Stichproben einen Rückschluss auf die Grundgesamtheit zu ziehen (Bamberg et al., 2012). „Die Erkenntnisse, die aus einer Stichprobe gezogen werden können, lassen sich […] nicht ohne Weiteres auf die Grundgesamtheit übertragen. Dennoch bildet sie die Basis für den Versuch, konkrete Aussagen auch über die Grundgesamtheit zu machen“ (Hagl, 2017). Zur Analyse mittels induktiver Statistik wurden Hypothesentests angewendet, welche Wahrscheinlichkeitsaussagen darüber ermöglichen, ob die Nullhypothesen angenommen oder abgelehnt werden sollten. Fehlentscheidungen sind dabei, in Anbetracht dessen, dass es sich lediglich um die Messwerte einer Stichprobe handelt, immer möglich (Hagl, 2017). „Den Fehler, eine richtige Nullhypothese fälschlicherweise abzulehnen, nennt man Fehler 1. Art oder α-Fehler. […] Man spricht hierbei auch von der sog. Irrtumswahrscheinlichkeit oder vom Signifikanzniveau“ (Hagl, 2017). Im Gegenzug dazu kann es auch vorkommen, dass eine unkorrekte Nullhypothese fälschlicherweise angenommen wird. In diesem Fall wird dann von einem β-Fehler oder auch von einem Fehler 2. Art gesprochen. Wird der Fehler 1. Art geringer angesetzt, resultiert dabei eine Erhöhung des Fehlers 2. Art und umgekehrt. Der Fehler 1. Art, d.h. das Signifikanzniveau α, wird in der Regel auf 5 % (p=0,05) festgesetzt, d.h. eine Nullhypothese wird mit einer fünfprozentigen Wahrscheinlichkeit abgelehnt, obwohl sie eigentlich richtig wäre (Hagl, 2017).

Zur Analyse mittels induktiver Statistik wurde der Quade-Test durchgeführt. Für die „Post hoc“-Analyse wurde, sofern erforderlich, der Wilcoxon-Test gewählt. Der Quade-Test hat den großen Vorteil, dass, wie beim Friedman-Test auch, mehr als zwei Eingabemethoden mit einem einzigen „Ad hoc“-Test miteinander verglichen werden können. Der Quade-Test ist ein „nicht parametrisches Verfahren für die Analyse vollständig randomisierter Blöcke […]. Für bis zu 5 Blöcke (Stichproben) hat der Quade-Test eine höhere Power“ (Hedderich & Sachs, 2018). Es werden die Rangverteilungen innerhalb der Blöcke und innerhalb der Spannweiten berücksichtigt (Hedderich & Sachs, 2018). Da in dieser Studie lediglich fünf Versuchspersonen untersucht wurden, wurde der Quade-Test aufgrund der höheren Power dem Friedman-Test (welcher ursprünglich für eine Stichprobengröße von 24 Probanden vorgesehen war) vorgezogen. Durchgeführt wurde sowohl der Quade-Test als auch der „Post hoc“-Test mit der proprietären Statistiksoftware GNU R (R i386 3.5.3, Ross Ihaka und Robert Gentleman, Universität Auckland/NZL).

R ist eine Programmiersprache für statistische Berechnungen und zur graphischen Darstellung (Hedderich & Sachs, 2018; *R: What is R?*, o. J.). Das Programm ist als freie Software verfügbar. Es handelt sich dabei um ein Programm des Betriebssystems GNU

(GNU's Not Unix), welches von der Free Software Foundation unterstützt wird (*Gnu.Org*, o. J.).

Der kritische p-Wert, welcher unterschritten werden muss, um die Nullhypthese abzulehnen, wurde gemäß Bonferroni korrigert. Es wurden insgesamt 15 Tests durchgeführt, wodurch der Bonferroni-korrigierte p-Wert = .003 (0.05/15) auf einem Signifikanzniveau, d.h. einer Irrtumswahrscheinlichkeit, von α = 5 % beträgt. Die 15 durchgeführten Tests setzen sich folgendermaßen zusammen:

Es wurden neun verschiedene Fragestellungen getestet:

- 2 Tests ergaben sich durch die Prüfung auf Unterschiede der Validität, jeweils für den ersten und den zweiten Testdurchlauf, d.h. für den Test und den Retest.
- 2 weitere Tests ergaben sich durch die Prüfung auf Unterschiede der Untersuchungsdauer, jeweilsfür den ersten und den zweiten Testdurchlauf, d.h. auch hier für den Test und den Retest.
- 5 weitere Tests ergaben sich durch die Prüfung auf Unterschiede bezüglich der subjektiven Probandenzufriedenheit anhand von fünf Kriterien (Handhabung, Benutzerführung, Schwierigkeitsgrad, Veränderung und Gesamtbewertung). Für jedes Kriterium wurde ein eigener Test durchgeführt.

Für jede einzelne der neun genannten Zielgrößen wurde zum Vergleich der vier Eingabemethoen jeweils ein einziger „Ad hoc“-Test durchgeführt. Das bedeutet konkret, dass für jede Zielgröße nur ein einziger Test notwendig war, um herauszufinden, ob zwischen allen vier Eingabemethoden bezüglich der jeweils getesteten Zielgröße ein Unterschied vorlag oder nicht. Hierfür wurde der Quade-Test gewählt.

Zu den eben beschriebenen neun durchgeführten Tests müssen ggf. durchgeführte „Post hoc“-Tests addiert werden. Ein „Post hoc“-Test wird nur dann durchgeführt, wenn der vorangegangene „Ad hoc“-Test einen statistisch signifikanten Unterschied lieferte. Der „Post hoc“-Test wird dann jedoch nur für diese eine statistisch signifikante Fragestellung durchgeführt, alle nicht statistisch signifikanten Ergebnisse des „Ad hoc“-Tests bleiben davon unberührt.

In dieser Studie lag genau ein statistisch signifikantes Ergebnis nach Durchführung der neun „Ad hoc“-Tests vor, weshalb auch nur ein einziger „Post hoc“-Test durchgeführt wurde. Um bei besagtem „Post hoc“-Test vier Eingabemethoden jeweils paarweise miteinander vergleichen zu können, sind insgesamt sechs Vergleiche, und damit sechs Tests notwendig.

Damit ist die Anzahl aller durchgeführten „Post hoc“-Tests gleich sechs.

Die Gesamtzahl der durchgeführten Tests errechnet sich damit wie folgt:

$$Durchgeführte\ \text{"Ad hoc"} - Tests + durchgeführte\ \text{"Post hoc"} - Tests = Gesamtzahl\ der\ Tests \tag{7}$$

Da neun Quade-Tests (d.h. neun “Ad hoc”-Tests) und sechs Wilcoxon-Tests (d.h. sechs „Post hoc“-Tests) durchgeführt wurden, ergibt sich eine Gesamtzahl von 15 durchgeführten Tests.

Warum die Bonferroni-Korrektur zwingend notwendig ist, wird in *Kapitel 5.8* diskutiert.

Die Validität wurde anhand des prozentualen Anteils der korrekten Lückenpositionsangaben bestimmt. Aus den daraus resultierenden Ergebnissen wurde für jede Eingabemodalität eine Verteilung mit Median und IQR aufgestellt.

Alle Retest-Ergebnisse des prozentualen Anteils korrekter Antworten und der Untersuchungsdauer wurden deskriptiv durch Mediane und Interquartilsabstände sowie gleichzeitig induktiv statistisch durch den Quade-Test ausgewertet. Die ermittelten Ergebnisse bezogen sich lediglich auf die Ergebnisse innerhalb der jeweiligen Testdurchläufe, die beiden Testdurchläufe wurden demnach nicht durch statistische Analyseverfahren direkt miteinander verglichen. Dargestellt wurden die Test/Retest-Ergebnisse der Validität als Boxplots intraindividueller Differenzen.

Die Gesamtuntersuchungsdauer wurde deskriptiv mittels Medians und Interquartilsabstandes sowie induktiv statistisch mittels Quade-Tests und Quade „Post hoc"-Tests ausgewertet.

Subjektive Zufriedenheitsangaben wurden deskriptiv und induktiv statistisch ausgewertet. In einem ersten Schritt wurde jede Frage einzeln, und anschließend die Gesamtbewertung der vier Eingabemethoden miteinander verglichen. Bei der Gesamtbewertung wurden alle Fragen gleichermaßen gewichtet. Die vierte Frage lautete: ‚Ist Ihnen die Durchführung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen als anfangs?'. Fand hier eine Veränderung statt, wurde dies als negativ gewertet, da die Eingabemodalitäten von Anfang an zuverlässige Ergebnisse zulassen sollten. Der Gesamtscore, d.h. die durchschnittliche Probandenzufriedenheit einer jeden Eingabemethode kann durch *Formel 8* berechnet werden. Die Werte jedes Parameters reichen von 0-100 gemäß der Visual Analogue Scale, wobei 0 die niedrigste und 100 die höchste Zufriedenheit darstellen. Der Gesamtscore kann ebenfalls Werte zwischen 0 und 100 erreichen.

$$\frac{Handhabung + Benutzerführung + Schwierigkeitsgrad + (100 - Veränderung)}{4} = Gesamtscore \tag{8}$$

3.5 Verwendete Programme und Richtlinien zur Erstellung und Formatierung

Zur Erstellung und Formatierung dieser Bachelorthesis wurden die Programme Microsoft Excel und Microsoft Word (Version Microsoft Office 365 ProPlus, Microsoft Corporation, Redmond, Washington/USA) verwendet. Dieselben Programme wurden für die Modifizierung der Tabellen und Grafiken angewendet.

Zur Darstellung der Zahlenformate wurde sich an der Gestaltung nach APA-Standard orientiert (Regorz et al., 2020).

3.6 Einhaltung ethischer Richtlinien

Der komplette Antrag inklusive der Bestätigung der Landesärztekammer Baden-Württemberg kann *Anhang 2* entnommen werden. Von dieser erfolgte die Genehmigung aller Dokumente zur Durchführung dieser Studie am 20.02.2020.

3.7 Offenlegung des Versuchsplans und der Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit ist bei ClinicalTrials.gov unter dem Identifier NCT04299659, zuletzt aktualisiert am 16.03.2020, *(LC_Entry*, 2020) angemeldet. Die Studie kann unter folgendem Link abgerufen werden: https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04299659, der letzte Zugriff war am 08.05.2020 (*Comparison of Four Methods for Entering the Gap Position of Landolt Cs (LC_Entry)*, o. J.).

Des Weiteren wurde ein Abstract über diese Arbeit bei der DOG 2020 (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft) eingereicht, das Abstract ist in *Anhang 3* aufgeführt.

4. Ergebnisse:

In *Anhang 4* sind alle Messwerte aller Probanden tabellarisch aufgelistet. Hierzu gehören die Angaben der Anamnese *(Anhang 4.1)*, der augenärztlichen Untersuchung *(Anhang 4.2)* sowie alle ermittelten Zielgrößen des FrACT *(Anhang 4.3).*

4.1 Probanden

Alle nachfolgenden Ergebnisse der deskriptiven Statistik werden als Median/IQR dargestellt.

An dieser Pilotstudie nahmen fünf volljährige Freiwillige (drei männlich, zwei weiblich) im Alter von 21/9 Jahren teil *(Anhang 5.6).*

Alle Probanden waren rechtshändig. Eine Probandin gab an, eine Rechts-/Linksschwäche zu haben, drei beantworteten die Frage, ob sie öfter rechts und links verwechseln mit *nein*, eine mit *gelegentlich*.

Die Sehschärfe der untersuchten Augen lag bei 1,7/0,8 *(Anhang 5.5)*. Zwei Probanden trugen eine Brille. Das sphärische Äquivalent des Brillenglases des untersuchten Auges lag beim ersten Probanden bei -0,63 dpt (gemessen mit dem Scheitelbrechwertmesser HLM-9000, Fa. HUVITZ, Hannover/D), beim zweiten Probanden bei -2,00 dpt. Es lagen keine schwerwiegenden Augenerkrankungen und Allgemeinerkrankungen vor.

4.2 Versuchsdurchführung

Insgesamt wurden je Versuchsperson ca. 85 Minuten benötigt. Für die Probandenaufklärung, sowie die Einwilligungserklärung und die Datenschutzerklärung wurden ca. 15 Minuten beansprucht. Die Anamnese benötigte ein Zeitinvestment von fünf Minuten. Weitere 25 Minuten benötigten die Untersucher für die augenärztlichen-augenoptischen Untersuchungen. Im weiteren Verlauf wurden ca. 20 Minuten (fünf Minuten je Eingabemodalität) benötigt. Die Bearbeitung des Fragebogens zur subjektiven Zufriedenheit erfolgte in insgesamt zehn Minuten. Die zwischendurch anfallenden Vor- und Nachbereitungsmaßnahmen benötigten ebenfalls zehn Minuten. Die exakte Gesamtdauer einer jeden Versuchsperson wurde nicht mittels Stoppuhr festgehalten, da diese nicht essenziell für den Vergleich der Eingabemodalitäten ist. Die Untersuchungsdauer für jede Eingabemodalität kann *Kapitel 4.6* entnommen werden, die dort aufgeführte Dauer bezieht sich jedoch lediglich auf die benötigte Zeit für die Eingabe von jeweils 16 Landoltringen.

4.3 Zusammenfassung aller ermittelten Zielgrößen

Tabelle 4 zeigt die ermittelten Ergebnisse aller Zielgrößen, aller Eingabemethoden, aller Testdurchläufe der deskriptiven Statistik in Form von Median/Interquartilsabstand und der induktiven Statistik in Form von p-Werten. Die p-Werte wurden durch den Quade-Test in der Programmiersprache R ermittelt. Das Signifikanzniveau beträgt α=5 %. Der Bonferroni-korrigierte p-Wert beträgt p_{krit} = .003. Genauere Erläuterungen hierzu können *Kapitel 3.4* und *Kapitel 5.8* entnommen werden.

Tabelle 4: Ergebnisdarstellung aller ermittelten Zielgrößen (Validität von Test und Retest, Probandenzufriedenheit, Untersuchungsdauer von Test und Retest) aller getesteten Eingabemethoden (modifizierter Nummernblock, 8-Wege Wippschalter, modifizierte Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung). Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind als Median/Interquartilsabstand (IQR) dargestellt, die Ergebnisse der induktiven Statistik als p-Werte. Die angegebenen p-Werte wurden durch den Quade-Test in der Programmiersprache R (R i386 3.5.3) ermittelt. Die Werte resultierten aus den Messergebnissen von fünf Probanden. Das Signifikanzniveau beträgt 5 %, der Bonferroni-korrigierte p-Wert beträgt p = .003. Der einzige statistisch signifikante Unterschied (p < .003) zwischen den Eingabemodalitäten wurde grün markiert

Zielgrößen		**Modifizierter Nummernblock**	**8-Wege-Wippschalter**	**Modifizierte Fernbedienung**	**Sprachliche Rückmeldung**	**Ermittelte p-Werte**
Anteil korrekter Antworten [%]	**Test**	100,0/0,0	93,8/9,4	100,0/0,0	100,0/0,0	p = .013
	Retest	100,0/3,1	100,0/9,4	100,0/3,1	100,0/0,0	p = .473
Dauer [s]	**Test**	21,0/5,0	24,0/10,0	29,0/7,0	35,0/7,5	**p = .001**
	Retest	22,0/5,5	24,0/9,0	28,0/5,0	36,0/6,5	p = .011
Probanden-zufriedenheit	**Gesamt-bewertung**	76,9/37,3	73,6/27,4	68,8/19,9	75,5/37,0	p = .945
	Handhabung	91,8/47,7	73,2/29,2	78,9/22,4	68,0/28,9	p = .872
	Benutzerführung	99,5/11,9	97,4/18,4	94,8/37,9	100,0/7,7	p = .209
	Schwierigkeits-grad	84,5/47,5	60,8/55,7	78,4/53,9	54,1/51,1	p = .822
	Veränderung	57,7/81,2	58,8/64,7	38,7/46,7	3,1/81,2	p = .267

4.4 Primäre Zielgröße: Validität

In dieser Pilotstudie lieferte der 8-Wege-Wippschalter die geringste Validität mit einem prozentualen Anteil korrekter Lückenpositionsangaben von 93,8/9,4 im ersten Testdurchlauf. Über den modifizierten Nummernblock, die modifizierte Fernbedienung und die sprachliche Rückmeldung wurden im ersten Testdurchlauf alle Lückenpositionen korrekt angegeben, wodurch ein Ergebnis von 100/0 erreicht werden konnte.

Im ersten Testdurchlauf lag kein statistisch signifikanter Unterschied auf einem Signifikanzniveau von 5 % zwischen den Eingabemodalitäten vor, da $p = .013 > .003$. Zur Ermittlung dieses Ergebnisses wurde der Quade-Test herangezogen.

In *Abbildung 5* sind die Ergebnisse der Validität von Test und Retest als Box-Whisker-Plots dargestellt. Insgesamt gab es pro Durchgang (von insgesamt zwei Testdurchläufen) pro Eingabemodalität (von insgesamt vier Eingabemodalitäten) 80 dargestellte Landoltringe (fünf Probanden à 16 Ringe). Im Folgenden werden die Anzahl der Fehlangaben, sowie in Klammern der auf die Fehlangaben bezogene prozentuale Anteil für den jeweiligen Testdurchlauf, dargestellt.

Tabelle 5: *Anzahl der Fehlangaben des ersten und zweiten Testdurchlaufs aller Eingabemodalitäten. Dargestellt ist jeweils die absolute Anzahl, sowie der prozentuale Anteil der Fehlangaben an der Gesamtzahl der Darbietungen. Für jeden Durchlauf und für jede Eingabemethode wurden 16 Landoltringe dargestellt*

Eingabemodalität	1. Testdurchlauf		2. Testdurchlauf	
	Anzahl der Fehlangaben	Anteil der Fehlangaben an der Gesamtzahl der Darbietungen [%]	Anzahl der Fehlangaben	Anteil der Fehlangaben an der Gesamtzahl der Darbietungen [%]
Modifizierter Nummernblock	0	0	1	1,25
8-Wege-Wippschalter	4	5	3	3,75
Modifizierte Fernbedienung	0	0	1	1,25
Sprachliche Rückmeldung	0	0	0	0

Bei insgesamt 640 Landoltring-Darbietungen traten Fehleingaben bei insgesamt 0,6 % im Falle der Präsentation von geraden Orientierungen (horizontal bzw. vertikal) und 0,8 % im Falle der Darbietung von schrägen Lückenpositionen auf.

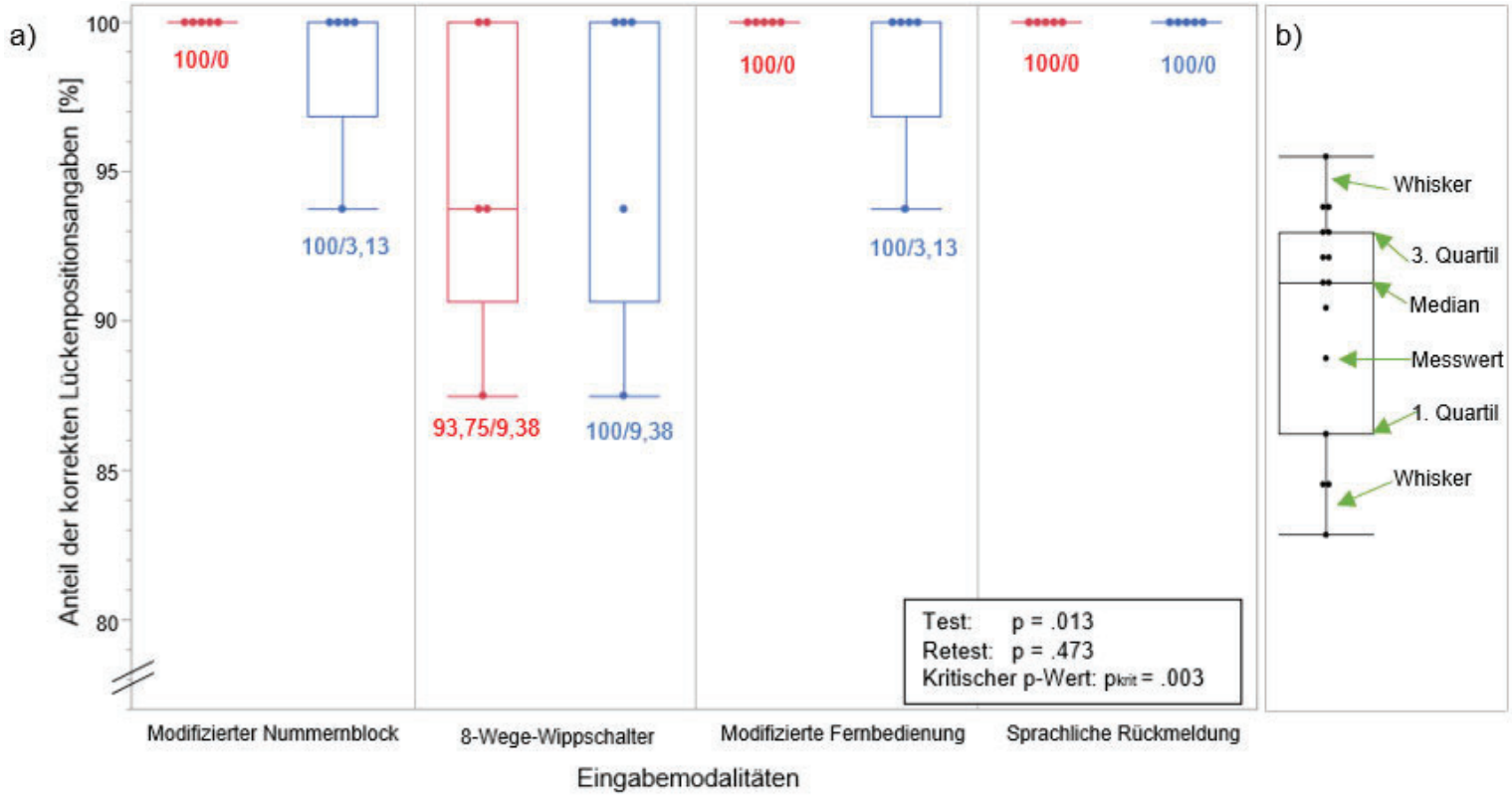


Abbildung 5: *Darstellung der Validität, d.h. des prozentualen Anteils der korrekten Lückenpositionsangaben im Verhältnis zur Gesamtzahl der Darbietungen. 5a) Veranschaulichung mittels Box-Whisker-Plots (die Boxplots wurden durch JMP Trial 15 erstellt, die restliche Grafik wurde durch Microsoft Word 365 bearbeitet) für Test (rot) und Retest (blau). Es werden die Ergebnisse aller Eingabemodalitäten von fünf Probanden ausgegeben. Unter den Boxplots stehen jeweils die dazugehörigen Ergebnisse der deskriptiven Statistik, das heißt die Mediane und Interquartilsabstände. Abbildung 5b) kann der grundlegende Aufbau eines Box-Whisker-Plots entnommen werden. Die Punkte stellen jeweils die Messwerte dar, d.h. den prozentualen Anteil der korrekt eingegebenen Lückenpositionen einer jeden Versuchsperson. Durch die Boxen werden das 1.Quartil, der Median und das 3. Quartil eingegrenzt. Die Verteilung der Werte, die kleiner als das 1. Quartil sind, werden durch den unteren „Whisker" gekennzeichnet, die Verteilung der Werte, die größer als das 3. Quartil sind, durch den oberen „Whisker" (Bortz & Schuster, 2010). Der obere und der untere Whisker stellen den Maximal- bzw. den Minimalwert dar, sofern diese nicht mit dem 1. Und dem 3. Quartil zusammenfallen. Die Länge der Whisker wird demnach durch die Differenz zwischen dem ersten Quartil und dem Minimalwert bzw. dem dritten Quartil und dem Maximalwert bestimmt. Die p-Werte wurden über den Quade-Test in der Programmiersprache R (R i386 3.5.3) ermittelt. Der Bonferroni-korrigierte p-Wert beträgt .003 bei einem Signifikanzniveau von α=5 %. Im Kasten unten rechts können die ermittelten p-Werte, sowie der Bonferroni-korrigierte kritische p-Wert entnommen werden. Daraus lässt sich schließen, dass bezüglich des Anteils der korrekten Lückenpositionsangaben keine statistisch signifikanten Ergebnisse vorliegen*

Interessanterweise äußerten die Probanden bereits direkt nach einer Fehleingabe, dass sie die Angabe falsch getätigt hatten, obwohl weder ein akustisches noch ein visuelles Feedback erfolgten. Ein Proband, welcher im ersten und im zweiten Testdurchlauf jeweils zwei Fehleingaben mit dem 8-Wege-Wippschalter tätigte und welcher mit den drei anderen Eingabemethoden alle Eingaben im Test und im Retest korrekt angegeben hatte, äußerte nach Abschluss der Messungen, dass es für ihn sehr schwierig war, die richtige Position/Taste zu finden, weil ihm die Ecken zur Orientierung fehlten. Die modifizierte Fernbedienung und der modifizierte Nummernblock wiesen begrenzende Ecken und Kanten auf, wodurch es ihm leichter fiel, die richtigen Tasten zu betätigen. Des Weiteren war es auffällig, dass alle Fehler, bis auf einen einzigen, d.h. eine Anzahl von 8 Fehlangaben (von insgesamt 640 Landoltringdarstellungen und insgeamt 9 Fehlangaben), um lediglich *eine* Position (im Uhrzeigersinn) verwechselt wurden: Wollte ein Proband also z.B. die linke Taste betätigen, drückte er aus Versehen die Taste, welche der Orientierung von oben links entsprach, usw. Dies betraf nicht nur den 8-Wege-Wippschalter, sondern auch die modifizierte Fernbedienung und den modifizierten Nummernblock.

4.5 Sekundäre Zielgröße: Retest-Ergebnisse

In *Abbildung 6* sind die intraindividuellen Differenzen zwischen dem ersten und dem zweiten Testdurchlauf für jede Eingabemodalität dargestellt. Hier wird deutlich, dass die Ergebnisse des ersten und zweiten Testdurchlaufs sehr ähnlich sind, da sich die meisten intraindividuellen Differenzen bei null befinden. Liegt die Differenz bei null, bedeutet dies, dass im ersten und im zweiten Testdurchlauf dieselben prozentualen Anteile korrekt angegebener Landoltring-Lückenpositionen erzielt wurden. Beim modifizierten Nummernblock und der modifizierten Fernbedienung weicht nur ein einziger Wert von dieser „Nulllinie“ ab, bei der sprachlichen Rückmeldung sogar keiner und lediglich beim 8-Wege-Wippschalter wurde in mehr als der Hälfte der Fälle im zweiten Testdurchlauf ein anderes Ergebnis erzielt als im ersten Testdurchlauf. Der 8-Wege-Wippschalter war auch die einzige Eingabemodalität, mit welcher sich die Ergebnisse vom ersten zum zweiten Testdurchlauf verbessert haben. Mit diesem wurde im zweiten Testdurchlauf insgesamt eine Fehleingabe weniger getätigt als im ersten Testdurchlauf. Mit dem modifizierten Nummernblock und der modifizierten Fernbedienung wurde es dagegen im zweiten Testdurchlauf jeweils eine Fehleingabe mehr im Vergleich zum ersten Testdurchlauf.

Die Verteilungen der Differenzen können *Anhang 5.2* entnommen werden.

Statistisch gesehen lag auch im zweiten Testdurchlauf kein signifikanter Unterschied auf einem Signifikanzniveau von 5 % zwischen den Eingabemodalitäten vor, da $p = .473 > .003$. Zur Ermittlung dieser Ergebnisse galten dieselben Bedingungen wie für den ersten Testdurchlauf.

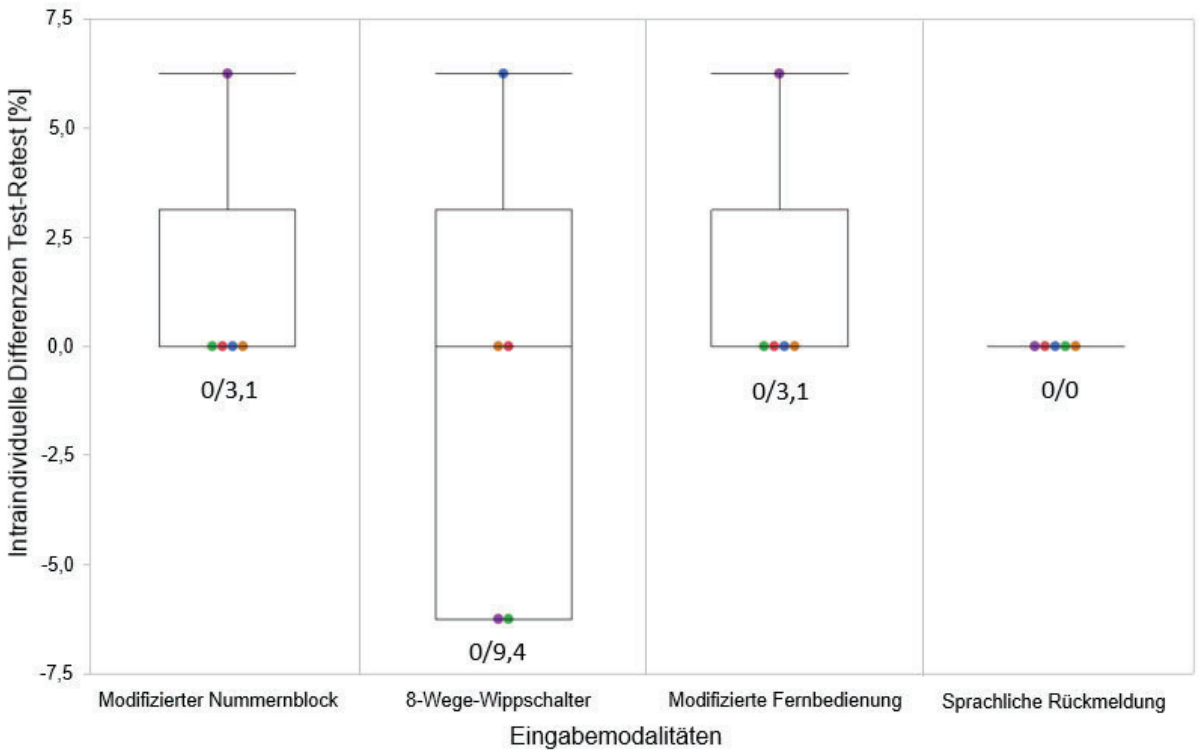


Abbildung 6: *Darstellung der intraindividuellen Differenzen zwischen dem ersten und dem zweiten Durchlauf (Test vs. Retest). Jeder farbige Punkt stellt einen Probanden dar, d.h. jeder Proband wird durch genau eine Farbe dargestellt. Auf der Abszisse sind die Eingabemodalitäten dargestellt, auf der Ordinate die Differenzen zwischen Test und Retest in Prozent. Liegt die Differenz bei 0, lieferte der Proband im ersten und im zweiten Testdurchlauf dasselbe Ergebnis. Bei den Werten > 0 war beim ersten Testdurchlauf der prozentuale Anteil korrekter Lückenpositionen größer als im zweiten Testdurchlauf, bei den Werten < 0 ist es entsprechend umgekehrt. Die Boxplots wurden durch JMP erstellt, die grundlegende Grafik wurde durch Word bearbeitet. Eine Differenz von 6,3 % entspricht, bei 16 dargebotenen Landoltringen, lediglich einer einzigen Lückenpositionsangabe. Unterhalb der Boxplots ist jeweils der Median/IQR der Verteilung angegeben. Der Aufbau und die Erklärung eines Boxplots können Abbildung 5 und dessen Beschriftung entnommen werden*

4.6 Sekundäre Zielgröße: Gesamtuntersuchungsdauer

Alle Ergebnisse der deskriptiven und der induktiven Statistik sind in *Tabelle 4 (Seite 28)* zu sehen. Die Darstellungen der Verteilungen der Untersuchungsdauer können *Anhang 5.3* entnommen werden. Durch den modifizierten Nummernblock wurde die kürzeste Untersuchungsdauer (21/5 s) erzielt. Auf Rang 2 lag der 8-Wege-Wippschalter (24/10 s), auf Rang 3 die modifizierte Fernbedienung (29/7 s) und auf Rang 4 die sprachliche Rückmeldung (35/7,5 s).

Durch den Quade-Test, durchgeführt in der Programmiersprache R (R i386 3.5.3) konnte ein statistisch signifikanter Unterschied ($p = .001$) zwischen den Eingabemodalitäten festgelegt werden. Mit Hilfe des Quade „Post hoc"-Tests, welcher ebenfalls in der Programmiersprache R (R i386 3.5.3) durchgeführt wurde, konnten signifikante Unterschiede zwischen dem modifizierten Nummernblock und der sprachlichen Rückmeldungen ($p < .001$) und zwischen dem 8-Wege-Wippschalter und der sprachlichen Rückmeldung ($p = .002$) festgestellt werden. Der Bonferroni-korrigierte kritische p-Wert beträgt .003 auf einem Signifikanzniveau von α=5 %.

Im zweiten Testdurchlauf wiesen der modifizierte Nummernblock und die sprachliche Rückmeldung bezüglich des ermittelten Medians geringfügig längere Untersuchungsdauern auf als im ersten Testdurchlauf (Erhöhung beim modifizierten Nummernblock von 21 auf 22 s und bei der sprachlichen Rückmeldung von 35 auf 36 s). Bei dem 8-Wege-Wippschalter blieb der Median konstant bei 24 s und bei der modifizierten Fernbedienung senkte sich der Median von 29 auf 28 s.

Mittels des Quade-Tests konnte im zweiten Testdurchlauf kein statistisch signifikanter Unterschied auf einem Signifikanzniveau von 5 % zwischen den Eingabemodalitäten festgestellt werden, da $p = .011 > .003$. Zur Ermittlung dieses Ergebnisses gelten dieselben Bedingungen wie im ersten Testdurchlauf. Da kein statistisch signifikanter Unterschied ermittelt werden konnte, war kein Quade „Post hoc“-Test notwendig.

Die genaue Durchführung des Quade-Tests und die Berechnung des Bonferroni-korrigierten p-Wertes kann *Kapitel 3.4* entnommen werden.

In *Abbildung7* sind die Ergebnisse der benötigten Untersuchungsdauer von Test und Retest als Box-Whisker-Plots dargestellt.

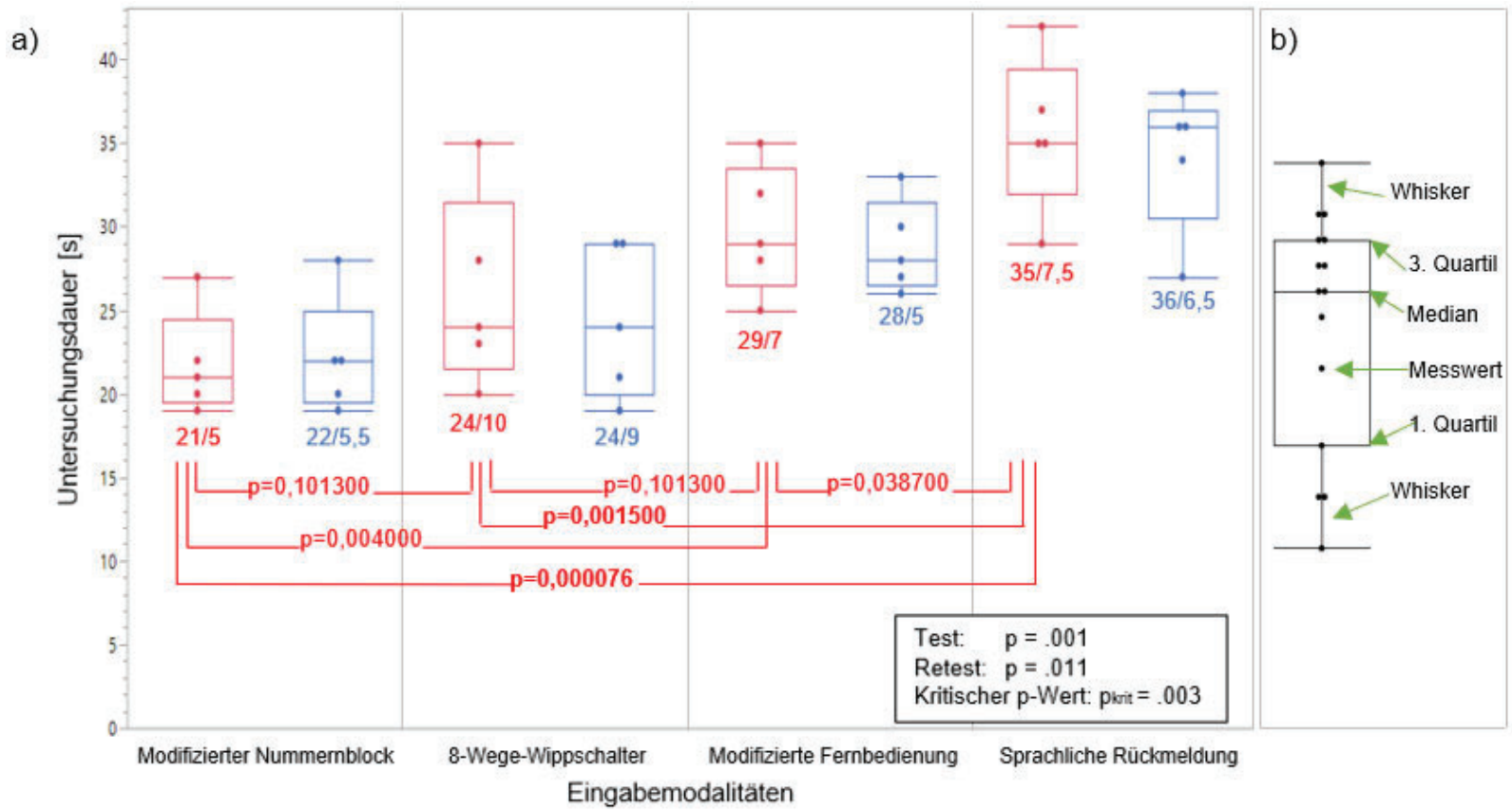


Abbildung 7: *Darstellung der Untersuchungsdauer in Sekunden. 7a) Veranschaulichung mittels Box-Whisker-Plots (erstellt mit JMP Trial 15, modifiziert durch Microsoft Word 365) für Test (rot) und Retest (blau). Es werden die Ergebnisse aller Eingabemodalitäten von fünf Probanden ausgegeben. Unter den Boxplots stehen jeweils die dazugehörigen Ergebnisse der deskriptiven Statistik, das heißt die Mediane und Interquartilsabstände. Abbildung 7b) kann der grundlegende Aufbau eines Box-Whisker-Plots entnommen werden. Die Punkte stellen jeweils die Messwerte dar, d.h. die benötigte Gesamtuntersuchungsdauer in Sekunden pro Testdurchlauf, pro Gerät, einer jeden Versuchsperson. Abbildung 5 und dessen Legende kann eine genauere Erläuterung der Boxplots entnommen werden. Der Bonferroni-korrigierte p-Wert beträgt .003 bei einem Signifikanzniveau von α=5 %. Da nur der 1. Testdurchlauf einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Eingabemethoden ergab (p < .003), wurde nur hier der Quade „Post hoc"-Test in der Programmiersprache R durchgeführt. Daher sind auch nur die p-Werte des ersten Testdurchlaufs zwischen jeweils zwei Eingabemodalitäten eingezeichnet, in fett markiert die beiden signifikanten Unterschiede*

4.7 Sekundäre Zielgröße: Probandenzufriedenheit

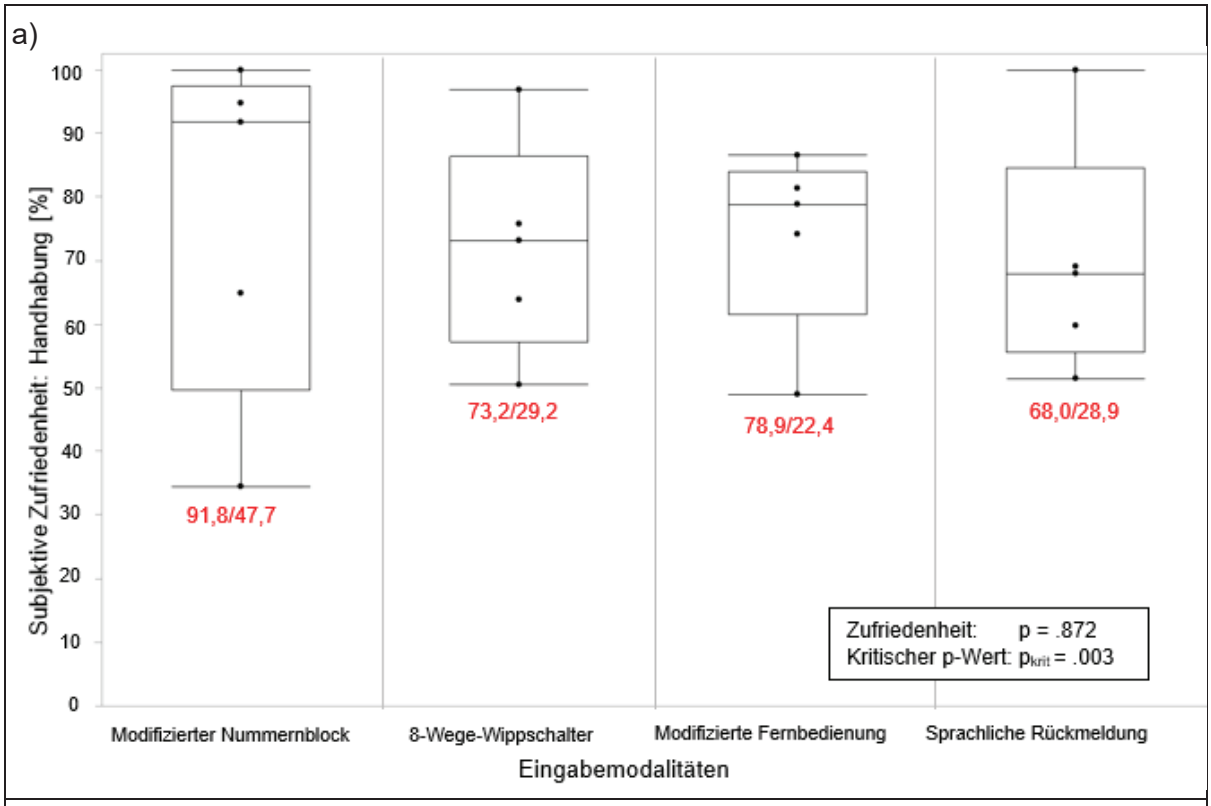
Die Skala der Visual Analogue Scales reicht von 0 bis 100, wobei 0 die schlechteste und 100 die bestmögliche Veränderung darstellt (Crichton, 2001). Eine Ausnahme gilt bei der Frage, ob den Probanden die Durchführung gegen Ende der Testreihe mit der jeweiligen Eingabemodalität leichter gefallen ist als anfangs, da hier eine geringe Veränderung (0) als positiv und eine große Veränderung (100) als negativ gewertet wird. Eine genauere Beschreibung kann *Kapitel 3.3* entnommen werden. Die Fragebögen können dem *Anhang 2.6* entnommen werden.

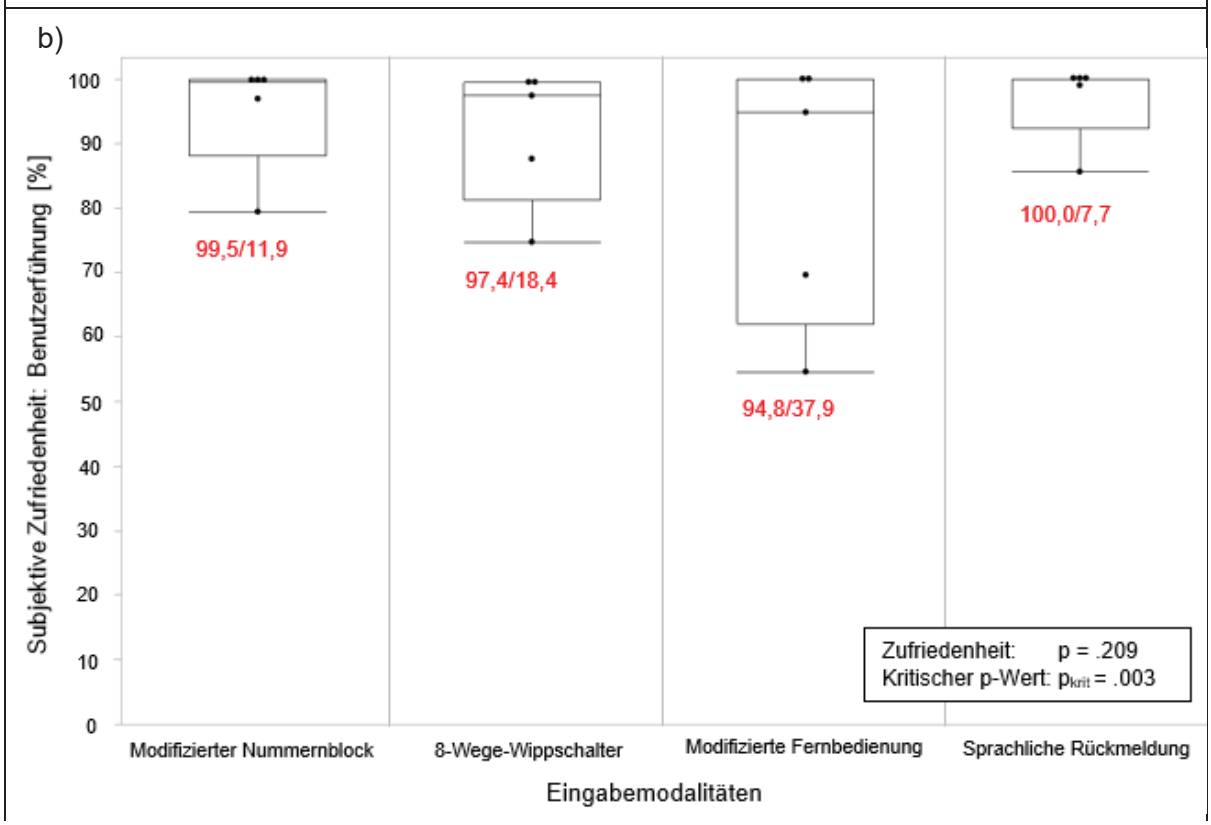
Werden die Ergebnisse der deskriptiven Statistik *(Tabelle 4, Seite 28 bzw. Anhang 5.4)* betrachtet, ergeben sich Unterschiede zwischen den einzelnen Eingabemethoden hinsichtlich der subjektiven Probandenzufriedenheit. Bezüglich der Handhabung bzw. der allgemeinen Durchführung lieferte der modifizierte Nummernblock die höchste Zufriedenheit (91,8/47,7), die sprachliche Rückmeldung die geringste (68,0/28,9). Hinsichtlich des Selbsterklärungsgrades realisierte die sprachliche Eingabe den höchsten Wert (100/7,7), während die modifizierte Fernbedienung das geringste Resultat erzielte (94,8/37,9). Bezüglich des Schwierigkeitsgrades konnte die höchste Zufriedenheit mit dem modifizierten Nummernblock (84,5/47,5) erreicht werden, die geringste Zufriedenheit erlangte die sprachliche Rückmeldung (54,1/51,1). Die Frage, ob den Probanden die Handhabung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen ist als anfangs, weist Interquartilsabstände, welche ein Maß für die Streuung sind, zwischen 46,7 und 81,2 auf. Die Mediane und Interquartilsabstände können *Tabelle 4, Seite 28* entnommen werden. Der kleinste Median lag bezüglich der Veränderung bei der sprachlichen Rückmeldung (3,1/81,2) und der größte Median bei dem 8-Wege-Wippschalter (58,8/64,7).

In der Gesamtbewertung lieferte die modifizierte Fernbedienung die geringste subjektive Zufriedenheit (68,8/19,9). Der modifizierte Nummernblock wies dagegen die höchste Zufriedenheit auf (76,9/37,3).

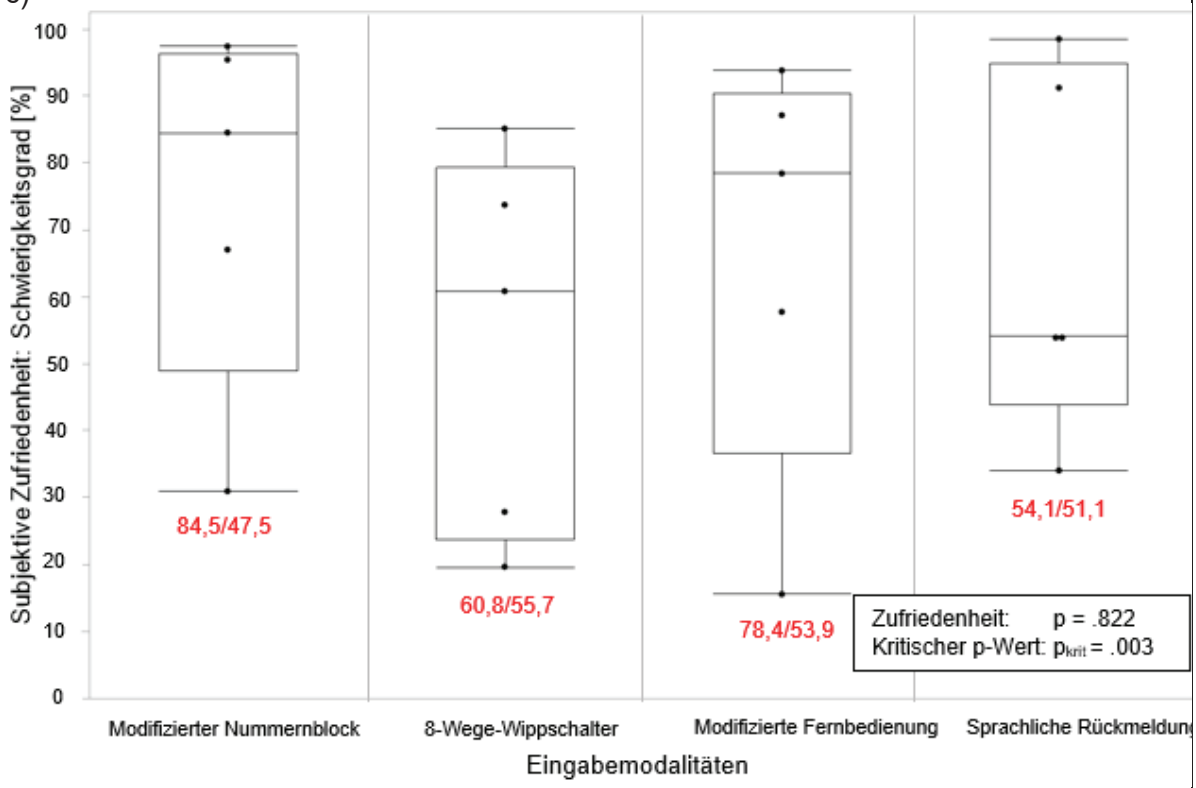
In Abbildung 8 a) bis e) sind die Ergebnisse der deskriptiven Statistik der Handhabung, der Benutzerführung, dem Schwierigkeitsgrad, der Veränderung und der Gesamtbewertung als Box-Whisker-Plots dargestellt.

Werden die Ergebnisse der induktiven Statistik betrachtet *(ebenfalls Tabelle 4, Seite 28)*, ergaben weder der Vergleich der einzelnen Fragen noch der Vergleich der Gesamtbewertung einen statistisch signifikanten Unterschied. Der p-Wert der durchschnittlichen Gesamtbewertung betrug $p = .945$. Der Bonferroni-korrigierte kritische p-Wert beträgt .003 bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=5$ %.

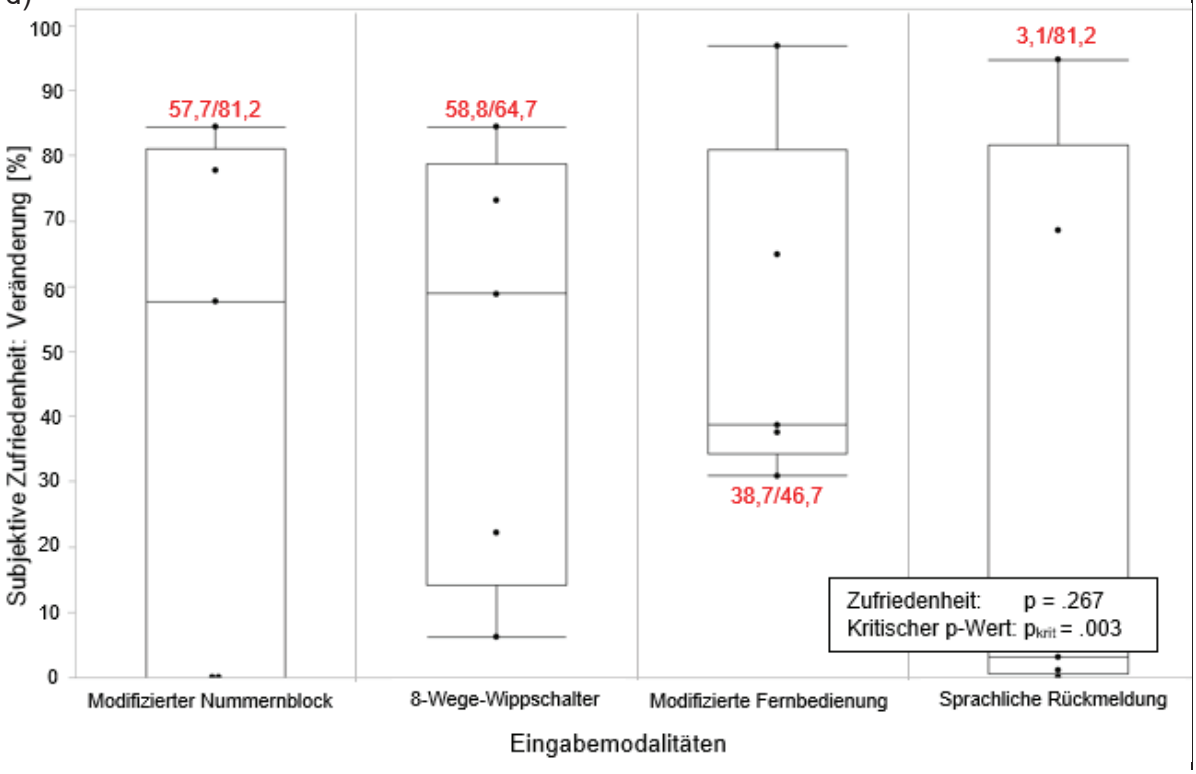

a)
Subjektive Zufriedenheit: Handhabung [%]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
91,8/47,7
73,2/29,2
78,9/22,4
68,0/28,9
Zufriedenheit: p = .872
Kritischer p-Wert: p_{krit} = .003
Modifizierter Nummernblock
8-Wege-Wippschalter
Modifizierte Fernbedienung
Sprachliche Rückmeldung
Eingabemodalitäten


b)
Subjektive Zufriedenheit: Benutzerführung [%]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
99,5/11,9
97,4/18,4
94,8/37,9
100,0/7,7
Zufriedenheit: p = .209
Kritischer p-Wert: p_{krit} = .003
Modifizierter Nummernblock
8-Wege-Wippschalter
Modifizierte Fernbedienung
Sprachliche Rückmeldung
Eingabemodalitäten

c)


Subjektive Zufriedenheit: Schwierigkeitsgrad [%]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
84,5/47,5
60,8/55,7
78,4/53,9
54,1/51,1
Zufriedenheit: p = .822
Kritischer p-Wert: p_{krit} = .003
Modifizierter Nummernblock
8-Wege-Wippschalter
Modifizierte Fernbedienung
Sprachliche Rückmeldung
Eingabemodalitäten

d)


Subjektive Zufriedenheit: Veränderung [%]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
57,7/81,2
58,8/64,7
38,7/46,7
3,1/81,2
Zufriedenheit: p = .267
Kritischer p-Wert: p_{krit} = .003
Modifizierter Nummernblock
8-Wege-Wippschalter
Modifizierte Fernbedienung
Sprachliche Rückmeldung
Eingabemodalitäten

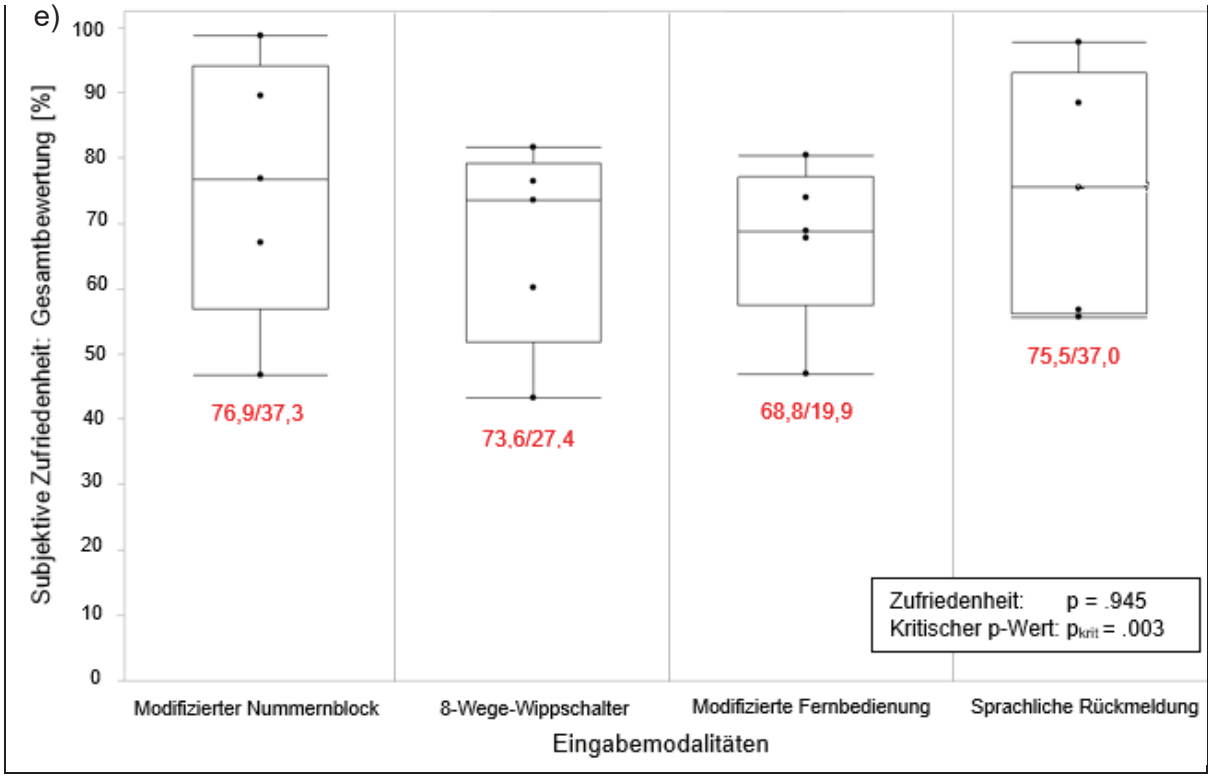


Abbildung 8: *Darstellung der subjektiven Probandenzufriedenheit, untergliedert in Handhabung (a), Benutzerführung (b), Schwierigkeitsgrad (c), Veränderung (d) und Gesamtbewertung (e) als Box-Whisker-Plots. Der Aufbau und die Erklärung der Boxplots kann Abbildung 6 entnommen werden. Die Messwerte beziehen sich auf die Ergebnisse von fünf Probanden und wurden mittels Fragebogen und visual analogue scales ermittelt. Es liegen keine statistisch signifikanten Unterschiede vor, da alle P-Werte > .003 sind. Die Boxplots wurden mit JMP erstellt und mithilfe von Word bearbeitet*

5. Diskussion

Damit die im vorherigen Kapitel beschriebenen Ergebnisse sinnvoll beurteilt werden können, ist es essenziell, diese mit anderen Studienergebnissen zu vergleichen. Im Folgenden werden die Vergleiche auf Basis der definierten Zielgrößen vollzogen.

5.1 Richtungsschwächen

In *Kapitel 1.1* wurden bereits Informationen zu Studien bezüglich der Prävalenz von Personen, die Schwierigkeiten haben, die Begriffe rechts und links auseinanderzuhalten, gegeben. Entsprechende Hinweise fanden sich (bei geringer Probandenzahl) auch in der aktuellen Studie: Eine von fünf Versuchspersonen gab an, *häufig* rechts und links zu verwechseln und eine andere, dass sie die beiden Richtungen *gelegentlich* verwechseln würde.

Nicht jeder Kultur sind die Begriffe rechts und links geläufig. Zahlreiche Ureinwohner-Kulturen verwenden in ihrem Alltag anstelle dessen die Himmelsrichtungen, um räumliche Anordnungen auszudrücken (Kramer, 2010). Dies betrifft rund „ein Drittel der weltweit 6000 Sprachen […] – hauptsächlich […] [die] kleinen Völker in Äquatornähe“ (Kramer, 2010). „[E]s gibt ausgesprochen Rechtslinksschwache, welche über die Himmelsrichtungen allenthalben sofort und ohne Überlegung unterrichtet sind“ (Elze, 1926).

Der Unterschied ist hierbei konkret die Abgrenzung zwischen der egozentrischen und der allozentrischen Denkweise. Bei der egozentrischen Denkweise steht der eigene Körper im Mittelpunkt, von diesem aus werden alle Orientierungen und Richtungen, wie rechts und links, wahrgenommen. Ist das Objekt, vom Betrachter aus gesehen, rechts und der Mensch dreht sich um 180 °, ist die Lage des Objektes in entgegengesetzter Richtung vom Betrachter aus gesehen, also links platziert. Bei der allozentrischen Denkweise dagegen wird nicht das Verhältnis zum eigenen Körper, sondern das Verhältnis zur Umgebung, also das Verhältnis zu den Himmelsrichtungen, betrachtet. Ist hier das Objekt vom Betrachter aus gesehen rechts, wird er dieses beispielsweise als südlich betiteln. Dreht sich der Betrachter um 180° um, befindet sich das Objekt immer noch in derselben Lage, nämlich südlich (Haun, 2015; Kramer, 2010).

Die Schwierigkeit bei der egozentrischen Denkweise und die damit einhergehende Unterscheidung von rechts und links ist, dass sich die Positionen wechseln, sobald die Richtungen aus der Perspektive einer anderen Person benannt werden müssen. Das rechte Auge eines mir gegenüberstehenden Menschen erscheint auf meiner linken Seite etc. Bei den Richtungsangaben oben und unten ist dieses Problem nicht vorhanden, da die Richtungen sich nicht durch verschiedene Perspektiven ändern (Elze, 1926; Ocklenburg, 2019). „Den Rechtslinksschwachen kennzeichnet […} der Mangel an Seitenbewu[ss]tsein, an klarem Gefühl für den Gegensatz der beiden Seiten“ (Elze, 1926).

„[E]volutionär im Menschen angelegt ist vorrangig die Orientierung nach der Umgebung und den Himmelsrichtungen“ (Kramer, 2010). Daher werden wir alle mit dieser Veranlagung geboren. Bei den Ureinwohnern ist diese Denkweise bis heute sowohl bei den Erwachsenen als auch bei den Kindern verbreitet. Bei Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren aus Industrieländern kann dies ebenfalls beobachtet werden. Erst wenn den Kindern die Denkweise über die Orientierungen rechts und links beigebracht wird, wird diese Fähigkeit verlernt, weshalb sich Erwachsene aus Industrieländern nicht mehr an den

Himmelsrichtungen orientieren (Haun, 2015; Kramer, 2010). „Die allozentrische Strategie nutzen größtenteils indigene Kulturen Australiens, Westafrikas oder Papua-Neuguineas“ (Haun, 2015).

In der Praxis haben sich viele Rechts-Links-Schwache verschiedene Merkhilfen angeeignet, die Begriffe rechts und links auseinanderzuhalten (Elze, 1926; Gormley, 2015; Ocklenburg, 2019). Das bekannteste Merkmal hierbei ist es, mit Daumen und Zeigefinger ein L zu formen. Die Hand, bei der das geformte L dem lateinischen Buchstaben gleicht, ist die linke Hand (Gormley, 2015; Ocklenburg, 2019). Auch die Probandin mit Rechts-Links-Schwäche, welche in dieser Studie untersucht wurde, wendete diese Hilfe an. Daher konnte sie dennoch alle Landoltring-Lückenpositionen bei der sprachlichen Rückmeldung korrekt benennen. Sie legte hierfür ihre linke Hand auf ihrem linken Oberschenkel ab, wodurch sie sich orientieren konnte.

5.2 Versuchsaufbau/allgemeine Durchführung

Durch die streng gewählten Ein- und Ausschlusskriterien *(Kapitel 3.1)* konnte eine homogene Stichprobe untersucht werden, wodurch inkorrekte Eingaben nicht auf krankheits- oder sehbezogenene Umstände zurückgeführt werden konnten.

Durch den in dieser Studie verwendeten Sichtschutz zur Abdeckung der Geräte konnten Störfaktoren wie Konvergenz und Akkommodation eliminiert werden. Besonders bei der Visusbestimmung, wofür diese Geräte entwickelt wurden, spielt dies eine entscheidende Rolle. Durch Konvergenz und Akkommodation können Messfehler entstehen, da sich die Augenlinse und die Augenmuskeln immer neu an den gegebenen Abstand anpassen müssen. Die Größe des dadurch induzierten Messfehlers hängt u.a. vom Alter des Probanden/des Patienten ab.

5.3 Klinische Relevanz

Die klinische Relevanz beschreibt den persönlichen Nutzen, den der Patient durch die jeweilige Behandlungsmethode/Eingabemethode hat. Wirkt sich eine Eingabemethode für den Patienten günstiger aus als eine andere Eingabemethode, liegt eine klinische Relevanz vor (Wink, 2018). Die klinische Relevanz muss hierbei getrennt für alle relevanten Variablen definiert werden. Am besten lässt sich ein klinisch relevantes Ergebnis feststellen, indem die Patienten/Probanden direkt danach gefragt werden (Wink, 2018). Hierbei wird explizit danach geschaut, „inwieweit Verbesserungen nicht nur messbar sind, sondern auch von den Patienten als Verbesserung empfunden werden, d.h. klinische Relevanz besitzen“ (Wink, 2018). Daher sollte zur Bestimmung der klinischen Relevanz unbedingt die subjektive Probandenzufriedenheit mit einkalkuliert werden. Welche Eingabemodalität sorgte für die höchste Zufriedenheit? Welche Eingabemodalität wurde am einfachsten verstanden? Welche Eingabemethode hat die beste Bewertung bezüglich der Handhabung bekommen? Stellen die Eingabegeräte eine Verbesserung zum ‚gold standard‘, d.h, zur sprachlichen Rückmeldung dar? In dieser Studie wurde diese Möglichkeit nicht wahrgenommen, was im Nachhinein ein Schwachpunkt gewesen war. Die subjektive Probandenzufriedenheit wurde zwar abgefragt, diese wurde aber nicht ins Verhältnis zum ‚gold standard‘ gesetzt, wodurch der eigentliche Nutzen der Eingabegeräte nicht isoliert bewertet werden kann. Es wäre sinnvoll gewesen, alle Eingabegeräte mit der sprachlichen Rückmeldung zu vergleichen, welche als ‚gold standard‘ gilt. Dieses Thema wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels diskutiert und ist der Grund dafür,

warum eine Bewertung eines klinisch relevanten Effekts in dieser Studie eigentlich nicht möglich war. Weiterer Grund hierfür ist, dass die Bewertung von individuellen Veränderungen deutlich sinnvoller gewesen wäre als die Bewertung von Gruppenunterschieden. Doch auch diese Festlegung hätte vor der Datenerhebung stattfinden müssen und wird im weiteren Verlauf des Kapitels diskutiert.

Um die Eingabegeräte mit dem ‚gold standard' vergleichen zu können, hätte jedoch eine gerichtete Hypothese formuliert werden müssen, welche lautet:

Sind die Eingabegeräte zur Eingabe von Landoltring-Lückenpositionen besser geeignet als die Standardmethode der sprachlichen Rückmeldung?

Das Studiendesign hätte ebenfalls angepasst werden müssen, sodass alle Probanden mit der sprachlichen Rückmeldung anfangen müssen, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Die drei Eingabegeräte hätten dann, wie in dieser Arbeit auch, in randomisierter Reihenfolge getestet werden können.

„Ausgangspunkt jeder Relevanzbewertung [ist] eine multidimensionale Abwägung […] und hierbei [müssen] auch wertebasierte Entscheidungen getroffen werden" (Windeler & Thomas, 2010).

Die Methoden der Relevanzbewertung lassen sich in vier Gruppen einteilen (Windeler & Thomas, 2010):

1. Präzisionsbasierte Methoden, bei welchen die Messgenauigkeit im Vordergrund steht
2. Verteilungsbasierte Methoden
3. Ankerbasierte Methoden
4. Meinungsbasierte Methoden, bei welchen die subjektive Einschätzung von Betroffenen oder klinischen Experten herangezogen wird

Nun würde es nahe liegen, dass die multidimensionale Abwägung durch eine Kombination der präzisionsbasierten Methode und der meinungsbasierten Methode gewährleistet wird, bei welcher die Präzision anhand der Messgenauigkeit, d.h. anhand der Validität und die Meinung anhand der subjektiven Probandenzufriedenheit beurteilt wird.

Jedoch muss bei der Festlegung der klinischen Relevanz besonders darauf geachtet werden, dass die Bewertung der Relevanz von Gruppenunterschieden nicht mit der Bewertung der Relevanz von individuellen Veränderungen vermischt werden darf! „Die vielfältig zu findenden Vorschläge und Konzepte zur Quantifizierung von Relevanzgrenzen sind […] nur für die Anwendung auf individuelle Veränderungen, nicht aber für die Betrachtung von Gruppenunterschieden intendiert und anwendbar" (Windeler & Thomas, 2010). Somit ist es absolut unzulässig, beispielsweise mediane Unterschiede von der gesamten Stichprobe mit verschiedenen individuellen Veränderungen zu vergleichen, da es sich hierbei um „völlig unterschiedliche Sichtweisen und formal inkompatible Werte handelt" (Windeler & Thomas, 2010).

Bei der Kombination der präzisionsbasierten Methode und der meinungsbasierten Methode muss daher unbedingt beachtet werden, dass sich beide Methoden, das heißt die Messgenauigkeit und die subjektive Meinung, jeweils nur auf ein einzelnes Individuum oder

auf die gesamte Gruppe beziehen dürfen, eine Vermischung dieser beiden Kriterien ist unzulässig!

Für ein Individuum ist es einfacher, Werteurteile bei der Abwägung von mehreren Dimensionen individuell durchzuführen und quantifizieren zu lassen (Windeler & Thomas, 2010). Für einen Gruppenunterschied ist dies deutlich schwieriger, da „eine für alle Betroffenen gleich gerichtete und gleich gewichtete Abwägung unterschiedlicher Dimensionen stattfinden müsste, und diese zudem noch in abstrakt bleibenden Dimensionen (Gruppenmittelwerte) wenig greifbar ist“ (Windeler & Thomas, 2010).

Die Festlegung, ob bei der Bewertung der klinischen Relevanz individuelle Unterschiede oder Gruppenunterschiede berücksichtigt werden sollen, setzt die Frage voraus, ob die Eingabegeräte nur bei Menschen mit einer bekannten Rechts-/Linksschwäche oder einer vorhandenen Sprachbarriere angewendet werden sollen, oder ob das Eingabegerät gleichermaßen für alle Menschen, unabhängig von deren Ausgangssituation, sinnvoll sein soll.

Bei der Auswertung dieser Frage gilt es zu beachten, dass die klinische Relevanz immer von der Ausgangssituation bzw. vom Schweregrad der Einschränkung abhängig ist (Wink, 2018). So wird das Gerät für jemanden, der kein oder nur brüchiges Deutsch spricht und/oder eine (gravierende) Rechts-/Linksschwäche hat einen erheblichen Nutzen bringen, selbst wenn dieses einzelne Eingabefehler zulässt. Dagegen werden jemandem, der alle Landoltring-Lückenpositionen mündlich korrekt benennen kann, die Eingabegeräte keinen Nutzen bringen, sondern im Gegenteil unter Umständen sogar zu einem schlechteren Ergebnis und/oder einer geringeren Zufriedenheit führen. Dieser Zusammenhang führt wieder zurück auf die Frage, welche bereits am Anfang dieses Kapitels aufgezählt wurde: Stellen die Eingabegeräte eine Verbesserung zum ‚gold standard‘, d.h, zur sprachlichen Rückmeldung dar? Und diese Frage muss für jedes Individuum getrennt beantwortet werden, da sie von der Ausgangssituation, d.h. von dem Vorhandensein einer Rechts-/Linksschwäche, einer Sprachhürde und unter Umständen weiteren Einschränkungen abhängig ist. „Die Gesamtheit der individuell unterschiedlichen Verläufe bestimmt das Studienergebnis“ (Kleist, 2010).

Doch wie wird die klinische Relevanz nun bewertet?

„Man kann sich einen formal orientierten engen Rahmen der Bewertung vorstellen, der z.B. festlegt, in wie weit verschiedene Endpunkte in welcher Gewichtung gewertet werden sollen und wie diese Bewertung ablaufen kann, ggf. unter Beteiligung von Entscheidern und Betroffenen“ (Windeler & Thomas, 2010). Um die bereits erwähnte Kombination der präzisionsbasierten und der meinungsbasierten Methode wieder aufzugreifen, ist es hier möglich, die subjektive Meinung und die Messgenauigkeit unterschiedlich zu gewichten. Denn die subjektive Meinung spielt zwar eine große Rolle, wenn der Patient jedoch vollständig zufrieden ist und das Messergebnis nicht dem wahren Wert der Sehschärfe entspricht, ist der Nutzen für den Patienten stark herabgesetzt und damit auch die klinische Relevanz. Damit wäre zwar die individuelle klinische Relevanz messbar, diese könnte allerdings nicht abhängig von der Ausgangssituation gemacht werden. Um dies zu gewährleisten, kann ein weiterer, „vor allem kriterienbasierte[r] Rahmen“ (Windeler & Thomas, 2010) festgelegt werden, in dem z.B. eine eventuell vorhandene Rechts-/Linksschwäche, Sprachbarrieren etc. einfließen. „Hier sind Ansätze, die formal jedenfalls eine minimale Relevanz zu quantifizieren versuchen und

bei entsprechendem Erfolg einen ergänzenden kriteriengestützten Bewertungsprozess anschließen, erfolgsversprechend“ (Windeler & Thomas, 2010). Um zu spezifizieren, bei welchen Probanden unter welchen Ausgangslagen die Eingabegeräte einen Nutzen für die Probanden bringen, wäre es sinnvoll, eine große, gemischte Probandengruppe (d.h. Fremdsprachler, Menschen mit Rechts-/Linksschwächen, Schwerhörige, Stumme etc.) mit den zusätzlichen Fragen der subjektiven Probandeneinschätzung, welche bereits am Anfang dieses Kapitels aufgezählt wurden, durchzuführen. Das Studiendesign sollte wie oben beschrieben durchgeführt werden, d.h. jeder Proband sollte mit der sprachlichen Rückmeldung beginnen. Die Ausgangslage eines jeden Patienten spiegelt sich in den Ergebnissen der sprachlichen Rückmeldung wider, da hier Rechts-/Linksschwächen und/oder Sprachbarrieren etc. zielsicher an den Fehlangaben erkannt werden können. Hierzu ist es allerdings notwendig, überschwellige Landoltringe zum Test zu verwenden, um 100 % sicherzustellen, dass der Prüfling die Landoltring-Lückenposition erkannt und nicht geraten hat.

Wie wird die Messgenauigkeit der einzelnen Eingabemethoden zur Bewertung der klinischen Relevanz bestimmt?

Es existiert „eine Vielzahl von konkreten, meist indikations- und skalenspezifischen Lösungsvorschlägen […], die jedoch kaum praktisch eingesetzt werden“ (Windeler & Thomas, 2010). Hierzu gehört beispielsweise die Berechnung von Cohen’s d, Hedge’s g, Hauschke δ (Wink, 2018), die Bewertung der Number needed to treat (NNT) und des relativen Risikos (Krummenauer, 2002b) , die Bewertung der „agreement limits“ (Krummenauer, 2002a), etc. Jedoch gibt es bislang keine triviale Lösung für die Bewertung der klinischen Relevanz, alle bisherigen Herangehensweisen und Lösungsvorschläge sind nicht zufriedenstellend (Windeler & Thomas, 2010). Beispielsweise wird Cohen’s d vorgeworfen, er sei „ein abstrakter Wert, ihm kommt keine Bedeutung zu und für sich allein betrachtet ermöglicht er keine Bewertung der klinischen Relevanz eines Therapieeffekts“ (Kleist, 2010), zitiert nach (Kraemer et al., 2003).

P-Werte und die Ergebnisse anderer ausschließlich statistischer Verfahren dürfen nicht zur Beurteilung der klinischen Relevanz herangezogen werden, da p-Werte lediglich eine Aussage darüber machen, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Ergebnis auf die Grundgesamtheit übertragen werden kann. Sie sagen nichts über den Wertebereich, in welchem der wahre Wert liegt, sowie über die Richtung oder Größe einer Differenz zwischen verschiedenen Gruppen aus. Konfidenzintervalle, d.h. Vertrauensintervalle, werden ebenfalls mit statistischen Methoden berechnet. Diese erlauben, zusätzlich zu den Aussagen zur statistischen Signifikanz, jedoch auch eine Aussage darüber, in welchem Bereich der wahre Wert mit einer vorher festgelegten Wahrscheinlichkeit (meistens 95 %) liegt, sowie über die Richtung und Stärke des untersuchten Effekts. Damit werden Aussagen zur statistischen Plausibilität und klinischen Relevanz der Studienergebnisse möglich (du Prel et al., 2009). Durch die Angabe von Konfidenzintervallen können somit die statistische Signifikanz und die klinische Relevanz in einem einzigen Ausdruck dargeboten werden. Grund hierfür ist, dass das Konfidenzintervall in derselben Einheit wie die klinischen Endpunkte ausgegeben wird, wodurch ein direkter Vergleich möglich wird (du Prel et al., 2009; Krummenauer, 2003). Dies bedeutet aber keinesfalls, dass die klinische Relevanz mit der statistischen Signifikanz gleichzusetzen ist! Unabhängig davon, ob das Ergebnis statistisch signifikant ist oder nicht,

muss das Ergebnis hinsichtlich dessen klinischer Relevanz getrennt beurteilt werden. Bei einer sehr großen Stichprobe kann ein signifikantes Ergebnis resultieren, das bei einer kleinen Stichprobe nicht signifikant gewesen wäre (du Prel et al., 2009). Die klinische Relevanz und die statistische Signifikanz beschreiben zwei völlig unterschiedliche Faktoren eines Studienergebnisses und dürfen unter keinen Umständen miteinander verwechselt werden (Baulig et al., 2008). Daher ist die Angabe von p-Werten in Kombination mit der Angabe von Konfidenzintervallen in wissenschaftlichen Arbeiten sinnvoll, da sich beide statistischen Konzepte ergänzen (Krummenauer, 2003). Alternativ zu den Konfidenzintervallen können ein Effektmaß und die p-Werte simultan angegeben werden. Als Effektmaß sollten für Gruppenunterschiede oder intraindividuelle Änderungen mediane Unterschiede aufgezeigt werden (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, o. J.), „die Streuung kann mit dem Interquartilsabstand des Unterschiedes beschrieben werden“ (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, o. J.). Für diese Studie wäre es sinnvoll gewesen, unter der Bedingung, dass die Eingabegeräte mit dem ‚gold standard‘ direkt verglichen worden wären, die medianen Unterschiede intraindividueller Differenzen anzugeben und zu vergleichen. In Anbetracht dessen, dass in dieser Studie allerdings eine ungerichtete Hypothese aufgestellt wurde, welche nach der Datenerhebung nicht mehr verändert werden durfte und die klinische Relevanz bei den hier getesteten Eingabegeräten besonders von der Ausgangslage eines jeden Individuums abhängig ist und Gruppenunterschiede wenig Sinn ergeben, konnte dies im Nachhinein nicht mehr realisiert werden. Es wäre außerdem in einem ersten Schritt sinnvoller gewesen zu testen, in wie weit Eingabegeräte überhaupt eine Verbesserung gegenüber der sprachlichen Rückmeldung unter gegebenen Umständen darstellen, als direkt viele Eingabegeräte paarweise miteinander zu vergleichen. In einem weiteren Schritt kann dann ein Vergleich durchgeführt werden, welches der Eingabegeräte am besten geeignet ist.

Für eine weitere Studie unter den gezeigten Kriterien/Veränderungen sollte dann immer noch festgelegt werden, ab welchem Unterschied eine klinische Relevanz vorliegt.

Allgemein gilt: Keines der Geräte sollte Eingabefehler induzieren. Ein Eingabefehler tritt auf, wenn die Versuchsperson den Landoltring eigentlich erkennen kann, die Lücke aber dennoch (versehentlich) falsch eingibt. Fehleingaben können die Ergebnisse bei einer Sehschärfeprüfung gravierend beeinflussen. Jede Fehleingabe ist also für die klinische Relevanz von Bedeutung, da mit Hilfe der Eingabemodalitäten die Störfaktoren wie Rechts-/Linksschwäche, Sprachbarrieren etc. überwunden werden sollen. Es kann nicht toleriert werden, dass durch die Verwendung von Eingabegeräten anderweitige Störfaktoren, welche vorher gar nicht vorhanden waren, induziert werden. Daher wurde die Herangehensweise an die Bewertung der klinischen Relevanz, wie viele Landoltringe falsch eingegeben werden müssen, um eine Visusstufe nicht zu bestehen, ausgeschlossen.

„Je größer sich […] der Unterschied zwischen den medianen Effektmaßen […] zeigt, desto höher erachtet man die klinische Relevanz des Studienergebnisses“ (Baulig et al., 2008). Um diese Aussage mit der vorher beschriebenen Variante der kriterienbasierten und meinungsbasierten Methode zu kombinieren, wurde für die Bewertung der Relevanz individueller Unterschiede folgendes festgelegt:

Die Validität, d.h. die Messgenauigkeit und damit die medianen Effektmaße werden automatisch besser als der ‚gold standard‘ sein, sobald die Landoltring-Lückenpositionen durch jemanden angegeben werden, der aufgrund einer vorhandenen, nicht zu

überwindenden Rechts-/Linksschwäche, einer Sprachbarriere o.ä. unterworfen ist. Gleichzeitig werden die Eingabegeräte für so jemanden einen erheblichen Nutzen, und damit eine klinische Relevanz bieten können. Daher liegt eine klinische Relevanz, d.h. ein Nutzen für den Patienten vor, sobald die Messgenauigkeit gleich oder besser und die Zufriedenheit, d.h. die subjektive Einschätzung der Eingabegeräte höher ist als die des ‚gold standard'. In diesem Moment ist es egal, wie groß dieser Unterschied genau ist, da es lediglich darauf ankommt, dass das Eingabegerät dem Patienten in jedem Fall einen Nutzen, d.h. eine klinische Relevanz, bietet. Der große Vorteil bei dieser Bewertung ist, dass sich die Zufriedenheit und die Messgenauigkeit einander ergänzen und in gleichem Maße variieren werden, da eine Person mit Einschränkungen durch die Eingabegeräte eine einfachere Handhabung, und damit einhergehend auch eine höhere Zufriedenheit erfahren wird.

Die Eingabemethoden konnten in dieser Studie besonders gut verglichen werden, weil es sich einerseits um eine verbundene Stichprobe handelt und andererseits zehn Visusstufen überschwellige Landoltringe dargestellt wurden.

Die Verwendung einer verbundenen Stichprobe bedeutet, dass ein und derselbe Proband alle Eingabemethoden durchführt. Dieses Studiendesign wird auch *Cross-over-Design* genannt (Bortz & Lienert, 2008). Der Vorteil dabei ist, dass die Probanden ihre eigene Kontrollgruppe darstellen und somit eventuell vorhandene Störfaktoren wie eine Rechts-/Linksschwäche gleichermaßen auf alle Eingabemodalitäten übertragen wird. Die Reihenfolge der Eingabemodalitäten wurde zusätzlich randomisiert, um Lerneffekte auszuschließen, da alle Geräte relativ ähnlich aufgebaut sind, und sich die Probanden ansonsten im Vorfeld schon mit der Eingabe der Landoltringe vertraut machen könnten, wodurch das letzte Gerät unter Umständen am besten abschließen könnte.

Es wurden zehn Visusstufen überschwellige Landoltringe dargestellt und ausdrücklich *keine* Schwellenbestimmung durchgeführt, um damit auszuschließen, dass der Prüfling die Sehzeichen aufgrund deren Größe/Kontrast nicht erkennt (Vermischung von *Erkennungsfehlern* im Rahmen des Schwellenbestimmungsprozesses und *Fehleingaben* aufgrund von [z.B.] konstruktionsbedingten Nachteilen des Eingabegeräts).

In *Abbildung 9* ist die Begründung zur gewählten Überschwelligkeit von 10 Landoltringen dargestellt und in der Abbildungsbeschriftung erläutert.

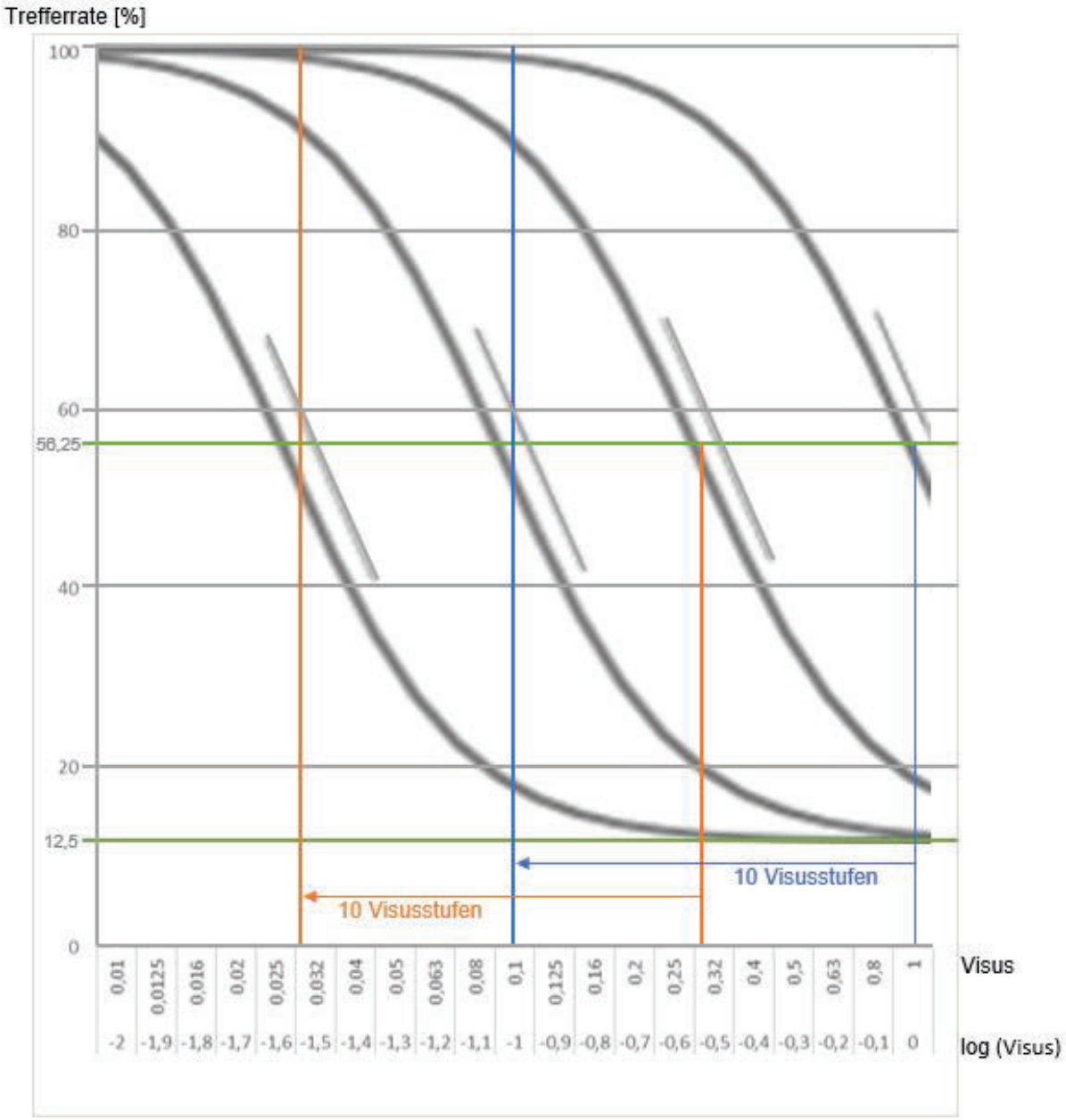


Abbildung 9: *Begründung für die gewählte Überschwelligkeit von 10 Visusstufen [dB] durch die Darstellung von psychometrischen Funktionen. Auf der x-Achse sind die Visusstufen sowie der Logarithmus des Visus aufgetragen. Auf der y-Achse ist die prozentuale Trefferrate angegeben. Die Ratequote für Landoltringe mit 8 möglichen Lückenpositionen beträgt 12,5 %, weshalb an dieser Stelle eine zusätzliche Linie (untere grüne Linie) eingezeichnet ist. Die Visusschwelle stellt den steilsten Teil der psychometrischen Funktion dar und liegt bei 56,25 %. Diese errechnet sich aus (100 % - 12,5 %)/2+12,5 % (Bach, 1996). Auch diese ist als zusätzliche Linie (oberere grüne Linie) eingezeichnet. Auf der Höhe der Schwelle können die erreichten Visuswerte an der x-Achse abgelesen werden, welche durch die rechte blaue Linie und die rechte orangene Linie dargestellt sind. Hier liegt die Trefferrate bei 56,25 %. Wird der Visus nun um 10 Visusstufen vergrößert, resultieren daraus die Werte bei der linken blauen und der linken orangenen Linie. Hier liegt die Trefferrate bei 100 %, weshalb ausgeschlossen werden kann, dass die Landoltringe, welche 10 Visusstufen überschwellig dargestellt werden, nicht erkannt werden (in Anlehnung an https://www.uniklinik-freiburg.de/augenklinik/fpat/sehschaerfe.html, bearbeitet mithilfe von Microsoft Excel und Microsoft Word, Version Microsoft Office 365 ProPlus, Microsoft Corporation, Redmond, Washington/USA)*

5.4 Validität

Die Aussage von Rassow et al., dass die sprachliche Rückmeldung für Landoltringe oft aufwändiger Erklärungen bedarf und viele Probanden in der Prüfungssituation rechts und links verwechseln (Rassow et al., 1990), konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Die sprachliche Rückmeldung war die einzige Eingabemethode, bei der alle Landoltring-Lückenpositionen im Test und im Retest korrekt eingegeben wurden. Das war der Fall, obwohl diese Methode sehr fehleranfällig war, selbst, wenn alle Probanden alle Lückenpositionen korrekt benennen. Dies lag daran, dass die Untersucherin die Angaben, welche durch die Probanden gegeben wurden, übertragen musste und somit keine Rechts-/Linksschwäche haben durfte. Die Bewertung der damit einhergehenden verlängerten Untersuchungsdauer wurde in *Kapitel 5.6* diskutiert. Außerdem kann sich die Untersucherin schnell beeinflussen lassen, wenn sie die richtige Positionsangabe bereits kennt. Um nicht beeinflusst zu werden, hat die Untersucherin während dieser Studie nicht auf den Bildschirm geschaut. Wichtig ist es, anzumerken, dass es sich bei der Studie um Versuchspersonen handelte, von denen alle deutsch sprachen und rechts und links richtig benennen konnten, was anhand der Anteile der korrekt angegebenen Landoltring-Lückenpositionen der sprachlichen Rückmeldung deutlich wird. Des Weiteren war niemand Teil der Stichprobe, der taub/schwerhörig oder gar stumm war. Reading und Weale, welche bereits in *Kapitel 1.3* erwähnt wurden, untersuchten 86 Patienten im Alter zwischen 20 und 79 Jahren und unterschiedlichster Ethnien, bei welchen u.a. auch Patienten mit Sprach- und Hörproblemen sowie einem allgemeinen schlechten Gesundheitszustand eingeschlossen waren. Die vier möglichen Landoltring-Lückenpositionen wurden beim computerbasierten System mittels Joysticks eingegeben. 90 % benötigten keinerlei Hilfe. 52 % der Probanden präferierten den computer-basierten Sehtest, 22 % die Snellen-Tafel, die restlichen Patienten äußerten keine Meinung, oder fanden beide Tests gleichwertig (Reading & Weale, 1993). Heutzutage wäre die Präferenz für computer-basierte Systeme vermutlich deutlich größer, da diese in deutlich größerem Umfang in unseren Alltag integriert sind.

In *Kapitel 1.3* wurde bereits die Studie von Menozzi et al. erwähnt. Interessanterweise ereignete sich bei deren Studie ebenfalls ein in dieser Studie festgestelltes Phänomen: Unter Verwendung des Trackballs waren auch bei ihnen alle durchschnittlichen Abweichungen der Antworten in allen Orientierungen im Uhrzeigersinn, im Vergleich zu den dargestellten Positionen, verdreht. Er begründete dies durch die Anatomie des Menschen und die damit einhergehenden begrenzten Drehbewegungen der Handgelenke. Über die Händigkeit des Kollektivs ist nichts bekannt, auch ist nicht bekannt, mit welcher Hand die Geräte bedient wurden. Es wird aber davon ausgegangen, dass die meisten Probanden Rechtshänder waren. Bei den anderen Eingabemethoden konnte er dies nicht feststellen (Menozzi et al., 2016). In der in dieser Arbeit durchgeführten Studie waren alle Rechtshändig, was ein Grund für die Abweichung der Orientierungen im Uhrzeigersinn sein könnte. Um dies genauer zu analysieren, wäre es interessant zu sehen, in welche Richtung die durchschnittlichen Abweichungen bei Linkshändern liegen.

Um die Problematik der schwierigen Orientierung zumindest beim 8-Wege- Wippschalter zu eliminieren, wurde bei dem Nachfolger-Modell ein fühlbares Kreuz in der Mitte angebracht (siehe *Abbildung 10)*. Auch das Wippschalter-Element, welches zur Eingabe der Landoltring-Lückenpositionen dient, wurde beim Nachfolgermodell, im Vergleich zum Prototyp, fester angebracht, um ein Wackeln des Wippschalter-Elementes bei der Eingabe auszuschließen. Der modifizierte Nummernblock weist im Gegensatz zum 8-Wege-Wippschalter die Unzulänglichkeit auf, dass sich in der Mitte eine Taste befindet (die Taste, welche der Nummer 5 entspricht), welche für die Eingabe der Landoltringe nicht verwendet werden darf. Es kann somit vorkommen, dass die Eingabe durch unbeabsichtigtes Drücken versehentlich beendet wird. Außerdem sind die Abstände der zu verwendenden Tasten nicht alle gleich weit von der mittleren Position entfernt. Die Tasten für die schrägen Orientierungen sind weiter von der mittigen Taste entfernt als die Tasten für die geraden Orientierungen. Dadurch kann es zu einer schwierigeren Handhabung kommen. In *Kapitel 1.3* wurde bereits die Studie von J. Mann erwähnt. Auch bei ihr wurden mit dem modifizierten Nummernblock geringfügig bessere Visusergebnisse erzielt als mit dem dreh- und fühlbaren Landoltring (Mann, 2014). Allerdings fanden hier schwellennahe Messungen statt, wodurch der Einfluss des Gerätes auf die Eingabe der Landoltring-Lückenpositionen nicht isoliert getestet werden konnte. Somit ist nicht klar, ob der Unterschied durch eine durch Zufall entstandene Differenz des Visus entstanden ist. „Visuswerte können stark fehlerbelastet sein und sind es in praxi auch“ (Petersen, 1993). Einige Gründe hierfür wurden bereits im vorangegangen *Kapitel 5.3* diskutiert. Der Hauptgrund für die Schwankungen ist der, dass die Schwelle so bestimmt wird, dass kleinste Veränderungen der Reizintensitäten bereits zu großen Veränderungen der Trefferrate führen, da es sich um die steilste Stelle der psychometrischen Funktion handelt (Bach, 1996). Dadurch werden manche Sehzeichen mehr geraten als gesehen. Um die Präzision der Eingabemethoden isoliert testen zu können, wurden in der aktuellen Studie daher Landoltringe gewählt, die 10 Visusstufen über der ermittelten Sehschärfe der Versuchspersonen lagen. Somit hatten weder Visusschwankungen noch Ratequoten einen Einfluss auf das Ergebnis. In *Kapitel 5.3* wurde dieser Sachverhalt näher erläutert.

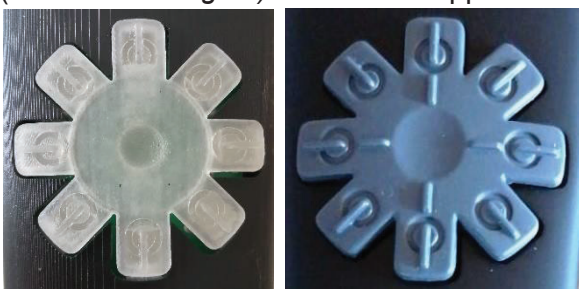


Abbildung 10: *Links: Abbildung des in dieser Studie verwendeten Prototyps des 8-Wege-Wippschalters. Das Wippschalter-Element, welches zur Eingabe der Lückenpositionen verwendet wurde, ist bei diesem noch relativ locker angebracht, wodurch Verwacklungen nicht ausgeschlossen werden können. Rechts: Nachfolgermodell des 8-Wege-Wippschalters mit zusätzlichem mittigem Kreuz. Das Wippschalter-Element ist hier stabiler angebracht. Es ist jeweils nicht das gesamte Gerät zu sehen, sondern lediglich das Wippschalter-Element, d.h. der Tastenkopf (Bildausschnitt rechts: © Tobias Frankenreiter)*

5.5 Retest-Ergebnisse vs. Retest-Reliabilität

„Die Test-Retest-Reliabilität wird aus zwei wiederholten Messungen an den gleichen Fällen (Individuen) abgeleitet“ (Hedderich & Sachs, 2018). Die beiden Messungen finden hierbei zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt. Für die Bestimmung der Retest-Reliabilität ist es erforderlich, dass das Zeitintervall so groß gewählt wird, dass zwischen den beiden Messzeitpunkten keine Lern-, Übungs- oder Erinnerungseffekte vorliegen können (Danner, 2015; Hedderich & Sachs, 2018; Schmolck, 2007). Gleichzeitig sollte es jedoch so kurz

gewählt werden, dass sich keine Änderungen durch äußere Einflüsse ergeben können (Hedderich & Sachs, 2018). Weiterhin ist es notwendig, dass die „Varianz des Messfehlers bei beiden Messungen identisch ist. In der Praxis bedeutet das, dass Störeinflüsse wie Lärm bei der Bearbeitung oder Müdigkeit der Probanden bei beiden Messungen gleich groß sind“ (Danner, 2015).

Aufgrund des Fehlens einer Proberunde sind in dieser Studie Störfaktoren wie Übungseffekte und aufgrund der kurzen Untersuchungsdauer Störfaktoren wie Müdigkeitsschwankungen nicht anzunehmen. Dagegen war ein Schwachpunkt dieser Studie im Hinblick auf die Retest-Reliabilität, dass der zweite Durchgang der jeweiligen Eingabemodalität direkt hinter dem ersten Testdurchlauf durchgeführt wurde. Durch dieses sehr kurze Zeitintervall können Lerneffekte noch weniger ausgeschlossen werden als bei einem längeren Zeitintervall und es wäre wie ein Testdurchlauf mit der doppelten Anzahl der Testzeichen, weshalb der Sinn der Retest-Reliabilität verfehlt werden würde. Dies erklärt auch die sehr ähnlichen Testergebnisse zwischen dem ersten und dem zweiten Testdurchlauf, die aufgrund der oben genannten Feststellungen nicht zwingend mit einer hohen Reliabilität verbunden werden dürfen.

Für die Darstellung der Retest-Reliabilität werden häufig Bland-Altman-Diagramme verwendet. „In diesem wird der Mittelwert der beiden parallelen Messungen an einem Patienten gegen die Differenz seiner Messwerte abgetragen“ (Krummenauer, 2002a). Die einschlägige Literatur weist jedoch darauf hin, dass die Anwendung des Bland-Altman-Diagramms unter den gegebenen Bedingungen nicht zielführend ist. „Das Bland-Altman-Verfahren setzt unabhängige Messwertpaare voraus. Werden an einem Fall (Patient) wiederholte Messungen durchgeführt, dann müssen intraindividuelle Abhängigkeiten für beide Verfahren bestimmt und bei der Bestimmung der Grenzen der Übereinstimmung berücksichtigt werden“ (Hedderich & Sachs). Des Weiteren kommen Bland-Altman-Diagramme „[s]peziell beim Vergleich zweier diagnostischer Messmethoden“ (Krummenauer, 2002a) zur Anwendung, was bei der Retest-Reliabilität nicht das vorwiegende Ziel ist.

„Zeitliche Änderungen in kontinuierlichen primären Endpunkten sollten mittels Medianen und Quartilen intraindividueller Differenzen […] beschrieben werden, niemals mittels Korrelationen“ (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, o. J.). Für Vergleichsstudien oder zeitlich aufeinander folgende Untersuchungen an einer Person können „[d]ie intraindividuellen Abweichungen […] durch den Median und die Quartile dieser Differenzen beschrieben werden, das grafische Pendant dieser Vorgehensweise ist der Boxplot der Differenzen (Krummenauer, 2002a). Ein sehr großer Vorteil dieser Boxplots ist es, dass in nur einem Diagramm direkt eine Übersicht über die Retest-Ergebnisse aller vier Eingabemethoden gegeben wird. Durch die Bland-Altman-Diagrammen können dagegen in einem einzelnen Diagramm nur zwei Methoden miteinander verglichen werden, wodurch, für die Darstellung der Retest-Ergebnisse, sechs Diagramme notwendig wären, die dann übergreifend miteinander verglichen werden müssten. Die Boxplots der Differenzen sind somit deutlich übersichtlicher. Dagegen wäre ein sehr großer Vorteil der Bland-Altman-Diagramme die Ermittlung der sog. agreement limits. „Umfassen diese ‚agreement limits‘ einen Bereich von klinisch irrelevanter Größenordnung, können die Messmethoden vom klinischen Standpunkt als austauschbar betrachtet werden (Krummenauer, 2002a). Die ‚limits of agreement‘, das heißt die Grenzen der Übereinstimmung, werden über den Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen berechnet. Bei einer Stichprobengröße von nur fünf

Probanden ist dies nicht zielführend. Genauere Informationen zum Zusammenhang zwischen einer kleinen Stichprobe und der Bestimmung von Mittelwerten können *Kapitel 4.8* entnommen werden.

Aus den vorangegangenen Gründen wird das Bland-Altman-Diagramm nicht in diese Arbeit integriert. Für zukünftige Arbeiten, bei welchen mehr Probanden mit in die Studie eingeschlossen werden und bei welchen unter Umständen sogar normalverteilte Daten für die Bestimmung von Mittelwert und Standardabweichung vorliegen, sollte auf jeden Fall nicht auf die Bland-Altman-Diagramme verzichtet werden. Durch die somit resultierenden ‚agreement limits' können dann Bezüge zur klinischen Größenordnung hergestellt werden. Vorzugsweise sollten diese Diagramme aber nicht zur Bewertung der Retest-Reliabilität, sondern zum Vergleich der Methoden angewendet werden. Dies ist allerdings nur eine von vielen möglichen Bewertungen der klinischen Relevanz, weshalb die Bestimmung der ‚agreement limits' in dieser Studie nicht zwingend notwendig ist.

Ursprünglich war es vorgesehen, die Retest-Reliabilität der in dieser Studie untersuchten primären Zielgröße zu bestimmen. Aufgrund der drastischen Reduzierung der Probandenanzahl wurde jedoch entschieden, die Messwerte des Retests lediglich als Retest-Ergebnisse mittels Boxplots intraindividueller Differenzen darzustellen.

Bei J. Mann erzielte der modifizierte Nummernblock im zweiten Testdurchlauf geringfügig schlechtere Ergebnisse als im ersten Testdurchlauf (Mann, 2014), was in dieser Studie bestätigt werden kann, da der Interquartilsabstand, und damit die Streubreite, größer wurde.

5.6 Gesamtuntersuchungsdauer

In der in *Kapitel 1.3* erwähnten Studie von I. Schöllhorn war, wie in der in dieser Arbeit durchgeführten Studie auch, der modifizierte Nummernblock unter Verwendung des FrACT am schnellsten durchgeführt. Diese beiden Ergebnisse sind allerdings nur bedingt vergleichbar, da I. Schöllhorn im Gegensatz zu dieser Studie schwellenstimmende Messungen durchführte. Außerdem verglich sie die Ergebnisse mit anderen Sehschärfentests und anderen Eingabemodalitäten (Schöllhorn, 2014). Dennoch kann aus diesem Zusammenhang geschlossen werden, dass der Wert der benötigten Untersuchungsdauer mit dem modifizierten Nummernblock zumindest in diesen beiden Studien nicht durch die anderen Eingabemodalitäten unterschritten werden konnte.

Für die Untersuchungsdauer musste bei der sprachlichen Rückmeldung am meisten Zeit investiert werden. Dies liegt daran, dass die Versuchsperson die Landoltring-Lückenposition zuerst sprachlich angeben und die Untersucherin die ausgesprochene Angabe anschließend eingeben musste, bevor der nächste Landoltring dargestellt werden konnte. Hier hängt die Gesamtuntersuchungsdauer zusätzlich stark von der Reaktion des Untersuchenden ab; außerdem sind hier Übertragungsfehler nicht ausgeschlossen. Ein großer Vorteil ist, dass die Untersuchungsdauer für jeden einzelnen Probanden, für jede einzelne Eingabemethode und für jeden Testdurchlauf von derselben Untersucherin gestoppt werden. Dadurch sind die entstehenden Ungenauigkeiten deutlich geringer, als wenn die Untersuchungszeit von mehreren Untersuchern gemessen worden wäre, da die Untersucherin bei jedem Probanden annähernd die gleiche Reaktionszeit haben wird.

Dass ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Gesamtuntersuchungsdauer im 1. Testdurchlauf vorliegt und im zweiten Testdurchlauf nicht mehr, kann mindestens vier mögliche Ursachen haben: Es könnte sein, dass die Ergebnisse im zweiten Testdurchlauf durch Müdigkeitserscheinungen und/oder Konzentrationsschwankungen beeinflusst wurden. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass manche Methoden ‚lernbarer' als andere Eingabemethode sind. Die dritte Möglichkeit wäre, dass die Reaktionszeit der Untersucherin geringfügig in die Ergebnisse eingegriffen hat. Und eine vierte Möglichkeit wäre eine Kombination aus den drei vorangegangenen Faktoren. Aufgrund der sehr kleinen Differenz zwischen dem ersten und dem zweiten Testdurchlauf hinsichtlich des p-Wertes und der sehr geringen Probandenanzahl ist hier eine klare Schlussfolgerung nicht möglich.

5.7 Probandenzufriedenheit:

In dieser Studie erreichte der modifizierte Nummernblock die höchste Zufriedenheit, was bei I. Schöllhorn im Vergleich zu einem dreh- und fühlbaren Landoltring unter Verwendung des FrACT sowohl von Untersucher- als auch von Probandenseite bestätigt werden konnte (Schöllhorn, 2014). Grund hierfür könnte sein, dass der Nummernblock sehr stark in unseren Alltag integriert, und damit den meisten Menschen sehr gebräuchlich ist. Bei Menozzi et al. konnte dies zwar nicht bestätigt werden, da ein Gamepad im Vergleich zu einer herkömmlichen Computermaus präferiert wurde, allerdings war hier der Hauptgrund, dass der Zeiger der Computermaus nicht sichtbar war, und die Versuchspersonen somit kein Bewegungslimit erkennen konnten. Dagegen hatten sie beim Gamepad und beim Joystick klare Grenzen, da sich die Bedienungsmodule nicht bis ins Unendliche bewegen lassen (Menozzi et al., 2016). Somit können die Ergebnisse der beiden Studien diesbezüglich nicht verglichen werden.

Anhand des Medians konnte in dieser Studie zwar die höchste bzw. die niedrigste Zufriedenheit quantifiziert werden, allerdings sollten hierbei auch die Interquartilsabstände beachtet werden. Hier fällt auf, dass die Streubreiten, welche durch die Interquartilsabstände beschrieben werden, bei bis zu 81,2 liegen. Eine klare Präferenz ist demnach, vor allem in Anbetracht der sehr kleinen Stichprobe von nur fünf Versuchspersonen, nicht erkennbar, eine Tendenz allerdings schon. Die größte Streuung fand bezüglich der Veränderung statt, bei welcher gefragt wurde, ob den Probanden die Durchführung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen war als anfangs. Dem liegt wahrscheinlich zu Grunde, dass ein Teil der Probanden die Frage nicht sorgfältig genug gelesen hat, der andere Teil allerdings schon. Bei allen anderen Eingabemethoden war es positiv, den Strich so weit rechts wie möglich auf der Visual Analogue Scale zu setzen. Lediglich bei der Veränderung war es besser, wenn dieser Strich links gesetzt wurde, da die Eingabemodalitäten von Anfang an zuverlässige Ergebnisse liefern sollten, wodurch es schnell zu Fehlangaben und Verwirrung kommen kann. Die dazugehörigen Fragebögen können *Anhang 2.6* entnommen werden.

5.8 Statistische Auswertung/Datenanalyse

Im Rahmen dieser Pilotstudie wurden, aufgrund der bereits erwähnten COVID-19-Pandemie, lediglich fünf Versuchspersonen untersucht. Dies hatte zur Folge, dass sich eine statistische Auswertung als schwierig erwies, da fünf Personen keine Grundgesamtheit repräsentieren konnten. Darüber hinaus führten einzelne Abweichungen oder Ausreißer bereits zu großen Veränderungen der Ergebnisse.

Um die Ergebnisse von solch einer kleinen Stichprobe mit nur fünf Versuchspersonen besser auswerten und analysieren zu können, wurde die deskriptive Statistik durch den Median und den Interquartilsabstand angewendet, da diese auch bei sehr kleinen Stichproben zur Anwendung kommen können. Aus demselben Grund wurden die Boxplots intraindividueller Differenzen anstelle der Bland-Altman-Diagramme zur Darstellung der Retest-Ergebnisse verwendet, wie bereits in *Kapitel 5.5* diskutiert wurde. Gewählt wurden Median und Interquartilsabstand, da es sich nicht um normalverteilte Messwerte handelt, sondern, in Anbetracht des prozentualen Anteils korrekter Antworten und der Untersuchungsdauer, um rechtssteile/linksschiefe Verteilungen. Die Verteilungen der Probandenzufriedenheit unterliegen hohen Interquartilsabständen von bis zu 81,2, weshalb die Verteilungen nicht einheitlich als schief oder normalverteilt beschrieben werden können. Dies wird besonders bei der Darstellung in *Anhang 5.4* deutlich. Der Median wird bestimmt, indem die Messwerte in aufsteigender Reihenfolge geordnet werden, anschließend wird der Wert, der sich dann in der Mitte befindet, ausgewählt (Hagl, 2017). „Der Median ist ein geeigneter Mittelwert für schiefe Verteilungen. […] Bei einer Durchschnittsbildung würden die relativ wenigen Merkmalsträger mit hohen (niedrigen) Merkmalswerten den Durchschnitt nach oben (unten) verzerren. Die Zerlegung der Gesamtheit in zwei Hälften vermittelt hier einen besseren Einblick in die Mitte“ (Bourier, 2018).

Bei der Anwendung von induktiven Statistiken ist es zwingend notwendig, dass die ermittelten p-Werte Bonferroni-korrigiert werden. Dies hat folgenden Hintergrund:

„Das Verfahren, das zur Bestätigung der Hypothese (mit maximaler Irrtumswahrscheinlichkeit α), oder zu ihrer Nichtbestätigung anhand der Ergebnisse der Stichprobe führt, ist der statistische Test“ (Victor et al., 2010). Liegt der mit dem statistischen Testverfahren ermittelte p-Wert unterhalb des Signifikanzniveaus von α=0,05, wird die Nullhypothese verworfen. Werden jedoch mehrere Tests durchgeführt (multiples Testen) steigt die Wahrscheinlichkeit, die Nullhypothese abzulehnen, obwohl diese eigentlich korrekt ist, da die α-Fehler kumuliert werden (Victor et al., 2010). Wenn beispielsweise 20 Tests an einer einzigen Stichprobe durchgeführt werden, wird diese Stichprobe 20 Mal auf einem Signifikanzniveau von 5 % getestet. Daraus resultiert, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von $0{,}95^{20}$=0,36=36 % kein statistisch signifikantes Ergebnis resultiert und mit einer Wahrscheinlichkeit von 1-0,36=0,64=64 % ein statistisch signifikantes Ergebnis. Es ist also wahrscheinlicher, ein statistisch signifikantes Ergebnis zu erhalten als dass keines ermittelt werden kann (Bland & Altman, 1995).

Aus diesem Grund muss der p-Wert Bonferroni-korrigiert werden. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten (Bland & Altman, 1995):

1. Die ermittelten p-Werte werden mit der Anzahl der durchgeführten Tests multipliziert. Das resultierende Ergebnis muss dann unter dem Signifikanzniveau von α=0,05 liegen (Bland & Altman, 1995).
2. Es wird von Anfang an ein p-Wert auf Basis der durchgeführten Tests festgelegt, welcher dann unterschritten werden muss, um die Nullhypothese verwerfen zu können. Hierbei wird das vorher festgelegte Signifikanzniveau durch die Anzahl der durchgeführten Tests dividiert (Bland & Altman, 1995). Dieses Verfahren wurde in dieser Studie durchgeführt.

Aus beiden Berechnungen resultiert dasselbe Ergebnis.

Kritisiert wird an diesem Verfahren, dass aufgrund der „rigorose[n] Auslegung des multiplen Testens in Verbindung mit vielen Tests eine geringe Power zur Folge haben, das heißt man übersieht wahre Aussagen“ (Victor et al., 2010). Auch Bland & Altman geben diese Problematik an (Bland & Altman, 1995). Daher sollte darauf geachtet werden, dass in einer Studie möglichst wenige Hauptthesen formuliert werden, welche dann statistisch ausgewertet werden (Victor et al., 2010). Dies war ein großes Problem dieser Studie, da für einen sehr kleinen Stichprobenumfang von nur 5 Versuchspersonen viele Hypothesen formuliert wurden, wodurch drei Mal so viele Test durchgeführt wurden, als dass Probanden in die Studie eingeschlossen waren. Jedoch sei dazugesagt, dass diese Studie ursprünglich auf einen Stichprobenumfang von 24 Versuchspersonen ausgelegt war, allerdings wäre auch bei diesem Stichprobenumfang die Anzahl der formulierten Hypothesen noch sehr hoch. Die Werte müssen trotz dem geringen Stichprobenumfang und der hohen Anzahl durchgeführter statistischer Tests Bonferroni-korrigiert werden, denn „[e]in Ergebnis, was fälschlich mit ‚signifikant‘ bezeichnet wurde, ist schlechter als eines, das korrekterweise vorsichtiger interpretiert wurde“ (Victor et al., 2010).

„Mit abnehmender Stichprobengröße nimmt bei statistischen Tests die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler zweiter Ordnung (β-Fehler) zu begehen, zu. Dies hat zur Folge, […] [dass] auch stärkere Zusammenhänge im Datenmaterial bei kleinen Stichproben nicht zur Zurückweisung der Nullhypothese führen, da die Teststärke der verwendeten Verfahren nicht ausreicht“ (Prein et al., 1994). Dies war in dieser Studie allerdings nicht der Fall, da zumindest eine Nullhypothese abgelehnt werden konnte. Aufgrund der sehr kleinen Stichprobe wurde als statistisches Analyse-Instrument in dieser Arbeit der Quade-Test verwendet, welcher für Stichprobenumfänge von $n \leq 5$ zuverlässige Ergebnisse ermittelt (Conover, 1999).

Bei der gegebenen Stichprobe, welche in dieser Studie untersucht wurde, handelte es sich nicht um eine Zufalls-, sondern um eine Ad-hoc-Stichprobe, da die Versuchspersonen nicht zufällig ausgewählt, sondern nach strikten Kriterien herausgefiltert wurden (Bortz & Lienert, 2008). Dadurch handelt es sich um keine repräsentative Stichprobe. Nach Prein et al. bedeutet der Terminus statistische Repräsentativität, dass alle Elemente einer Stichprobe mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit wie in der Grundgesamtheit verteilt sind (Prein et al., 1994), was in dieser Studie, durch die strengen Ein- und Ausschlusskriterien, nicht der Fall war.

6. Schlussfolgerung

Die Nullhypothese, dass sich die vier Eingabemodalitäten nicht unterscheiden, wird statistisch abgelehnt. Es liegt ein statistisch signifikanter Unterschied auf einem Signifikanzlevel von 5 % bezüglich der Untersuchungsdauer im ersten Testdurchlauf zwischen dem modifizierten Nummernblock und der sprachlichen Rückmeldung vor ($p < .001$). Weiterhin liegt ein statistisch signifikanter Unterschied auf demselben Signifikanzniveau bezüglich der Untersuchungsdauer im ersten Testdurchlauf zwischen dem 8-Wege-Wippschalter und der sprachlichen Rückmeldung vor ($p=.002$).

Für die Praxis ist es notwendig, die Eingabegeräte weiterzuentwickeln. Nach Abschluss der Optimierung stellen diese sicher eine bessere, und vor allem auch schnellere, Möglichkeit dar, die Landoltring-Lückenpositionen einzugeben. Insbesondere, wenn die Kunden/Patienten Schwierigkeiten haben, rechts und links zu unterscheiden, oder wenn sprachliche Hürden überwunden werden müssen.

7. Ausblick

Besonders bei Eingabegeräten, wie dem modifizierten Nummernblock, dem 8-Wege-Wippschalter und der modifizierten Fernbedienung, können durch Weiterentwicklung und weiterer Verbesserung die vollen Potenziale ausgeschöpft werden, sodass diese Eingabegeräte einen sicheren Weg in unsere Zukunft schaffen können. Hier gilt es besonders zu differenzieren, für wen diese Geräte verwendet werden. Für Menschen ohne eine Einschränkung werden die Geräte vermutlich keinen Mehrnutzen und damit keine klinische Relevanz als die sprachliche Rückmeldung bieten. Dagegen werden Menschen mit einer Rechts-/Linksschwäche, einer Sprachbarriere, Stummheit o.ä. einen großen Nutzen aus der Verwendung der Eingabegeräte ziehen können.

Weiterhin ist es sinnvoll, Langzeit-Retest-Reliabilitäten zu ermitteln, da die Eingabemethoden zur Eingabe von Landoltring-Lückenpositionen in Zusammenhang mit der Visusbestimmung verwendet werden sollen. Diese Art von Untersuchung findet bei einem Großteil der Bevölkerung nicht regelmäßig statt, wodurch es wichtig wäre zu wissen, in wie weit die Eingabegeräte auch bei langen zeitlichen Abständen zuverlässige Ergebnisse gewährleisten.

Um herausfinden zu können, für welche Personengruppen mit welchen Einschränkungen sich die Geräte besonders eignen, wäre es sinnvoll eine große, gemischte Studie durchzuführen. Um eine Verteilung der Grundgesamtheit zu erhalten, sollte es sich im besten Fall um eine uneingeschränkte Zufallsauswahl handeln, bei der jede Person die gleiche Chance bekommt, in die Studie eingeschlossen zu werden (Bamberg et al., 2012). Dies wird allerdings nicht zu 100 % realisierbar sein, weshalb empfohlen wird, Menschen, für die es grundsätzlich gar nicht in Frage kommt, die Eingabemodalitäten zu verwenden (z.B. blinde oder gelähmte Personen) aus der Studie auszuschließen. Hierfür werden in einem ersten Schritt überschwellige Messungen empfohlen, um einen besseren Vergleich zu ermöglichen. In einem weiteren Schritt können die Eingabemodalitäten dann auf deren Praxistauglichkeit mittels schwellenstimmender Messungen getestet werden.

Aufgrund der differenten Denkweise der egozentrischen und allozentrischen Orientierung, welche in *Kapitel 5.1* diskutiert wurden, wäre es interessant, eine Studie mit Versuchspersonen unterschiedlichen Alters und idealerweise unterschiedlicher Herkünfte

(d.h. Europäer, Ureinwohner etc.) durchzuführen. Die Untersuchung könnte hierbei in zwei unterschiedlichen Untersuchungsräumen, welche einander entgegengesetzt aufgebaut sind, durchgeführt werden. Sinnvoll wäre es, zwei einander gleichende Stichproben zu haben, von welchen eine Untersuchungsgruppe die Begriffe rechts, links, oben und unten und die Kontrollgruppe die Begriffe Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest, West und Nordwest verwenden muss. Die verschiedenen Himmelsrichtungen werden der Kontrollgruppe vorher einmal, beispielsweise in einem Flur, welcher zwischen den beiden Untersuchungsräumen liegt, gezeigt. Beispielsweise kann sich die Ausrichtung rechts somit, je nach Untersuchungsraum, auf Osten oder Westen beziehen.

8. Quellen

Bach, M. (1996). The Freiburg Visual Acuity test—Automatic measurement of visual acuity. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, *73*(1), 49–53.

Bach, M., & Kommerell, G. (1998). Sehschärfebestimmung nach Europäischer Norm: Wissenschaftliche Grundlagen und Möglichkeiten der automatischen Messung. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, *212*, 190–195.

Bamberg, G., Baur, F., & Krapp, M. (2012). *Statistik* (17. Aufl.). Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

Baulig, C., Al-Nawas, B., & Krummenauer, F. (2008). P-Werte – statistische Signifikanz ist keine klinische Relevanz! *Deutscher Ärzte-Verlag Köln*, *2*(24), 126–128.

Bibliographisches Institut GmbH. (2020). *Duden*. Dudenverlag. https://www.duden.de/

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1995). Multiple significance tests: The Bonferroni method. *British Medical Journal*, *310*(6973), 170.

Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg New York.

Bortz, & Lienert. (2008). *Kurzgefasste Statistik für die Klinische Forschung—Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben* (3. Aufl.). Springer Medizin Verlag.

Bourier, G. (2018). *Beschreibende Statistik: Praxisorientierte Einführung - Mit Aufgaben und Lösungen* (13. Aufl. 2018, S. Online-Ressource (XI, 279 Seiten 107 Abb, online resource)). Springer.

Comparison of Four Methods for Entering the Gap Position of Landolt Cs (LC_Entry). (o. J.). ClinicalTrials.gov. Abgerufen 8. Mai 2020, von https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04299659

Conover, W., J. (1999). *Practical Nonparametric Statistics*. Wiley.

Crichton, N. (2001). Visual Analogue Scale (VAS). *Journal of Clinical Nursing*, *10*. https://doi.org/10.1007/978-3-211-89836-9_1450

Danner, D. (2015). *Reliabilität—Die Genauigkeit einer Messung*. https://doi.org/10.15465/GESIS-SG_011

Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft. (o. J.). *Zentrale Aspekte Klinischer Studien*.

Deutsches Institut für Normung e.V. (2009). *DIN 58220-3: Sehschärfebestimmung – Teil 3: Prüfung für Gutachten*. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 19772 Berlin.

Deutsches Institut für Normung e.V. (2018). *DIN EN ISO 8596: Sehschärfeprüfung—Normsehzeichen und klinische Sehzeichen und ihre Darbietung*. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

Diepes, H. (2004). *Refraktionsbestimmung* (3. Aufl.). DOZ-Verlag.

Dietze, H. (2015). *Die optometrische Untersuchung* (2. Aufl.). Georg Thieme Verlag.

Dobson, V., Maguire, M., Orel-Bixler, D., Quinn, G., Ying, G.-S., & Vision in Preschoolers (VIP) Study Group. (2003). Visual acuity results in school-aged children and adults: Lea Symbols chart versus Bailey-Lovie chart. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, *80*(9), 650–654. https://doi.org/10.1097/00006324-200309000-00010

Dorn, H. J., Freudigmann, H., Herbst, M., Reinelt, G., Schwier, M., Siebert, P., & Abidi, S. (2005). *Formelsammlung Mathematik* (1. Aufl.). Ernst Klett Verlag Stuttgart.

du Prel, J. B., Hommel, G., Rohrig, B., & Blettner, M. (2009). Confidence interval or p-value?: Part 4 of a series on evaluation of scientific publications Konfidenzintervall oder p-Wert. *Dtsch Arztebl Int*, *106*(19), 335–339.

Elze, C. (1926). *Kann jedermann rechts und links unterscheiden? 1–3*, 146–151. https://doi.org/10.1007/BF01840594

Frankenreiter, T. (2020). *Wie funktioniert die Signalübertragung zwischen der modifizierten Fernbedienung und dem Computer?* Persönliches Interview am 26.04.2020.

Gnu.org. (o. J.). Abgerufen 6. Mai 2020, von http://www.gnu.org/home.en.html

Gormley, G. (2015, März 23). *Why some people have trouble telling left from right (and why it's so important)*. The Conversation. http://theconversation.com/why-some-people-have-trouble-telling-left-from-right-and-why-its-so-important-38325

Granz, M. (2020). *Wie funktioniert die Infrarot-Signalübertragung?* Persönliches Interview am 14.06.2020.

Hagl, S. (2017). *Crashkurs Statistik—Daten erheben, analysieren und präsentieren* (1. Aufl.). Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. http://d-nb.info/1121026907

Haun, D. (2015, März 5). *Warum verwechseln wir so leicht rechts und links miteinander?* Spektrum der wissenschaft. https://www.spektrum.de/frage/warum-verwechseln-wir-so-leicht-rechts-und-links-miteinander/1333095

Hedderich, J., & Sachs, L. (2018). *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R* (16. Aufl.). Springer Spektrum Berlin, Heidelberg.

Horn, T. (1998). *ASCII-Tabelle*. https://www.torsten-horn.de/techdocs/ascii.htm

Kalloniatis, M., & Luu, C. (2011). *Psychophysics of vision*. Webvision. https://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-psychophysics-of-vision/psychophysics-of-vision/

Kleist, P. (2010). Wann ist ein Studienergebnis klinisch relevant? *Forum Med Suisse*, *10*(32), 525–527. https://doi.org/10.4414/fms.2010.07243

Kraemer, H. C., Morgan, G. A., Leech, N. L., Gliner, J. A., Vaske, J. J., & Harmon, R. J. (2003). Measures of Clinical Significance. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *42*(12), 1524–1529.

Kramer, K. (2010). Warum viele an rechts und links scheitern. *Bild der Wissenschaft*, *7/2010*.

Krummenauer, F. (2002a). II: Differenzenplots oder Punktewolken - wann was anwenden? *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, *219*(9), 682–685. https://doi.org/10.1055/s-2002-35165

Krummenauer, F. (2002b). III: „Relatives Risiko" und „NNT" - anschauliche Maße für binäre Daten. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, *219*(10), 749–751. https://doi.org/10.1055/s-2002-35691

Krummenauer, F. (2003). VI: Konfidenzintervalle - die Alternative zum p-Wert. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, *220*(1/2), 60–62. https://doi.org/10.1055/s-2003-37578

Mann, J. (2014). *Vergleich des Freiburg Visual Acuity Test (FrACT) mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln—Analyse der Übereinstimmung der Visusergebnisse und deren Retest-Reliabilität*. Hochschule Aalen.

McMonnies, C. W. (1990). Left-right discrimination in adults. *Clinical and Experimental Optometry*, *73*(5), 155–158. https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.1990.tb03116.x

Menozzi, M., Huang, Y.-Y., & Abt, N. (2016). Accuracy of non-visual directional pointing with various manual input devices. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *53*, 258–266.

Mittelviefhaus, K., Bach, M., Jedynak, A., & Kommerell, G. (1993). Der Freiburger Visustest—Ein computergesteuertes Verfahren mit Eingabelungsstrategie. *Der Ophthalmologe*, *90*, 132–135.

Ocklenburg, S. (2019). Why Do I Confuse Left and Right? *Psychology Today*. https://www.psychologytoday.com/blog/the-asymmetric-brain/201903/why-do-i-confuse-left-and-right

Paliaga, G. P. (1993). *Die Bestimmung der Sehschärfe*. Quintessenz München.

Petersen, J. (1993). Fehlerhafte Visusbestimmungen und ihre quantitativen Auswirkungen. *Der Ophthalmologe*, *90*(5), 533–538.

Prein, G., Kluge, S., & Kelle, U. (1994). *: Strategien zur Sicherung von Repräsentativität und Stichprobenvalidität bei kleinen Samples* (2. Auflage). Universität Bremen, Sonderforschungsbereich 186.

R: What is R? (o. J.). Abgerufen 6. Mai 2020, von https://www.r-project.org/about.html

Rassow, B., Cavazos, H., & Wesemann, W. (1990). Normgerechte Sehschärfenbestimmung mit Buchstaben. *Augenärztliche Fortbildung*, *13*(3), 105–114.

Rassow, B., & Wang, Y. (1998). Anschluss von Buchstaben-Optotypen an den Landolt-Ring für verschiedene Bereiche der Sehschärfe. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, *215*, 119–126.

Reading, V. M., & Weale, R. A. (1993). Self-administered automatic sight-testing—A feasibility study. *Documenta Ophthalmologica*, *83*, 43–54.

Regorz, A., Psychologie, B., & Kaufmann, D. (2020). *Tabellengestaltung nach APA-Standard*. 7.

Rohrschneider, K., Spittler, A. R., & Bach, M. (2019). Vergleich der Sehschärfenbestimmung mit Landolt-Ringen versus Zahlen. *Der Ophthalmologe*, *116*(11), 1058–1063. https://doi.org/10.1007/s00347-019-0879-1

Schmolck, P. (2007). Begleittext: Methoden der Reliabilitätsschätzung. *Universität der Bundeswehr München*. https://dokumente.unibw.de/pub/bscw.cgi/1787978

Schöllhorn, I. (2014). *Vergleich des Freiburg Visual Acuity Test (FrACT) mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln—Analyse der Untersuchungsdauer und der patienten- sowie untersucherseitigen subjektiven Einschätzung*. Hochschule Aalen.

Simmers, A. J., Gray, L. S., McGraw, P. V., & Winn, B. (1999). Contour interaction for high and low contrast optotypes in normal and amblyopic observers. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, *19*(3), 253–260.

UNESCO (Hrsg.). (2015). *ISCED 2011 operational manual: Guidelines for classifying national education programmes and related qualifications*. OECD.

Victor, A., Elsäßer, A., Hommel, G., & Blettner, M. (2010). Judging a Plethora of p-Values. *Deutsches Ärzteblatt Online*. https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0050

Wesemann, W. (2002). *Die Grenzen der Sehschärfe, Teil 4: Wie misst man die Sehschärfe richtig? Regeln und Probleme*. *2*, 32–38.

Wesemann, W., Heinrich, S. P., Jägle, H., Schiefer, U., & Bach, M. (2020). Neue DIN- und ISO-Normen zur Sehschärfebestimmung. *Ophthalmologe*, *117*(1), 19–26.

Windeler, J., & Thomas, S. (2010). Relevanz von Effektstärken. *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, *104*(3), 244–248. https://doi.org/10.1016/j.zefq.2010.03.015

Wink, K. (2018). Was ist klinische Relevanz? *MMW - Fortschritte der Medizin*, *160*(5), 1–5. https://doi.org/10.1007/s15006-018-1049-0

Wolf, S. M. (1973). Difficulties in Right-Left Discrimination in a Normal Population. *Archives of Neurology*, *29*(2), 128–129. https://doi.org/10.1001/archneur.1973.00490260072017

9. Anhang

Anhang 1: Studiensynopsis

Studiensynopsis / Projektbeschreibung

Vergleich von vier Methoden zur Eingabe von Landoltringen: Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung Vergleich anhand der Validität, der Retest-~~Reliabilität~~ -Ergebnisse, der benötigten Untersuchungsdauer und der Probandenzufriedenheit	**Untersucherin / Stud. / Promov.:** **Ronja Granz** **Projekt-Akronym:** LR-Eingabe **Datum / Version:** 2020-~~01-29 / V3~~-06-23
1. Ziele des Projektes	
1.1. Hauptziel Was soll am Ende des Projekts erreicht sein – welche Ergebnisse sollen vorliegen?	1.1.1. Vergleich der Validität, d.h. der Anteil der *korrekten* Lückenpositionsangaben an der Gesamtzahl der Darbietungen, zwischen Modifiziertem Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachlicher Rückmeldung
1.2. Null-Hypothese zum Hauptziel	1.2.1. Die Anteile der korrekten Antworten, im Verhältnis zu der Gesamtzahl der Darbietungen unterscheidet sich für die unter 1.1.1. genannten Eingabemethoden nicht
1.3. Welche **Nebenziele** gibt es in diesem Projekt?	1.3.1. Vergleich der *Retest-~~Reliabilität~~ -Ergebnisse* der unter 1.1.1. genannten Eingabemethoden 1.3.2. Vergleich der unter 1.1.1. genannten Methoden hinsichtlich der *Gesamtuntersuchungsdauer* 1.3.3. Vergleich der unter 1.1.1. genannten Methoden hinsichtlich der *Probandenzufriedenheit*
1.4. Null-Hypothesen zum / zu den Nebenziel/en	1.4.1. Die Retest-~~Reliabilität~~ -Ergebnisse unterscheidet sich für die unter 1.1.1. genannten Eingabemethoden nicht 1.4.2. Die vier Eingabemethoden, genannt in 1.1.1. unterscheiden sich hinsichtlich der Probandenzufriedenheit nicht 1.4.3. Die vier Eingabemethoden, genannt in 1.1.1. unterscheiden sich hinsichtlich der Gesamtuntersuchungsdauer nicht
1.5. Spezifikation der relevanten/ kritischen Effektgröße Bitte von statistischer Signifikanz unterscheiden!	Sobald sich die Mediane der Anzahl der Fehleingaben des ersten Testdurchlaufs unterschieden (für jede Methode wird eine Messreihe angefertigt), liegt eine klinische Relevanz vor. Begründung hierfür siehe im Dokument „LR-Eingabe_Klinische-Relevanz_GRANZ_Vs. 2020-01-29 (4)“
2. Projektorganisation	

2.1. Technische Ausstattung	2.1.1. FrACT, Version 3.10.4, modifizierte Version - getestete Visusstufe bei jedem Ring 0.891, bezogen auf Beobachtungsabstand von 399 cm - Größe des Landoltrings bleibt konstant, auch nach Eingabe - vorgegebene Ringgröße kann über Modifikation des Beobachtungsabstandes angepasst werden 2.1.2. Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter und Fernbedienung (8in1-Universal-Fernbedienung+Lernfunktion, PEARL, Buggingen-DE (Firmensitz von PEARL)) 2.1.3. Laptopdisplay (Acer Aspire A515-51G, Bildschirmauflösung 1366 x 768) Leuchtdichte des Prüffeldes (Displayhintergrund): 200 $\frac{cd}{m^2}$ Testzeichenleuchtdichte:2,6 $\frac{cd}{m^2}$ 2.1.4. Beleuchtungsstärke im Raum: 250 lx 2.1.5. Leuchtdichtemessgerät (verwendet für 2.1.3.) (Luminance meter LS-160, Konica Minolta, Japan) 2.1.6. Luxmeter (verwendet für 2.1.4.) (Digital Lux Meter 5025, PeakTech, Ahrensburg/D (Firmensitz)) 2.1.7. Stoppuhr (P Smart 2019, Huawei, China) 2.1.8. Scheitelbrechwertmesser (HLM-9000, Fa. HUVITZ, Hannover/D) 2.1.9. Spaltlampe (BQ 900, Fa. HAAG-STREIT, Köniz/CH) 2.1.10. ~~Direktes Ophthalmoskop (BETA 2000, Fa. HEINE Optotechnik, Herrsching/D)~~ (aufgrund der COVID-19-Pandemie wurde das Risiko als zu hoch eingestuft) Kopfophthalmoskop (OMEGA 500, Fa. HEINE Optotechnik, Herrsching/D) 2.1.11. Swinging flashlight (Tübiskop und ggf. Graufilterleiste)	
2.2. Rollen	**Name**	**Bemerkung**
Erstkorrektor	Herr Prof. Dr. med. Schiefer	
Zweitkorrektor	Frau Judith Ungewiß M. Sc.	
Untersucher / Bachelorand/in	Ronja Granz	
ggf. Projektgruppe	Kompetenzzentrum Vision Research	
2.3. Qualitätsmanagement	2.3.1. Durchgehenden E-Mail-Kontakt zwischen dem Erstkorrektor, der Zweitkorrektorin und der Untersucherin 2.3.2. Regelmäßige Treffen zwischen Erstkorrektor, der Zweitkorrektorin und der Untersucherin	
2.4. Zeitrahmen	3,5 Monate	
2.5. Projektstart	29.01.2020	
2.6. Projektende	~~15.05.2020~~ 23.06.2020	
3. Projektbeschreibung / Projektablauf / Projektinhalte		
3.1. Studiendesign	3.1. Vergleichsstudie / Explorative Studie	
3.2.1. Probandenanzahl **3.2.2. Fallzahlschätzung** notwendig?	3.2.1. ~~24~~ 5 Probanden 3.2.2. Nein: 16 (2x8 Landoltring-Orientierungen) Messwerte pro Proband, pro Eingabemethode, pro Testdurchlauf	
3.3. Welche grundsätzlichen **Ein- und Ausschlusskriterien** werden festgelegt? *Ggf. weitere Spezifikation je nach Projekt* **3.3.1. Einschlusskriterien** **3.3.2. Ausschlusskriterien**	3.3.1. **Einschlusskriterien** 3.3.1.1. Alter: ~~≥~~ 18 Jahre – 35 Jahre 3.3.1.2. (Fern-)Visus mit bester Korrektion: ≥ 0.8 3.3.1.3. (Fern-)Ametropie: ≤+8,0 Dioptrien und ≥ -8 dpt (sphärisches Äquivalent) 3.3.1.4. Anisometropie ≤ 3 dpt 3.3.1.5. Astigmatismus ≤ 2.5 dpt 3.3.2. **Ausschlusskriterien** 3.3.2.1. Reaktionszeitverlängernde Medikamente/ Drogen/ Alkohol 3.3.2.2. Bewegungsstörungen (der Hände) wie z.B. Parkinson 3.3.2.3. Hinweis auf Amblyopie (Schiel-Operation, Okklusionsbehandlung, regelmäßige Sehschul-Termine) 3.3.2.4. Augenbewegungsstörungen/Doppelbildangabe 3.3.2.5. Fehlendes Stereosehen (Prüfung mit dem LANG [I]-Stereotest) 3.3.2.6. Vorliegen eines relativen afferenten Pupillendefekt im „swinging-flashlight-Test“ 3.3.2.7. Hinweis auf Sehbahnläsion oder anderweitige chronische oder progrediente Augen-/Sehbahnerkrankung	

	3.3.2.8. informiert und einverstanden
3.4. Probandenrekrutierung	Studierende und Mitarbeiter der Hochschule Aalen Ausgeschlossen: Studierende und Mitarbeiter/innen des Studiengangs Augenoptik/Optometrie, sofern diese einen augenoptischen Hintergrund haben bzw. Absolventen/innen des Studiengangs Augenoptik/Optometrie (Ausschluss von Vorab-Informationen über das Landoltring-Sehzeichen)
3.5. Randomisierung	(Blockweise) Randomisierung bezüglich 3.5.1. der Testreihenfolge 3.5.2. des Führungsauges
3.6. Datenanalyse / **3.6. Statistische Auswertung**	3.6.1. Prüfung der Nullhypothese 1.2.1. durch den ~~Friedman-Test~~ Quade-Test, anschließender Wilcoxon-~~Vorzeichen-Rang~~-Test, sofern ein klinisch relevantes Ergebnis vorlag ~~Test auf klinische Relevanz über den Median~~ 3.6.2. ~~Prüfung der Nullhypothese 1.4.1. durch den Spearman-Rangkorrelationskoeffizient~~ Darstellung der Retest-Ergebnisse mittels Boxplots intraindividueller Differenzen 3.6.3. Prüfung der Nullhypothese 1.4.2. durch den ~~Friedman-Test~~ Quade-Test, anschließender Wilcoxon-~~Vorzeichen-Rang~~-Test, sofern ein klinisch relevantes Ergebnis vorlag. Es wird zuerst jede Frage einzeln, und anschließend das Gesamtergebnis verglichen 3.6.4. Prüfung der Nullhypothese 1.4.3. durch den ~~Friedman-Test~~ Quade-Test, anschließender Wilcoxon-~~Vorzeichen-Rang~~-Test, sofern ein klinisch relevantes Ergebnis vorlag 3.6.6. Verwendung von Microsoft Excel für Office 365 MSO (16.0.11929.20436) 32-Bit ~~für alle statistischen Auswertungen~~ 3.6.7. Darstellung aller Ergebnisse über Box-Whisker-Plot 3.6.7 Statistische Auswertung über JMP (Version JMP Trial 15, SAS Institute, Cary/North Carolina/USA) und über die proprietäre Statistiksoftware GNU R (R i386 3.5.3, Ross Ihaka und Robert Gentleman, Universität Auckland/NZL)
3.7. Methodische Abfolge des Projekts	3.7.1. Aufklärung und Einverständnis zu Studie und Datenschutz, Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien, Anamnese, Voruntersuchung 3.7.2. Randomisierung hinsichtlich des Führungsauges und der Testreihenfolge 3.7.3. Durchführung der Hauptstudie: Messungen für die unter 1.1.1. genannten Eingabemethoden: Versuchsperson gibt in forced-choice-Situation ohne Feedback Öffnung des Landoltringes an. 2 Durchgänge x 4 Eingabemethoden x 16 Landoltringe / Proband 3.7.4. Erhebung der subjektiven Einschätzung des Probanden mittels Fragebogen 3.7.5. Datenauswertung gemäß 3.6.
4. Ressourcen und Kosten	
4.1. Welche **Kosten** entstehen? Welche **Ressourcen** sind erforderlich? *Personalaufwand, Sachkosten, Investitionen, Hilfsmittel, Räume*	4.1.1. Kosten für den Ethikantrag 4.1.2. Personalkosten (Erst- und Zweitkorrektor/in) 4.1.3. Voruntersuchungen durch den Augenarzt (gleichzeitig Erstkorrektor) 4.1.4. Untersuchungsraum
4.2. Ist eine **Versicherung** erforderlich? Falls ja: **4.2.1. Wegeunfall-Versicherung?** **4.2.2. Probanden-Versicherung?**	Nein, da es sich bei den Versuchspersonen ausschließlich um Mitarbeiter/innen und Studierende der Hochschule Aalen handelt und diese automatisch über die Hochschule versichert sind.
4.3. Ist ein Antrag bei der **Ethik-kommission** erforderlich?	Ja

Anhang 2: Ethikantrag bei der Landesärztekammer Baden-Württemberg

Anhang 2.1: Bestätigung Landesärztekammer Baden-Württemberg

LANDESÄRZTEKAMMER BADEN-WÜRTTEMBERG
KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

ETHIK-KOMMISSION

Landesärztekammer Baden-Württemberg • Liebknechtstr. 33 • 70565 Stuttgart

20.02.2020

[redacted]

Hochschule Aalen
Kompetenzzentrum Vision Research
Fakultät Optik und Mechatronik
Studiengang Augenoptik / Augenoptik - Hörakustik
[redacted]
Anton-Huber-Str. 23
73430 Aalen

Internes Aktenzeichen:	F-2020-016
Titel:	Vergleich von vier Methoden zur Eingabe von Landoltringen: Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung. Vergleich anhand der Validität, der Retest-Reliabilität, der benötigten Untersuchungsdauer und der Probandenzufriedenheit
Antrag vom:	29.01.2020

Sehr geehrter [redacted]

die Studie hat der Ethik-Kommission in der Sitzung am 18.02.2020 zur berufsrechtlichen Beratung vorgelegen.

Von Seiten der Ethik-Kommission bestehen keine Bedenken. Die Kommission gibt folgenden Hinweis:

1. Probandeninformation: Es soll erwähnt werden, dass keine Aufwandsentschädigung vorgesehen ist.

Allgemeine Hinweise:

- Wir möchten Sie außerdem bitten, für eine raschere Bearbeitung bei zukünftigen Einreichungen jede einzelne Änderung im Text deutlich zu markieren (gestrichener Text wird durchgestrichen, ergänzter Text wird unterstrichen).
- Sämtliche Dokumente sind mit Versionsnummer und Versionsdatum zu versehen, um geänderte Dokumente voneinander unterscheiden zu können. Der Prüfplan ist zu unterschreiben (samt Datum, zu welchem unterschrieben wurde); Gleiches gilt für Amendments.
- Wir möchten darauf hinweisen, dass die Stellungnahme der Ethik-Kommission und die studienrelevante Korrespondenz an alle teilnehmenden Ärzte weiterzuleiten ist.
- Wir bitten um Mitteilung der teilnehmenden Ärzte im Zuständigkeitsbereich der Landesärztekammer Baden-Württemberg, sobald diese bekannt sind bzw. sofern im Verlauf weitere Ärzte hinzukommen.
- Bitte teilen Sie uns das Ende der Studie mit und senden Sie uns eine Synopsis des Abschlussberichts.
- Datenschutzrechtliche Aspekte von Forschungsvorhaben werden durch die Ethikkommission grundsätzlich nur kursorisch geprüft. Dieses Votum ersetzt mithin nicht die Konsultation des zuständigen Datenschutzbeauftragten.

Liebknechtstr. 33 70565 Stuttgart Telefon 0711-76989-0 Telefax 0711-76989-856 E-Mail: ethikkommission@laek-bw.de
Internet: http://www.aerztekammer-bw.de/ethik

- Unabhängig vom Beratungsergebnis macht die Ethik-Kommission darauf aufmerksam, dass die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung einer Studie beim Studienleiter und bei allen teilnehmenden Ärzten liegt.
- Die Ethik-Kommission der Landesärztekammer Baden-Württemberg setzt sich zusammen und arbeitet gemäß den nationalen gesetzlichen Bestimmungen und der ICH-GCP-Leitlinie. Den Beratungen der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Baden-Württemberg liegt die Deklaration des Weltärztebundes von Helsinki zugrunde.

Mit freundlichen Grüßen

[redacted]

Eingereichte Unterlagen:
Mit Schreiben vom 29.01.2020
- Antragsformular vom 30.01.2020
- Kostenübernahmeerklärung vom 30.01.2020
- Studiensynopsis Version 3 vom 29.01.2020
- Fragebogen_sprachliche Rückmeldung Version 2 vom 28.01.2020
- Fragebogen_modifizierter Nummernblock Version 2 vom 28.01.2020
- Fragebogen_Fernbedienung Version 1 vom 28.01.2020
- Fragebogen_Wege-Wippschalter Version 2 vom 28.01.2020
- Landoltring_Anamnesebogen Version 3 vom 29.01.2020
- Augenärztliche Untersuchung Version 2 vom 28.01.2020
- Probandeninformation und Einwilligungserklärung Version 3 vom 29.01.2020

Hinweis zur Datenschutzgrundverordnung:

Für die datenschutzrechtlichen Anforderungen der Patienten-/Probandeninformation und Einwilligungserklärung (Informationspflichten gemäß Art. 12 ff. DSGVO) beachten Sie bitte die Handreichung des Arbeitskreises Medizinischer Ethik-Kommissionen in der Bundesrepublik Deutschland e.V. (www.akek.de).

Anhang 2.2: Probandenaufklärung

Vergleich von vier Methoden zur Eingabe von Landoltringen: Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung

Medizinische Betreuung (Erstbetreuer der Bachelorarbeit, Studienleiter): Prof. Dr. med. Ulrich Schiefer

Hochschule Aalen
Kompetenzzentrum „Vision Research“
Studiengang Augenoptik/Augenoptik und Hörakustik

Anton-Huber-Str. 23 (Gebäude G4)
73430 Aalen

E-Mail: ulrich.schiefer@hs-aalen.de
Tel.: +49 7361 576-4605

Bachelorandin: Ronja Granz

Hochschule Aalen
Studiengang Augenoptik/Optometrie

Anton-Huber-Str. 7
73430 Aalen

[redacted]

Zweitbetreuerin: Judith Ungewiß (M. Sc.)

Hochschule Aalen
Kompetenzzentrum „Vision Research“
Studiengang Augenoptik/Augenoptik und Hörakustik

Anton-Huber-Str. 23 (Gebäude G4)
73430 Aalen

E-Mail: judith.ungewiss@hs-aalen.de
Telefon: +49 7361 576-4625

Probandenaufklärung

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,

vielen Dank für Ihr Interesse an der Studie **„Vergleich von vier Methoden zur Eingabe von Landoltringen: Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung“**. Die Studie untergliedert sich in vier Unterabschnitte:

a) Erfassen und vergleichen der Güte der einzelnen Messmethoden, d.h. des Anteils der korrekt angegebenen Lückenpositionen an der Gesamtzahl der Darbietungen
b) Auswertung der Wiederholgenauigkeit, d.h. die Übereinstimmung einer zweiten Messung mit der ersten Messung
c) Vergleichen der benötigten Gesamtuntersuchungsdauer
d) Vergleichen der Probandenzufriedenheit (anhand eines Fragebogens)

Diese Untersuchungen führen wir durch, um herauszufinden, welche der vier angegebenen Methoden im Hinblick auf den Anteil der korrekt angegebenen Lückenpositionen am genauesten ist. Wir wollen also mit Ihrer Hilfe ermitteln, welche Methode sich am besten eignet, um die Sehschärfe zu bestimmen.

Wir werden Sie im Folgenden über die Einzelheiten dieser Studie informieren. Bitte lesen Sie alle Informationen aufmerksam durch. Wenn Sie Fragen haben, können Sie sich jeder Zeit an uns, Herr Prof. Dr. med. Schiefer oder die Bachelorandin, Ronja Granz, wenden.

Die Teilnahme an dieser Studie setzt Ihre schriftliche Einwilligung zur Durchführung der Studie sowie eine schriftliche Einwilligung zur elektronischen Speicherung Ihrer persönlichen Daten voraus. Sie können die Teilnahme an der Studie jederzeit abbrechen sowie die elektronische Speicherung Ihrer persönlichen Daten widerrufen. Ihnen entstehen dadurch weder Kosten noch Nachteile.

Hintergrund

Die Sehschärfenbestimmung ist die häufigste und eine der wichtigsten augenärztlichen und augenoptischen Funktionsuntersuchungen.

Daher ist es besonders wichtig, eine Messmethode zu finden, bei der möglichst wenige Eingabefehler auftreten.

Bei der normgerechten Bestimmung der Sehschärfe sind als Testzeichen Landoltringe (siehe **Abbildung 1**) vorgeschrieben. Bei der konventionellen und bislang am häufigsten verbreiteten Methode geht es darum, dass die Untersuchungsperson dem Untersucher sprachlich mitteilt, in welche Richtung (von acht möglichen Positionen) die Öffnung (Lücke) des Ringes weist.

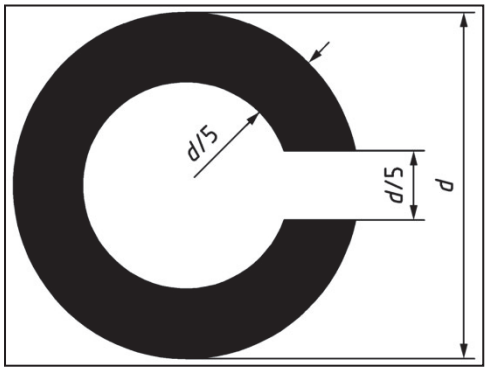


Abbildung 1: Das Normsehzeichen: Der Landoltring (Foto: DIN EN ISO 8596)

Da laut Umfragen und wissenschaftlichen Studien allerdings rund 20 bis 30 % der Bevölkerung an einer Rechts-/Linksschwäche leiden und Sprachbarrieren eine beträchtliche Hürde darstellen, ist es sinnvoll, eine Eingabemethode für die Lückenposition des Landoltrings zu finden, die möglichst fehlerfrei funktioniert.

Ablauf der Studie

Anamnese/Voruntersuchungen

Zu Beginn der Untersuchungen, stellen wir Ihnen Fragen, u.a. bezüglich Ihrer allgemeinen krankheits- und Ihrer augenbezogenen Vorgeschichte.

Danach werden wir einige augenärztlich-augenoptische Untersuchungen durchführen. Hierzu gehört beispielsweise die Bestimmung Ihres Führungsauges, d.h. die Bestimmung desjenigen Auges, das beim beidäugigen Sehen dominiert. Hinzu gehört außerdem der Test des räumlichen Sehvermögens, der Augenbeweglichkeit, der Pupillenfunktionen sowie die Untersuchung der vorderen Augenabschnitte (Lider, Bindehaut, Hornhaut, Augenlinse etc.) und der Netzhaut mittels Spaltlampe und Augenspiegel. Eine Spaltlampe kann man sich vorstellen wie ein Mikroskop, mit welchem wir mithilfe von Licht sowohl die äußeren als auch die inneren Partien Ihres Auges genauer betrachten und untersuchen können. Der Augenspiegel ist ein augenoptisches Instrument, mit welchem wir ebenfalls in Ihr Auge hineinschauen können, um den Augenhintergrund genauer zu untersuchen. Beide Geräte haben keinen direkten Kontakt mit Ihren Augen.

Wir bestimmen außerdem, jeweils für das rechte und linke Auge, Ihre individuelle Sehschärfe mit Ihrer eventuell getragenen Korrektion (Brille, Kontaktlinse). Daraus resultierend berechnen wir dann die darzustellende Größe des Testzeichens. Für die aktuelle Studie bieten wir Ihnen Landoltringe an, die 10 Mal so groß sind, wie die Sehzeichengröße an Ihrer „Erkennungsschwelle“, d.h. 10 Mal so groß, wie die Ringgröße, die Sie gerade eben erkennen könnten. Denn im Rahmen dieser Untersuchungen wollen wir in erster Linie nicht Ihre Sehschärfe*schwelle* bestimmen, sondern vielmehr das für Sie bestgeeignete Verfahren zur fehlerfreien Eingabe der Lückenposition des Landoltrings ermitteln.

Allgemeines

Im Rahmen der Studie werden die vier Eingabemethoden, modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung, zur Eingabe der Landoltring-Lückenpositionen, verglichen.

Modifizierter Nummernblock

Der modifizierte Nummernblock ist vergleichbar mit dem Nummernblock einer handelsüblichen Tastatur – allerdings sind anstelle der Ziffern die acht Orientierungen („Himmelsrichtungen“) der Lückenpositionen symbolisiert (**Abbildung 2).** Für jede der acht Orientierungen gibt es genau eine Taste. Ihre Aufgabe ist es, diejenige Taste des modifizierten Nummernblocks zu betätigen, die identisch mit dem auf dem Bildschirm angezeigten Landoltring ist. Anschließend wird sofort der nächste Ring auf dem Bildschirm dargeboten. Obwohl die Ringe auf den Tasten abgebildet sind, bitten wir Sie darum, die Tastatur während der Messung nicht anzuschauen, sondern lediglich den Bildschirm mit dem groß dargestellten Landoltring zu betrachten. Auf diese Weise sollen störende Blicksprünge verhindert werden.

Abbildung 2: Das Keypad für die Eingabe von Landoltringen (Foto: Ronja Granz)

8-Wege Wippschalter

Abbildung 3: 8-Positionen-Wippschalter: Durch entsprechenden Druck auf die jeweiligen Wippschalter können die vier geraden und die vier schrägen Lückenpositionen eingegeben werden

Der 8-Wege-Wippschalter (**Abbildung 3**), funktioniert ähnlich, wie der zuvor beschriebene modifizierte Nummernblock. Für jede Lückenposition des Landoltrings ist genau eine korrespondierende Taste des Wippschalters vorgesehen. Ihre Aufgabe ist es auch hier, die Taste zu drücken, welche mit der Öffnung des projizierten Landoltrings übereinstimmt. Wir bitten Sie auch hier darum, während der Messung die Wippschalter nicht anzuschauen.

Modifizierte Fernbedienung

Auch die modifizierte Fernbedienung der Firma PEARL (**Abbildung 4)**, funktioniert ähnlich wie die beiden zuvor beschriebenen Geräte (8-Positionen-Wippschalter und modifizierter Nummernblock). Für jede Lückenposition des Landoltrings ist wieder genau eine korrespondierende Taste vorgesehen.

Auch hier bitten wir Sie, während der Messung nicht auf die Fernbedienung zu schauen.

Abbildung 4: Modifizierte PEARL-Fernbedienung mit 8 Tasten für die 8 möglichen Orientierungen der Landoltringöffnungen. Hierdurch können diese mittels Betätigung der jeweiligen Taste eingegeben werden.

(modifziert nach © Fa. PEARL GmbH, https://www.pearl.de/a-SD1004-1254.shtml;jsessionid=j4DC369FC43F42835644C36DA7E88A9BA?vid=917&wa_id=40&wa_num=1103&utm_source=googleps&utm_medium=cpc&gclid=CjwKCAiAx_DwBRAfEiwA3vwZYq0qumNsXV60GrxU1o2urFkB3osT_-eKYekNmHGxO07gU2Pq3yw1IRoCf8kQAvD_BwE)

Sprachliche Rückmeldung

Dies ist die bislang am Häufigsten verwendete Methode zur Eingabe von Landoltringen. Ihre Aufgabe dabei ist es, die Öffnung des Landoltrings zu nennen (z.B.: oben, rechts oben, links usw.). Die Untersucherin wird (nach Ihrer Aussage) auf die nächste Landoltring-Darbietung weiterschalten.

Vorgehensweise

Jede Versuchsperson wird alle vier Eingabemethoden durchführen. Für jeden Test werden Ihnen 16 Landoltringe im ersten Durchlauf präsentiert. In einem Wiederholungstest werden Ihnen weitere 16 Landoltringe angeboten. Das Prinzip ist bei beiden Durchläufen und bei allen vier Eingabemethoden identisch: Ihre Aufgabe ist es, mithilfe der aufgezählten Eingabemethoden anzugeben, in welcher Orientierung die Öffnung vorliegt. Hierbei handelt es sich um eine forced-choice-Methode, das heißt der Test wird erst weitergeführt, wenn Sie

eine Angabe gemacht haben. Unabhängig davon, ob Ihre Eingabe richtig oder falsch war, wird dann der nächste Landoltring dargestellt.

Jede Eingabemethode wird mithilfe des FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test) durchgeführt, welcher es ermöglicht, die Ringe standardisiert in den verschiedenen Orientierungen darzustellen.

Die Reihenfolge der Eingabemethoden ist randomisiert (d.h. „verwürfelt“) – die Testreihenfolge ist somit von Proband zu Proband unterschiedlich.

Fragen zur Zufriedenheit mit den einzelnen Eingabemethoden

Anbei finden Sie einen Fragebogen, der Ihre Einschätzung zur Benutzerfreundlichkeit der einzelnen Eingabemethoden abfragt. Diesen füllen Sie einfach, nach dem Beenden einer jeden Methode, aus.

Nebenwirkungen

Es sind keine Nebenwirkungen bekannt, die durch die Studie ausgelöst werden können.

Risiken

Für die einzelnen Tests sind keine Risiken bekannt.

Nutzen

Sie werden durch die Teilnahme an dieser Studie außer einer für Sie kostenlosen augenärztlichen Untersuchung voraussichtlich keinen persönlichen Nutzen haben. Die Ergebnisse der Studie können aber möglicherweise zu einer Verbesserung bestehender Untersuchungsmethoden der Sehschärfe beitragen.

Für die Durchführung dieser Studie ist keine Aufwandsentschädigung vorgesehen.

Zeitaufwand

Der Zeitaufwand beträgt pro Versuchsperson insgesamt ca. 85 Minuten.

Für die Probandenerklärung, sowie die Einwilligungserklärung und die Datenschutzerklärung (dieses Dokument) werden hierbei insgesamt 15 Minuten veranschlagt. In 5 Minuten werden Ihnen Fragen zur allgemeinen Gesundheit, eventuellen Augenverletzungen und weiteren Merkmalen, wie zum Beispiel Fragen zu Geschlecht und Alter, gestellt. Weitere ca. 25 Minuten werden dafür verwendet, Ihre Augen augenärztlich/augenoptisch zu untersuchen. Im weiteren Verlauf sind für die Eingabemethoden ca. 20 Minuten (4 Methoden à 5 Minuten) veranschlagt. Am Ende einer jeden Untersuchung bitten wir Sie um Ihre Beurteilung. Dafür wird ein Fragebogen zum Einsatz kommen, für dessen Bearbeitung wir insgesamt ca. 10 Minuten veranschlagen. Für die zwischendurch anfallenden Vor- und Nachbereitungsmaßnahmen werden rund 10 Minuten benötigt.

Einwilligungserklärung zur Speicherung Ihrer Daten

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,

für das Erstellen dieser wissenschaftlichen Studie werden persönliche Daten und medizinische Befunde über Sie erhoben. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung Ihrer persönlichen Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen.

Die Studie „**Vergleich von vier Methoden zur Eingabe von Landoltringen: Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung“** untergliedert sich in vier Unterabschnitte:

e) Erfassen und vergleichen der Güte der einzelnen Messmethoden, d.h. des Anteils der korrekt angegebenen Lückenpositionen an der Gesamtzahl der Darbietungen
f) Auswertung der Wiederholgenauigkeit, d.h. die Übereinstimmung einer zweiten Messung mit der ersten Messung
g) Vergleichen der benötigten Gesamtuntersuchungsdauer
h) Vergleichen der Probandenzufriedenheit (anhand eines Fragebogens)

Ich bin damit einverstanden, dass im Rahmen der oben genannten Studie die folgenden personenbezogenen Daten von mir erhoben und mit einem Verschlüssellungscode versehen gespeichert werden:

1. Geschlecht
2. Alter
3. Sehschärfe
4. Getragene Brillen-/ Kontaktlinsenkorrektion
5. Rechts-/ Linksschwäche
6. Augenbezogene Befunde
7. Allgemeinerkrankungen (z.B. Parkinson, Diabetes)

Bei der Speicherung und Veröffentlichung Ihrer Daten wird kein Bezug zu Ihrem Namen hergestellt, es werden keine Rückschlüsse auf Ihre Person zugelassen. Die Daten werden elektronisch pseudonymisiert gespeichert, d.h. Ihnen wird zu Beginn der Untersuchung ein Nummerncode zugewiesen. Diese Codeliste (hier werden alle Versuchspersonen durch eine individuelle Nummer aufgeführt) wird separat, verschlossen aufbewahrt und ermöglicht es dem Versuchsleiter, im Bedarfsfall auf Ihre Daten zuzugreifen.

Die Bereitstellung Ihrer Daten ist für Sie freiwillig. Bei Nichtbereitstellung können wir Sie nicht in die Studie aufnehmen, Ihnen entstehen daraus aber keine weiteren Nachteile.

Ihre Daten werden in pseudonymisierter Form erhoben, ausschließlich zum Zweck der wissenschaftlichen Forschung verarbeitet und für die Dauer von 10 Jahren gespeichert. Die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz werden im Rahmen dieser Studie eingehalten. Die Rechtsgrundlage hierfür ist Art. 6 (1) a und Art. 9 (2) a der Europäischen Datenschutz-Grundverordnung. Zugriff auf Ihre gespeicherten Daten und die Verantwortung dafür haben lediglich Angehörige des Kompetenzzentrums „Vision Research“ (Prof. Dr. med. Ulrich Schiefer, Judith Ungewiß, M.sc.) an der Hochschule Aalen. Verarbeitet und erhoben werden Ihre Daten zusätzlich von der Bachelorandin Ronja Ganz. Die verantwortliche Datenschutzbeauftragte der Hochschule Aalen ist Frau Britta Seitz (Hochschule Aalen, Frau Britta Seitz, Beethovenstraße 1, 73430 Aalen). Auf das Bestehen eines Beschwerderechts bei der Datenschutz-Aufsichtsbehörde (Landesbeauftragter für

Datenschutz und Informationsfreiheit Jörg Klingbeil, Königstrasse 10a, 70173 Stuttgart) wird hiermit hingewiesen.

Sie haben das Recht, Auskunft (einschließlich unentgeltlicher Überlassung einer Kopie) über die Sie betreffenden personenbezogenen Daten zu erhalten sowie ggf. deren Berichtigung oder Löschung zu verlangen. Ferner haben Sie das Recht, die Verarbeitung der Daten einzuschränken und Widerspruch gegen die Verarbeitung einzulegen. Sie haben die Möglichkeit, Ihr Recht auf Datenübertragbarkeit geltend zu machen. Die entsprechende Kontaktadresse für die vorgenannten Aktionen ist:

Hochschule Aalen, Prof. Dr. med. Ulrich Schiefer, Anton-Huber-Straße 23, 73430 Aalen.

☐ Ich willige ein, dass meine oben genannten Daten elektronisch verschlüsselt gespeichert werden und bin damit einverstanden, dass meine Daten, in anonymer Form und ohne Rückschlüsse auf meine Person, veröffentlicht werden.

Freiwillige Angabe:

☐ Ich willige ein, dass ich für weitere Studien, für die ich als Proband in Frage komme, kontaktiert werde. Hierfür willige ich ein, dass meine nachstehenden Kontaktdaten, lediglich zu diesem Zweck, elektronisch gespeichert werden.

Name, Vorname:
Straße, Hausnr.:
PLZ:
Telefon/Mobil-Tel., E-Mail:

_____ _____

Ort, Datum Unterschrift des/der Erklärenden

Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie

Ich willige hiermit ein, dass zum Zwecke der Studie **„Vergleich von vier Methoden zur Eingabe von Landoltringen: Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung“** folgende Messungen/Untersuchungen (nebst Angabe der ungefähren Untersuchungsdauer) an mir durchgeführt werden dürfen:

1. Bestimmung der Sehschärfe (*5 Minuten*)
2. Bestimmung des Führungsauges (*1 Minute*)
3. Vermessung der getragenen Brille (*5 Minuten*)
4. Untersuchung des räumlichen Sehvermögens (*1 Minute*)
5. Untersuchung von Augenstellung und Augenbeweglichkeit (*2 Minuten*)
6. Untersuchung der efferenten und afferenten Pupillen-Reaktion (Pupillenweite und Pupillenlichtreaktion) (*2 Minute*)
7. Untersuchung des strukturellen Augenbefunds (Spaltlampenmikroskopie und Untersuchung des Augenhintergrunds mit dem Augenspiegel) (10 *Minuten*)
8. Eingabe der Landoltring-Lückenposition mittels modifiziertem Nummernblock (*5 Minuten*)
9. Eingabe der Landoltring-Lückenposition mittels 8-Wege-Wippschalter (*5 Minuten*)
10. Eingabe der Landoltring-Lückenposition mittels modifizierter Fernbedienung (*5 Minuten*)
11. Eingabe der Landoltring-Lückenposition mittels sprachlicher Rückmeldung (*5 Minuten*)
12. Subjektive Einstufung der vorgenannten Eingabe-Optionen mittels Fragebogen (*insgesamt 10 Minuten*)
13. Befragung bezüglich allgemeiner und augenbezogener Erkrankungen (5 Minuten)

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Ihnen entstehen durch eine Nichtteilnahme keine Nachteile.

Ich wurde vom zuständigen Studienleiter des Kompetenzzentrums „Vision Research“ der Hochschule Aalen sowie der Bachelorandin Ronja Granz über Wesen, Zielsetzung und Ablauf, Bedeutung und Tragweite an der oben genannten Studie eingehend informiert. Die schriftliche Probandenaufklärung wurde mir ausgehändigt und ich hatte ausreichend Zeit, diese zu lesen und Fragen zu stellen. Den Inhalt habe ich verstanden. Ich weiß, dass ich weitere Informationen jederzeit beim zuständigen Studienleiter erfragen kann.

Ich erkläre mich bereit, an der Studie (deren Ablauf mir genau geschildert wurde) teilzunehmen. Ich weiß, dass ich meine Einwilligung jederzeit ohne Angaben von Gründen und ohne Nachteile zurückziehen kann. Beim Widerruf meiner Einwilligung habe ich das Recht, die Löschung der bis dahin erhobenen Daten zu verlangen.

Ich versichere hiermit, dass ich sämtliche Fragen nach bestem Wissen beantwortet habe bzw. beantworten werde und mich an die Anweisungen im Rahmen der Studie halten werde.

Ich bestätige, eine Kopie der unterschriebenen und datierten Einverständniserklärung, sowie die Probandenaufklärung, für meine Unterlagen erhalten zu haben.

Ich wurde darüber informiert, dass ich jederzeit Auskunft über meine gespeicherten Daten und die Berechtigung von fehlerhaften Daten verlangen kann. Mir wurde versichert, das Dritte keinen Einblick in Originalunterlagen erhalten.

Mir wurde versichert, dass die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz im Rahmen dieser Studie eingehalten werden und dass nur pseudonymisierte (=verschlüsselte) Datenbögen ohne Namensnennung weitergegeben werden. Die

Pseudonymisierung erfolgt durch die Zuordnung eines Nummerncodes. Ich bin mit der beschriebenen Datenerhebung, -verarbeitung

und -weitergabe einverstanden. Die während der Studie erhobenen Daten werden nach Studienabschluss elektronisch für 10 Jahre aufbewahrt.

Ich wurde darüber informiert, dass ich jederzeit Auskunft über meine gespeicherten Daten und die Berichtigung von fehlerhaften Daten verlangen kann.

_____	_____
Ort, Datum	Unterschrift der Versuchsperson
_____	_____
Ort, Datum	Unterschrift des Arztes (Prof. Dr. med. Schiefer)

Anhang 2.3: Anamnesebogen

Landoltring-Eingabemethoden: Anamnesebogen

Augenanamnese				
	"j" für ja und "n" für nein	**Welches Auge ist betroffen? "R" für rechts, "L" für links**	**Falls ja, in welchem Lebensjahr Erstdiagnose/ Erstversorgung?**	**Erläuterungen / Ergänzungen**
Brillen-/ Kontaktlinsenträger?				
Sehen Sie auf beiden Augen mit Korrektion (Brille/Kontaktlinse) gleich gut?				
Ist eine Schwach-sichtigkeit bekannt? (Amblyopie)				
Schielen bekannt?				
Augenbewegungs-störungen bzw. Doppelbilder?				
Grauer Star (Katarakt)?				
Grüner Star (Glaukom)?				
Netzhauterkrankungen? (z.B. Netzhautablösung, …)				
Erkrankungen an der Stelle des schärfsten Sehens (Makula)?				
Schwere chronische Augenentzündungen?				
Augenverletzungen?				
Augen-Operationen?				
Augenmedikamente (Tropfen/Salben)?				

Allgemeinanamnese	
Verwechseln sie häufig rechts und links?	☐ Ja ☐ Nein ☐ Nur gelegentlich
Rechts- oder Linkshändig?	☐ Rechtshändig ☐ Linkshändig ☐ Beidhändig
Geschlecht?	☐ Männlich ☐ Weiblich ☐ Divers
Alter?	_____ Jahre

Allgemeine Erkrankungen			
	"j" für ja und "n" für nein	**Falls ja, ab welchem Lebensjahr / wann wurde Erstdiagnose gestellt?**	**Erläuterungen / Ergänzungen**
Neurologische Erkrankungen? (z.B. Schlaganfall, Epilepsie,…)?			
Bewegungsstörungen (z.B. Parkinson)?			

	"j" für ja, "n" für nein und „g" für gelegentlich	**Falls ja, ab welchem Lebensjahr / wann wurde Erstdiagnose gestellt?**	**Erläuterungen / Ergänzungen**
Nikotinkonsum			
Alkoholkonsum			
Medikamenteneinnahme?			
Dauermedikation? (d.h. mindestens seit 6 Monaten)			
Medikamente, welche die Reaktionszeit beeinflussen? (Bsp.: Antiepileptika, Antihistaminika, Antidepressiva, etc.)			

Liegen bei Ihnen andere, wichtige, Erkrankungen vor?

☐ Ja, und zwar:

☐ Nein

Landoltring-Eingabemethoden: Augenärztliche Untersuchung

Visus/ Führungsverhalten	
Führungsauge (Durchblicktest, Fa. ESSILOR, Paris/F)	☐ Rechts☐ Links ☐ Gleichwertig
Fern-Visus mit Korrektion (FrACT mit sprachlicher Rückmeldung, Prüfentfernung 4 m)	Rechts: Links:
Fern-Visus ohne Korrektion (FrACT mit sprachlicher Rückmeldung, Prüfentfernung 4 m)	Rechts: Links:
Eigene Brillenkorrektion	R: Sph ____ dpt Cyl ____ dpt A ____ dpt Add ___ dpt Prisma ___ $\frac{cm}{m}$ Basis L: Sph ____ dpt Cyl ____ dpt A ____ dpt Add ___ dpt Prisma ___ $\frac{cm}{m}$ Basis
Durchführung der Studie mit Korrektion (eigene KL/ Brille)?	☐ Ja ☐ Nein
Für Untersuchung verwendetes Auge	☐ Rechts☐ Links
Stereosehen (Lang-Stereotest-I (Fronhäuser, Prüfentfernung 40 cm))	
Objekte erkannt?	Auto (550 ") ☐ Ja ☐ Nein Stern (600 ") ☐ Ja ☐ Nein Katze (1200 ") ☐ Ja ☐ Nein

Augenstellung und Motilität

	RA Intakt/Unauffällig	RA Gestört/Auffällig	LA Intakt/Unauffällig	LA Gestört/Auffällig	Bemerkungen
Augenstellung Einseitiger und alternierender Abdecktest bei Fixation einer Lichtquelle in Ferne und Nähe					
Augenbeweglichkeit					

Pupillen (Efferenz und Afferenz): Swinging Flashlighttest

	RA		LA		
	intakt/ unauffällig	gestört/ auffällig	intakt/ unauffällig	gestört/ auffällig	Bemerkungen
Pupillen					
Pupillen rund					
Pupillen zentriert					
In Helligkeit und Dunkelheit isokor?					
Anisokorie	☐ **ja, dann weiter ausfüllen ↓**		☐ **nein, dann weiter mit RAPD**		*(Bitte ankreuzen!)*
R > L					
R < L					
Bei Dunkelheit zunehmend?					
Bei Helligkeit zunehmend?					
RAPD? (relativer afferenter Pupillendefekt (swinging flashlight test)		__ , __ logE	__ , __ logE		
Sonstige Anmerkungen					

Vorderer Augenabschnitt					Spaltlampe (BQ900, Haag Streit, Köniz)
	RA Intakt/ Unauffällig	**RA Gestört/ Auffällig**	**LA Intakt/ Unauffällig**	**LA Gestört/ Auffällig**	**Bemerkungen**
Lider					
Bindehaut					
Hornhaut					
Linse					
Intraokular reizfrei?					
Augenhintergrund (direkte/ indirekte Ophthalmoskopie)					
Papille randscharf?					
Papille vital gefärbt?					
Zentrale Exkavation?					
CDR (Cup/Disc Ratio):					
ISNT-Regel erfüllt?					
Nervenfaserschicht (rotfrei)					
Wallreflex (+ / (+) / Ø)	Ausprägungsgrad RA		Ausprägungsgrad LA		
Foveolarreflex (+ / (+) / Ø)	Ausprägungsgrad RA		Ausprägungsgrad LA		
Zentrale Fixation					
Exzentrischer Fixationsort					
Gefäße					
a : v =					
Peripherie					
Allgemeine Bemerkungen					

Anhang 2.5: Begründung klinische Relevanz

Hinweis: Diese Begründung ist Bestandteil des Ethik-Antrags. Die hier aufgeführte Begründung der klinischen Relevanz bezieht sich lediglich auf den klinischen Unterschied und nicht auf die tatsächliche Relevanz für die klinische Praxis. Die tatsächliche klinische Relevanz wird in *Kapitel 5.3* diskutiert.

Begründung der klinischen Relevanz

Allgemein gilt: Keines der Geräte sollte Eingabefehler zulassen. Ein Eingabefehler tritt auf, wenn die Versuchsperson den Landoltring eigentlich erkennen kann, die Lücke aber dennoch (aus Versehen) falsch eingibt.

Eine Fehleingabe würde die Ergebnisse bei einer Sehschärfeprüfung, wofür die Eingabemethoden entwickelt wurden, gravierend beeinflussen! Jede Fehleingabe ist also für die klinische Relevanz von Bedeutung. Die Eingabemethoden können in dieser Studie besonders gut verglichen werden, weil es sich um eine verbundene Stichprobe handelt, d.h. ein und dieselbe Probandengruppe führt alle Eingabemethoden durch.

Daher folgt eine klinisch relevante Abweichung, sobald sich die Mediane der Fehleingabenanzahl der verschiedenen Eingabemethoden unterscheiden. Der Median ist der Wert, der sich nach sortierter Abfolge der Messergebnisse, in der Mitte befindet. Für den Vergleich werden nur die Messreihen der ersten Testdurchführung für die jeweilige Methode berücksichtigt. Dies hat den Hintergrund, dass noch nicht erwiesen ist, inwiefern z.B. Lerneffekte, Konzentrationsschwankungen etc. einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. D.h. die Retest-Reliabilität (inwiefern ein Test im Wiederholungsdurchlauf dieselben Ergebnisse liefert wie im ersten Testdurchlauf) wurde vor Durchführung dieser Studie noch nie an dieser Eingabemethoden-Kombination getestet.

Die Grundlage, warum eine Eingabemethode keine Eingabefehler zulassen sollte, ist folgende:

Pro Sehschärfenstufe werden gemäß DIN EN ISO 8596 (Deutsches Institut für Normung e.V., 2018) bei der Sehschärfenprüfung 5 oder 10 Ringe projiziert. Eine Sehschärfenstufe definiert sich dadurch, dass die dargestellten Landoltringe für die jeweilige Stufe exakt dieselbe Größe haben. Erst, wenn diese Reihe als erkannt gilt, wird die nächstkleinere Stufe dargeboten. Davon müssen 56,25% (gerundet 60%) erkannt werden, da die Schwelle bei 50% liegt und eine Ratequote von 12,5% (bei 8 möglichen Orientierungen) berücksichtigt wird (Wesemann et al., 2020).
Das bedeutet, dass bei 5 dargebotenen Sehzeichen (hier: Landoltringen) zwei Eingaben ohne Auswirkungen auf die Sehschärfe falsch getätigt werden dürfen, da nur drei erkannt und richtig eingegeben werden müssen. Erst bei mehr als zwei Fehleingaben, gilt die Sehschärfenstufe als nicht mehr erkannt.

Durch verschiedene Störfaktoren wird aber erfahrungsgemäß nicht bei jedem Durchlauf dieselbe Sehschärfenstufe erreicht. Bei der Hälfte der Fälle treten Differenzen von einer Stufe auf, bei 1/6 der Fälle sogar Differenzen von 2 Stufen. Daher gelten erst Unterschiede ab 3 Sehschärfenstufen als relevant (Petersen, 1993).

Der Ansatz, dass dadurch eine Fehleingabe durch die Eingabemethode nicht klinisch relevant sei, ist aber FALSCH. Dies liegt daran, dass die Toleranz bei der Bestimmung der Erkennungsschwelle so gewählt ist, dass z.B. „menschliche“ Schwächen (Rechts-/ Linksschwäche etc.) berücksichtigt werden. Vor allem wollen wir aber sehr nah an der Schwelle arbeiten, wodurch manche Landoltringe mehr geraten als gesehen werden. Dies MUSS aber so sein, da es sich um eine forced-choice-Methode handelt, d.h. der Prüfling ist gezwungen, eine Angabe zu machen. Erst wenn mehr als zwei Sehzeichen falsch eingegeben/benannt werden, wird die Sehschärfenprüfung abgebrochen.

Es wäre also fatal, wenn die Wahl der „falschen“ Eingabemethode in diese Kalkulationen eingreifen würde, wodurch, wie anfangs gesagt, jede Fehleingabe relevant ist. Es gilt nur herauszufinden, welche Eingabemethode mehr Fehleingaben indiziert, was durch das Vergleichen der Mediane geschieht.

Literaturangaben:

Deutsches Institut für Normung e.V. (2018). *DIN EN ISO 8596: Sehschärfeprüfung—Normsehzeichen und klinische Sehzeichen und ihre Darbietung*. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

Petersen, J. (1993). Fehlerhafte Visusbestimmungen und ihre quantitativen Auswirkungen. *Der Ophthalmologe*, *90*(5), 533–538.

Wesemann, W., Heinrich, S. P., Jägle, H., Schiefer, U., & Bach, M. (2020). Neue DIN- und ISO-Normen zur Sehschärfebestimmung. *Ophthalmologe*, *117*(1), 19–26.

Anhang 2.6: Fragebögen zur subjektiven Zufriedenheit

Fragen zur Zufriedenheit mit der Eingabe durch den modifizierten Nummernblock

Wie kamen Sie mit der Handhabung des Gerätes zurecht?

☹ ———————————————— ☺

Gar nicht — Sehr gut

Wie selbsterklärend empfanden Sie das Gerät?

☹ ———————————————— ☺

Gar nicht selbsterklärend — Vollkommen selbsterklärend

Wie leicht ist es Ihnen gefallen, die richtige Orientierung wiederzugeben, d.h. die richtige Taste zu drücken?

☹ ———————————————— ☺

Sehr schwer — Sehr leicht

Ist Ihnen die Durchführung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen als anfangs?

☹ ———————————————— ☺

Nein — Ja

Fragen zur Zufriedenheit mit der Eingabe durch den 8-Wege-Wippschalter

Wie kamen Sie mit der Handhabung des Gerätes zurecht?

☹ ———————————————— ☺

Gar nicht — Sehr gut

Wie selbsterklärend empfanden Sie das Gerät?

☹ ———————————————— ☺

Gar nicht selbsterklärend — Vollkommen selbsterklärend

Wie leicht ist es Ihnen gefallen, die richtige Orientierung wiederzugeben, d.h. die richtige Taste zu drücken?

☹ ———————————————— ☺

Sehr schwer — Sehr leicht

Ist Ihnen die Durchführung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen als anfangs?

☹ ———————————————— ☺

Nein — Ja

Fragen zur Zufriedenheit mit der Eingabe durch die Fernbedienung

Wie kamen Sie mit der Handhabung des Gerätes zurecht?

☹ ———————————————— ☺

Gar nicht — Sehr gut

Wie selbsterklärend empfanden Sie das Gerät?

☹ ———————————————— ☺

Gar nicht selbsterklärend — Vollkommen selbsterklärend

Wie leicht ist es Ihnen gefallen, die richtige Orientierung wiederzugeben, d.h. die richtige Taste zu drücken?

☹ ———————————————— ☺

Sehr schwer — Sehr leicht

Ist Ihnen die Durchführung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen als anfangs?

☹ ———————————————— ☺

Nein — Ja

Fragen zur Zufriedenheit mit der Eingabe durch die sprachliche Rückmeldung

Wie kamen Sie mit der allgemeinen Durchführung der Methode zurecht?

☹ ———————————————— ☺

Gar nicht — Sehr gut

Wie selbsterklärend empfanden Sie die Eingabemethode?

☹ ———————————————— ☺

Gar nicht selbsterklärend — Vollkommen selbsterklärend

Wie leicht ist es Ihnen gefallen, die richtige Orientierung wiederzugeben, d.h. die richtige Position anzusagen?

☹ ———————————————— ☺

Sehr schwer — Sehr leicht

Ist Ihnen die Durchführung gegen Ende der Testreihe leichter gefallen als anfangs?

☹ ———————————————— ☺

Nein — Ja

Anhang 3: Einreichung des Abstracts bei der DOG 2020

Abstract Vorschau - Schritt 3/4

- print version -

Thema:	18. Diverse Themengebiete / Sonstiges
Dieses Abstract wird eingereicht für:	DOG2020
Vortragssprache:	deutsch
Kasuistik:	Nein
Grundlagenforschung:	Nein
Klinische Forschung:	Ja
Diagnostik:	Nein
Chirurgische Therapie:	Nein
Konservative Therapie:	Nein
Titel:	**Vergleich von vier Methoden zur Eingabe von Landoltring-Lückenpositionen (modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter, Fernbedienung und sprachliche Rückmeldung) im Hinblick auf Validität, Retest-Reliabilität, Untersuchungsdauer und Probandenzufriedenheit**

Autor(en): Granz R.[1], Schiefer U.[1,2,3], Frankenreiter T.[1], Hölzli T.[1], Eichinger P.[1], Ungewiß J.[1,3]

Institut(e): *[1]Hochschule Aalen, Aalen, Germany, [2]Universität Tübingen, Tübingen, Germany, [3]Kompetenzzentrum "Vision Research", Studiengang Augenoptik, Hochschule Aalen, Aalen, Germany*

Text: **Ziel:** Vergleich der Validität von vier Methoden zur Eingabe von Landoltring-Lückenpositionen. *Sekundäre Zielgrößen:* Retest-Reliabilität, Untersuchungsdauer, Probandenzufriedenheit.

Methoden: Jede Versuchsperson absolvierte monokular 4 Eingabemethoden (Randomisierung bzgl. Testsequenz & Führungsauge): Modifizierter Nummernblock, 8-Wege-Wippschalter (Prototyp), mod. Fernbedienung (8-in-1 Universal-Fernbedienung, PEARL, Buggingen/D), sprachliche Rückmeldung. Für jede Eingabemodalität erfolgten zwei Testdurchläufe mit je 16 größenkonstanten, um 10 Visusstufen (dB) überschwellig dargebotenen Landoltringen, die mit einer modifizierten Version des FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test, Version 3.10.4) in standardisierter Form auf einem 5 m entfernten Laptopdisplay (Acer Aspire A515-51G, Bildschirmauflösung 1366x768 Pixel) dargestellt wurden. Die Testzeichenleuchtdichte betrug 2,6 cd/m^2, die Leuchtdichte des Prüffeldes 200 cd/m^2 (Luminance Meter LS-160, Konica Minolta, Marunouchi/JPN), die Raum-Beleuchtungsstärke 230-250 lx (Digital Lux Meter 5025, PeakTech, Ahrensburg/D). Als Maß für die Validität der Eingabemethoden diente die Anzahl der korrekt eingegebenen Lückenpositionen. Die Untersuchungsdauer wurde mittels Smartphone registriert (P Smart 2019, Huawei). Im Anschluss kam ein 4-Punkte-Evaluationsbogen unter Verwendung von "visual analogue scales" (Bereich: 0-100) zum Einsatz. Sämtliche nachfolgenden Ergebnisse sind als Median/Interquartilsabstand (IQR) dargestellt.

Ergebnisse: Im Rahmen dieser Pilotstudie wurden 5 Versuchspersonen im Alter von 21/9 J. untersucht. Die Sehschärfe der untersuchten Augen lag bei 1,7/0,8.

	Nummernblock	Wippschalter	Fernbedienung	Sprache
Validität:	16/0	15/1,5	16/0	16/0
Retest:	16/0,5	16/1,5	16/0,5	16/0
Dauer [s]:	21/5	24/10	29/7	35/7,5
Zufriedenheit:	76,9/37,3	73,6/27,4	68,8/19,9	75,5/37

Schlussfolgerung: Für deutlich überschwellige Optotypen lagen sowohl die Validität, als auch die Retest-Reliabilität aller Eingabemethoden hoch. Die Untersuchungsdauer war bei sprachlicher Rückmeldung mehr als 1,5mal größer als für den modifizierten Nummernblock. Die Probandenzufriedenheit war für die Fernbedienung am geringsten.
Weitere, schwellennähere Untersuchungen mit höherer Fallzahl sind nötig, um diese Ergebnisse zu überprüfen.

Konferenz: 118. Kongress der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft · Abstract: A-1134-0037-00468 · **Status: in Arbeit**

Drucken ← Zurück

Anhang 4: Ermittelte Werte aller Probanden

Anhang 4.1: Anamnese aller Probanden

Patienten		Augenanamnese							
Patienten-ID	Datum	**Brille/ Kontaktlinsen?**	Betroffenes Auge?	Erst-versorgung?	Ergänzungen?	**Beidäugiges, gleichwertiges Sehen?**	Besseres Auge?	Erst-diagnose?	Ergänzungen?
LR-03	16.03.2020	j	R/L	0	wird nicht getragen	j	0	0	0
LR-06	13./16.03.2020	j	R/L	14-15, seit 27. regelmäßig	Tages-KL sporadisch	j	0	0	0
LR-07	16.03.2020	j/j	R/L	15. LJ	Tages-KL, sehr selte	j	0	0	0
LR-08	16.03.2020	n	0	0	0	j	0	0	0
LR-15	16.03.2020	n	0	0	0	j	0	0	0

Augenanamnese										
Schwach-sichtigkeit?	Welches Auge?	Erst-diagnose?	Ergänzungen?	**Schielstellung/ Schielen?**	Betroffenes Auge?	Erst-diagnose?	Ergänzungen?	**Doppel-bilder?**	Erstdiagnose/ erstes Auftreten?	Situationen? Ergänzungen?
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0

Augenanamnese											
Grauer Star (Katarakt)?	Betroffenes Auge?	Erst-diagnose?	Ergänzungen?	**Grüner Star (Glaukom)?**	Betroffenes Auge?	Erstdiagnose?	Ergänzungen?	**Netzhaut-erkrankungen?**	Betroffenes Auge?	Erstdiagnose?	Ergän-zungen?
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0

Augenanamnese											
Makula-Erkrankungen?	Betroffenes Auge?	Erst-diagnose?	Ergänzungen?	**Chronische Augen-entzündungen?**	Betroffenes Auge?	Erstdiagnose?	Ergänzungen?	**Augen-verletzungen?**	Betroffenes Auge?	Erstdiagnose?	Ergän-zungen?
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0
n	0	0	0	n	0	0	0	n	0	0	0

Augenanamnese								Allgemeinanamnese				
Augen-operationen?	Betroffenes Auge?	Zeitpunkt OP?	Welche OP? Ergänzungen?	**Augen-medikamente?**	Betroffenes Auge?	Erstdiagnose?/ Seit wann?	Ergänzungen?	Höchster Bildungs-abschluss	Verwechseln von rechts/links?	Rechts-/ Linkshändig?	Geschlecht ?	Alter?
n	0	0	0	n	0	0	0	6 Mechatronikz.Z. 7 Mas	n	Rechtshändig	m	24
n	0	0	0	n	0	0	0	6 Maschinenbau	n	Rechtshändig	m	34
n	0	0	0	n	0	0	0	3z.Z. 6 Chemie	n	Rechtshändig	m	20
n	0	0	0	n	0	0	0	3z.Z. 6 Chemie	j	Rechtshändig	w	20
n	0	0	0	n	0	0	0	3z.Z. 6 Maschinenbau	g	Rechtshändig	w	21

Allgemeine Erkrankungen						Konsumgewohnheiten/Medikamente					
Neurologische Erkrankungen?	Erst-diagnose?	Welche? Ergänzungen?	**Bewegungs-störungen?**	Erstdiagnose?	Ergänzunge n?	**Nikotin-konsum?**	Seit wann?	Ergänzungen?	**Alkohol-konsum?**	Seit wann?	Ergänzungen?
n	0	0	n	0	0	n	0	0	g	0	0
n	0	0	n	0	0	n	0	0	n	0	0
n	0	0	n	0	0	n	0	0	g	0	0
n	0	0	n	0	0	n	0	0	seltenst	0	0
n	0	0	n	0	0	n	0	0	g	0	0

Konsumgewohnheiten/Medikamente									Weitere Erkrankungen	
Medikamenten-einnahme?	Seit wann?	Wie oft?/ Ergänzungen	**Dauer-medikation?**	Seit wann?	Wie oft?/Ergänzu ngen	**Reaktionszeit-beeinflussende Medikamente?**	Seit wann?	Wie oft?/Ergänzungen	Weitere Erkrankunge n?	Welche?
n	0	0	n	0	0	n	0	0	n	0
n	0	0	n	0	0	n	0	0	n	0
n	0	Nur Laktase	n	0	0	n	0	0	j	Laktoseintollerant
n	0	Nur Laktase	n	0	0	n	0	0	j	Laktoseintolleranz
n	0	nur Laktase	n	0	0	n	0	0	j	Pflasterallergie,Laktoseintolleranz

Anhang 4.2: Augenärztliche Untersuchung aller Probanden

Patienten		Visus/Führungsverhalten									
			Fern-Visus ohne Korrektion								
Patienten-ID	Datum	Führungsauge?	Rechts			Links			Binokular		
			Visus	log(Visus)	log(MAR)	Visus	log(Visus)	log(MAR)	Visus	log(Visus)	log(MAR)
LR-03	16.03.2020	Rechts	0,68	-0,167491	0,167491	0,47	-0,327902142	0,327902142	1,1	0,041392685	-0,041392685
LR-06	13./16.03.2020	Rechts	1,28	0,10721	-0,10721	0,79	-0,102372909	0,102372909	1,16	0,064457989	-0,064457989
LR-07	16.03.2020	Rechts	0,11	-0,958607	0,958607	0,097	-1,013228266	1,013228266	0,22	-0,657577319	0,657577319
LR-08	16.03.2020	Keins	1,68	0,225309	-0,22531	1,76	0,245512668	-0,245512668	2	0,301029996	-0,301029996
LR-15	16.03.2020	Rechts	1,68	0,225309	-0,22531	1,58	0,198657087	-0,198657087	1,82	0,260071388	-0,260071388

Visus/Führungsverhalten										
Fern-Visus mit Korrektion									Durchführung Studie mit Korrektion?	Für Untersuchung verwendetes Auge
Rechts			Links			Binokular				
Visus	log(Visus)	log(MAR)	Visus	log(Visus)	log(MAR)	Visus	log(Visus)	log(MAR)		
0	#ZAHL!	#DIV/0!	0	#ZAHL!	#DIV/0!	0	#ZAHL!	#DIV/0!	n	Rechts
1,46	0,164352856	-0,164352856	1,9	0,278754	-0,27875	1,83	0,26245109	-0,26245109	j	Links
2	0,301029996	-0,301029996	2	0,30103	-0,30103	1,85	0,267171728	-0,267171728	j	Rechts
0	#ZAHL!	#DIV/0!	0	#ZAHL!	#DIV/0!	0	#ZAHL!	#DIV/0!	n	Rechts
0	#ZAHL!	#DIV/0!	0	#ZAHL!	#DIV/0!	0	#ZAHL!	#DIV/0!	n	Links

Visus/Führungsverhalten									
Eigene Brillenkorrektion									
Rechts					Links				
Sph	Cyl	A	Add	Prisma	Sph	Cyl	A	Add	Prisma
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0,75	72	0	0	0	-1,25	88	0	0
-2	0	0	0	0	-2,5	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Stereosehen						Augenstellung und Motilität				
						Augenstellung				
						Rechts		Links		Bemer-kungen
Auto (550")	Bemer-kungen?	Stern (600")	Bemer-kungen?	Katze (1200")	Bemer-kungen?	Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
j	0	j	0	j	0	x	0	x	0	Ferne + NäheOrthophorie
j	0	j	0	j	0	x	0	x	0	Ferne+ Nähe Orthophorie
j	0	j	0	j	0	x	0	x	0	Ferne + NäheOrthophorie
l	Schildkröte	j	0	j	0	x	0	x	0	Ferne + Nähe Orthophorie
l	als Flugzeug	j	0	j	0	x	0	x	0	Ferne + Nähe Orthophorie

Augenstellung und Motilität				
Augenbeweglichkeit				
Rechts		Links		Bemerkungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
x	0	x	0	Motilität allseits frei,keine Doppelbilder, gute Sakkaden-geschwindigkeit
x	0	x	0	gute Sakkaden-geschwindigkeit,Motilität allseits frei,keine Doppelbilder
x	0	x	0	Motilität allseits frei,keine Doppelbilder,gute Sakkaden-geschwindigkeit
x	0	x	0	Motilität allseits frei,gute Sakkaden-geschwindigkeit,keine Doppelbilder
x	0	x	0	Motilität allseits frei, keine Doppelbilder, gute Sakkaden-geschwindigkeit

Pupillen (Efferenz und Afferenz)										
Rund?					Zentriert?					Isokor?
Rechts		Links		Bemer-kungen	Rechts		Links		Bemer-kungen	
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		
x	0	x	0	0	x	0	x	0	0	j
x	0	x	0	reagieren	x	0	x	0	0	j
x	0	x	0	zirkulär au	x	0	x	0	0	j
x	0	x	0	zirkuläreLi	x	0	x	0	0	j
x	0	x	0	0	x	0	x	0	0	n

Pupillen (Efferenz und Afferenz)									
Anisokorie?									
vorhanden?	R>L	R<L	Dunkelh. zun.?	Helligk. zun.?	RAPD?		Sonstige Anmerkungen		
					ja/nein?	logE	Rechts	Links	Allgemein
n	0	0	0	0	n	___ . ___ logE	0	0	0
n	0	0	0	0	n	___ . ___ logE	0	0	0
n	0	0	0	0	n	___ . ___ logE	0	0	0
n	0	0	0	0	n	___ . ___ logE	0	0	0
j	0	x	n	n	n	___ . ___ logE	0	0	Zur Anisokorie: Redilatationsgeschw. seitengleich, Lidspalte seitengleich, Verdacht auf physiologische Anisokorie

Vorderer Augenabschnitt									
Lider					Bindehaut				
Rechts		Links		Bemerkungen	Rechts		Links		Bemerkungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
x	0	x	0	Lidkanten regelrecht	x	0	x	0	R geringe konjunktivale Vaskularisationen L mäßige konjunktivale Vaskularisationen
x	0	x	0	R/L minimale Unterliddeshiszenz, ansonsten regelrecht	x	0	x	0	R reizfrei L geringe konjunktivale Vaskularisationen
x	0	x	0	Lidrand regelrecht	x	0	x	0	reizfrei
x	0	x	0	Lidkanten regelrecht	x	0	x	0	reizfrei
x	0	x	0	regelrecht	x	0	x	0	reizfrei

Vorderer Augenabschnitt									
Hornhaut					Tränenfilm				
Rechts		Links		Bemer-kungen	Rechts		Links		Bemer-kungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
x	0	x	0	klar, glatt, spiegelnd	x	0	x	0	0
x	0	x	0	klar, glatt, spiegelnd	x	0	x	0	gering partikelhaltig
x	0	x	0	angedeutetes Embryotexos-prosterios temporal, klar, glatt spiegelnd	x	0	x	0	0
x	0	x	0	klar, glatt, spiegelnd	x	0	x	0	0
x	0	x	0	klar, glatt, spiegelnd	x	0	x	0	0

Vorderer Augenabschnitt							
Vorderkammer (reizfrei?)					Van Herick		
Rechts		Links		Bemerkungen	Rechtes Auge	Linkes Auge	Bemerkungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört				
x	0	x	0	optisch leer	3	3	mitteltief
x	0	x	0	optisch leer	4	4	0
x	0	x	0	optisch leer	4	4	R tief, L mitteltief
x	0	x	0	optisch leer	4	4	mitteltief
x	0	x	0	optisch leer	4	4	0

Vorderer Augenabschnitt							
Iris					Irisfarbe		
Rechts		Links		Bemerkungen	Rechtes Auge	Linkes Auge	Bemerkungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört				
x	0	x	0	0	hellblau/grünlich	hellblau/grünlich	0
x	0	x	0	0	grünlich/bräunlich	grünlich/bräunlich	0
x	0	x	0	0	braun	braun	0
x	0	x	0	0	braun	braun	0
x	0	x	0	0	hellblau	hellblau	0

Vorderer Augenabschnitt									
Linse					Glaskörper				
Rechts		Links		Bemerkungen	Rechts		Links		Bemerkungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
x	0	x	0	mit Kernfigur, sonst klar	x	0	x	0	regelrecht
x	0	x	0	klar	x	0	x	0	regelrecht
x	0	x	0	R/L zarte Kernfigur, sonst klar	x	0	x	0	regelrecht
x	0	x	0	klar	x	0	x	0	regelrecht
x	0	x	0	0	x	0	x	0	regelrecht

Vorderer Augenabschnitt					Augenhintergrund (direkte/indirekte Ophthalmoskopie)				
Intraokular reizfrei?					Papille randscharf?				
Rechts		Links		Bemerkungen	Rechts		Links		Bemerkungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
x	0	x	0	0	x	0	x	0	keine Prominenz
x	0	x	0	0	x	0	x	0	keine Prominenz, in Netzhautniveauliegend
x	0	x	0	0	x	0	x	0	keine Prominenz
x	0	x	0	0	x	0	x	0	keine Prominenz
x	0	x	0	0	x	0	x	0	0

Augenhintergrund (direkte/indirekte Ophthalmoskopie)									
Papille vital gefärbt?					Zentrale Exkavation?				
Rechts		Links		Bemerkungen	Rechts		Links		Bemerkungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
x	0	x	0	0	x	0	x	0	0
x	0	x	0	R/L etw. nach temporal verkippt,	x	0	x	0	0
x	0	x	0	temporal (noch) physiologisch	x	0	x	0	0
x	0	x	0	0	x	0	x	0	0
x	0	x	0	0	x	0	x	0	0

Augenhintergrund (direkte/indirekte Ophthalmoskopie)									
CDR (Cup/Disc Ratio)					ISNT-Regel erfüllt?				
Rechts		Links		Bemerkungen	Rechts		Links		Bemerkungen
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
0,3	0	0,4	0	etwas nach temporal auslandend exkaviert	x	0	x	0	0
0,3	0	<0,2	0	0	x	0	x	0	0
0,5	0	0,4	0	R/L Papille schräg gestellt (Myopie)	x	0	x	0	0
0,3-0,4	0	0,4-0,5	0	0	x	0	x	0	0
0,4	0	0,5	0	0	x	0	x	0	0

Augenhintergrund (direkte/indirekte Ophthalmoskopie)								
Nervenfaserschicht (rotfrei)					Wallreflex		Foveolarreflex	
Rechts		Links		Bemerkungen	RA	LA	RA	LA
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört					
x	0	x	0	0	+	+	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
x	0	x	0	0	+	+	+	
x	0	x	0	0	+	+	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
x	0	x	0	0	+	+	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar
x	0	x	0	0	+	+	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar

Augenhintergrund (direkte/indirekte Ophthalmoskopie)										
Zentrale Fixation			Exz. Fixationsort		Gefäße					
Rechtes Auge	Linkes Auge	Bemerkungen	Rechts	Links	Rechts		Links		Bemerkungen
					Intakt	Gestört	Intakt	Gestört	
nicht beurteilbar	nicht beurteilbar	0	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar	x	0	x	0	0
j	j	Fixationsobjekt wird verfolgt, Fixaktion ruhig, zentral	n	n	x	0	x	0	0
nicht beurteilbar	nicht beurteilbar	0	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar	x	0	x	0	Gefäßbaum etw. nasal verlagert
nicht beurteilbar	nicht beurteilbar	0	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar	x	0	x	0	0
nicht beurteilbar	nicht beurteilbar	0	nicht beurteilbar	nicht beurteilbar	x	0	x	0	0

Augenhintergrund (direkte/indirekte Ophthalmoskopie)							
Peripherie					Allgemeine Bemerkungen		
Rechts		Links		Bemer-kungen			
Intakt	Gestört	Intakt	Gestört		Rechts	Links	Allgemein
x	0	x	0	0	0	0	0
x	0	x	0	0	0	0	0
x	0	x	0	0	0	0	0
x	0	x	0	0	0	0	0
x	0	x	0	0	0	0	0

Anhang 4.3: Auswertung des FrACT aller Probanden

Patienten		Anzahl der korrekt angegebenen Lückenpositionen							
Patienten-ID	Datum	Modifizierter Nummernblock		8-Wege-Wippschalter		Fernbedienung		Sprachliche Rückmeldung	
		Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest
LR-03	16.03.2020	16	16	16	15	16	16	16	16
LR-06	13./16.03.2020	16	16	14	14	16	16	16	16
LR-07	16.03.2020	16	16	15	16	16	16	16	16
LR-08	16.03.2020	16	15	15	16	16	15	16	16
LR-15	16.03.2020	16	16	16	16	16	16	16	16

Gesamtuntersuchungsdauer							
Modifizierter Nummernblock		8-Wege-Wippschalter		Fernbedienung		Sprachliche Rückmeldung	
Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest
19	19	20	19	25	26	29	27
21	22	28	21	32	33	35	34
20	20	35	29	35	30	37	36
22	22	24	29	28	28	42	38
27	28	23	24	29	27	35	36

Subjektive Probandenzufriedenheit									
Modifizierter Nummernblock					8-Wege-Wippschalter				
Handhabung	Selbsterklärend	Leichtigkeit	Veränderung	Durchschnitt	Handhabung	Selbsterklärend	Leichtigkeit	Veränderung	Durchschnitt
34,5	79,4	30,9	57,7	46,8	63,9	74,7	60,8	58,8	60,2
94,8	100,0	97,4	84,5	76,9	50,5	87,6	19,6	84,5	43,3
100,0	100,0	95,4	0,0	98,8	73,2	99,5	27,8	6,2	73,6
91,8	99,5	67,0	0,0	89,6	75,8	99,5	73,7	22,2	81,7
64,9	96,9	84,5	77,8	67,1	96,9	97,4	85,1	73,2	76,5

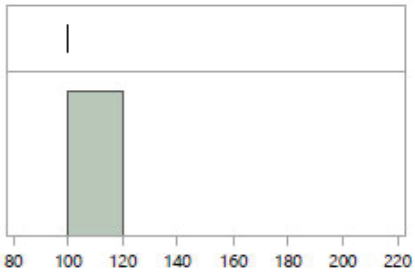
Subjektive Probandenzufriedenheit									
Fernbedienung					Sprachliche Rückmeldung				
Handhabung	Selbsterklärend	Leichtigkeit	Veränderung	Durchschnitt	Allg. Durchführung	Selbsterklärend	Leichtigkeit	Veränderung	Durchschnitt
49,0	54,6	15,5	30,9	47,0	59,8	99,0	98,5	3,1	88,5
74,2	100,0	93,8	96,9	67,8	68,0	100,0	53,6	94,8	56,7
86,6	69,6	57,7	38,7	68,8	100,0	100,0	91,2	0,0	97,8
81,4	100,0	78,4	37,6	80,5	69,1	100,0	34,0	1,0	75,5
78,9	94,8	87,1	64,9	74,0	51,5	85,6	54,1	68,6	55,7

Anhang 5: Auswertungen mit JMP

Anhang 5.1: Verteilungen der Anzahl korrekter Antworten

Verteilungen Eingabegerät 2=1 Test Modifizierter Nummernblock

Prozentualer Anteil korrekter Lückenpositionsangaben

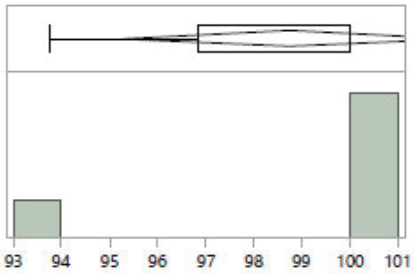


Quantile		
100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	100
25.0%	Quartil	100
10.0%		100
2.5%		100
0.5%		100
0.0%	Minimum	100

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	100
Std.-Abw.	0
Std.-Fehler Mittelwert	0
95% KI oben Mittelwert	100
95% KI unten Mittelwert	100
N	5
Interquartilabstand	0

Verteilungen Eingabegerät 2=2 Retest Modifizierter Nummernblock

Prozentualer Anteil korrekter Lückenpositionsangaben

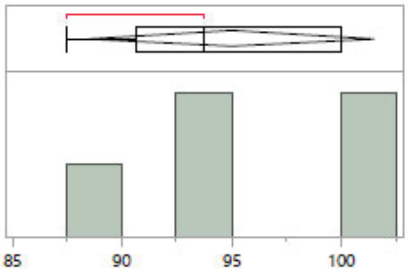


Quantile		
100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	100
25.0%	Quartil	96,875
10.0%		93,75
2.5%		93,75
0.5%		93,75
0.0%	Minimum	93,75

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	98,75
Std.-Abw.	2,795085
Std.-Fehler Mittelwert	1,25
95% KI oben Mittelwert	102,22056
95% KI unten Mittelwert	95,279444
N	5
Interquartilabstand	3,125

Verteilungen Eingabegerät 2=3 Test 8-Wege-Wippschalter

Prozentualer Anteil korrekter Lückenpositionsangaben

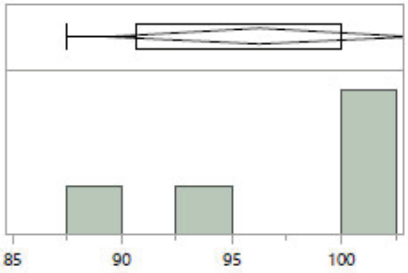


Quantile		
100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	93,75
25.0%	Quartil	90,625
10.0%		87,5
2.5%		87,5
0.5%		87,5
0.0%	Minimum	87,5

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	95
Std.-Abw.	5,2291252
Std.-Fehler Mittelwert	2,3385359
95% KI oben Mittelwert	101,49282
95% KI unten Mittelwert	88,507184
N	5
Interquartilabstand	9,375

Verteilungen Eingabegerät 2=4 Retest 8-Wege-Wippschalter

Prozentualer Anteil korrekter Lückenpositionsangaben

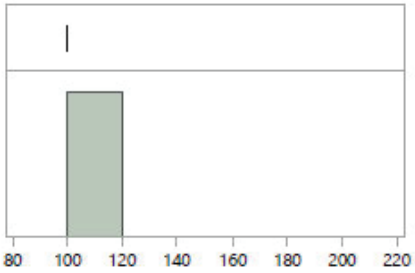


Quantile		
100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	100
25.0%	Quartil	90,625
10.0%		87,5
2.5%		87,5
0.5%		87,5
0.0%	Minimum	87,5

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	96,25
Std.-Abw.	5,5901699
Std.-Fehler Mittelwert	2,5
95% KI oben Mittelwert	103,19111
95% KI unten Mittelwert	89,308887
N	5
Interquartilabstand	9,375

Verteilungen Eingabegerät 2=5 Test Fernbedienung

Prozentualer Anteil korrekter Lückenpositionsangaben

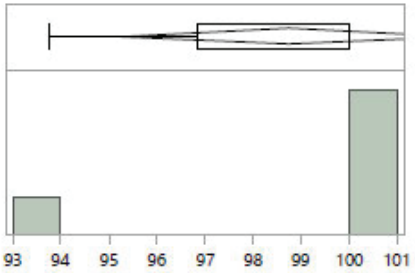


Quantile		
100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	100
25.0%	Quartil	100
10.0%		100
2.5%		100
0.5%		100
0.0%	Minimum	100

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	100
Std.-Abw.	0
Std.-Fehler Mittelwert	0
95% KI oben Mittelwert	100
95% KI unten Mittelwert	100
N	5
Interquartilabstand	0

Verteilungen Eingabegerät 2=6 Retest Fernbedienung

Prozentualer Anteil korrekter Lückenpositionsangaben

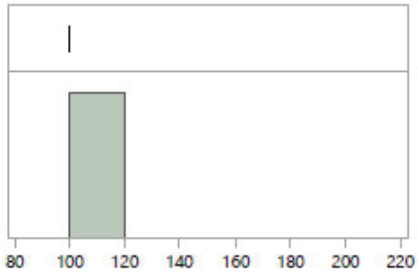


Quantile		
100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	100
25.0%	Quartil	96,875
10.0%		93,75
2.5%		93,75
0.5%		93,75
0.0%	Minimum	93,75

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	98,75
Std.-Abw.	2,795085
Std.-Fehler Mittelwert	1,25
95% KI oben Mittelwert	102,22056
95% KI unten Mittelwert	95,279444
N	5
Interquartilabstand	3,125

Verteilungen Eingabegerät 2=7 Test Sprachliche Rückmeldung

Prozentualer Anteil korrekter Lückenpositionsangaben

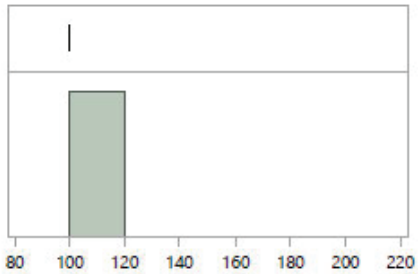


Quantile		
100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	100
25.0%	Quartil	100
10.0%		100
2.5%		100
0.5%		100
0.0%	Minimum	100

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	100
Std.-Abw.	0
Std.-Fehler Mittelwert	0
95% KI oben Mittelwert	100
95% KI unten Mittelwert	100
N	5
Interquartilabstand	0

Verteilungen Eingabegerät 2=8 Retest Sprachliche Rückmeldung

Prozentualer Anteil korrekter Lückenpositionsangaben



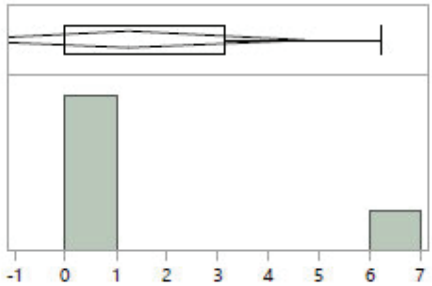
Quantile		
100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	100
25.0%	Quartil	100
10.0%		100
2.5%		100
0.5%		100
0.0%	Minimum	100

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	100
Std.-Abw.	0
Std.-Fehler Mittelwert	0
95% KI oben Mittelwert	100
95% KI unten Mittelwert	100
N	5
Interquartilabstand	0

Anhang 5.2: Verteilung der intraindividuellen Differenzen zwischen Test und Retest

Verteilungen Eingabegerät=1 Modifizierter Nummernblock

Test - Retest

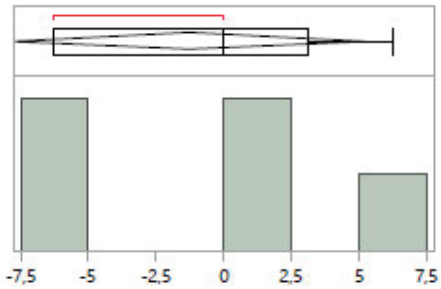


Quantile		
100.0%	Maximum	6,25
99.5%		6,25
97.5%		6,25
90.0%		6,25
75.0%	Quartil	3,125
50.0%	Median	0
25.0%	Quartil	0
10.0%		0
2.5%		0
0.5%		0
0.0%	Minimum	0

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	1,25
Std.-Abw.	2,795085
Std.-Fehler Mittelwert	1,25
95% KI oben Mittelwert	4,7205564
95% KI unten Mittelwert	-2,220556
N	5
Interquartilabstand	3,125

Verteilungen Eingabegerät=2 8-Wege-Wippschalter

Test - Retest

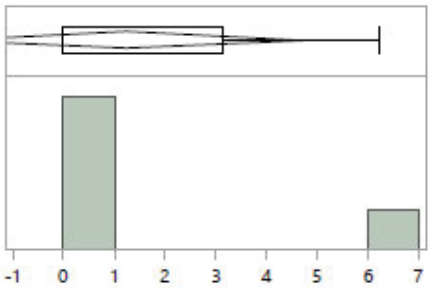


Quantile		
100.0%	Maximum	6,25
99.5%		6,25
97.5%		6,25
90.0%		6,25
75.0%	Quartil	3,125
50.0%	Median	0
25.0%	Quartil	-6,25
10.0%		-6,25
2.5%		-6,25
0.5%		-6,25
0.0%	Minimum	-6,25

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	-1,25
Std.-Abw.	5,2291252
Std.-Fehler Mittelwert	2,3385359
95% KI oben Mittelwert	5,2428165
95% KI unten Mittelwert	-7,742816
N	5
Interquartilabstand	9,375

Verteilungen Eingabegerät=3 Fernbedienung

Test - Retest

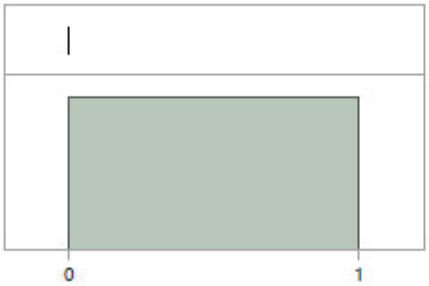


Quantile		
100.0%	Maximum	6,25
99.5%		6,25
97.5%		6,25
90.0%		6,25
75.0%	Quartil	3,125
50.0%	Median	0
25.0%	Quartil	0
10.0%		0
2.5%		0
0.5%		0
0.0%	Minimum	0

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	1,25
Std.-Abw.	2,795085
Std.-Fehler Mittelwert	1,25
95% KI oben Mittelwert	4,7205564
95% KI unten Mittelwert	-2,220556
N	5
Interquartilabstand	3,125

Verteilungen Eingabegerät=4 Sprachliche Rückmeldung

Test - Retest



Quantile		
100.0%	Maximum	0
99.5%		0
97.5%		0
90.0%		0
75.0%	Quartil	0
50.0%	Median	0
25.0%	Quartil	0
10.0%		0
2.5%		0
0.5%		0
0.0%	Minimum	0

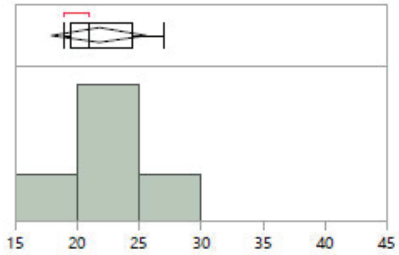
Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	0
Std.-Abw.	0
Std.-Fehler Mittelwert	0
95% KI oben Mittelwert	0
95% KI unten Mittelwert	0
N	5
Interquartilabstand	0

Anhang 5.3: Verteilungen der Untersuchungsdauer

LR-Eingabe_Auswertung FrACT_RG_Vs.2020-04-06 - Verteilung

Verteilungen Eingabegerät 2=1 Test Modifizierter Nummernblock

Untersuchungsdauer

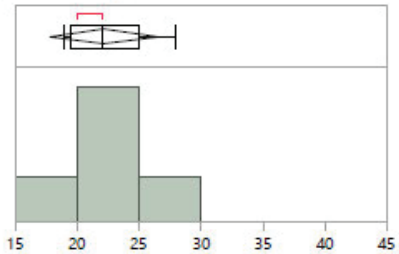


Quantile		
100.0%	Maximum	27
99.5%		27
97.5%		27
90.0%		27
75.0%	Quartil	24,5
50.0%	Median	21
25.0%	Quartil	19,5
10.0%		19
2.5%		19
0.5%		19
0.0%	Minimum	19

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	21,8
Std.-Abw.	3,1144823
Std.-Fehler Mittelwert	1,3928388
95% KI oben Mittelwert	25,667141
95% KI unten Mittelwert	17,932859
N	5
Interquartilabstand	5

Verteilungen Eingabegerät 2=2 Retest Modifizierter Nummernblock

Untersuchungsdauer



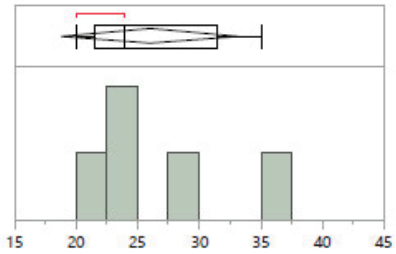
Quantile		
100.0%	Maximum	28
99.5%		28
97.5%		28
90.0%		28
75.0%	Quartil	25
50.0%	Median	22
25.0%	Quartil	19,5
10.0%		19
2.5%		19
0.5%		19
0.0%	Minimum	19

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	22,2
Std.-Abw.	3,4928498
Std.-Fehler Mittelwert	1,5620499
95% KI oben Mittelwert	26,536946
95% KI unten Mittelwert	17,863054
N	5
Interquartilabstand	5,5

LR-Eingabe_Auswertung FrACT_RG_Vs.2020-04-06 - Verteilung

Verteilungen Eingabegerät 2=3 Test 8-Wege-Wippschalter

Untersuchungsdauer

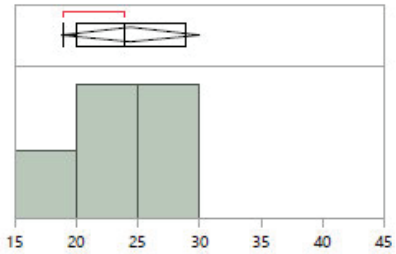


Quantile		
100.0%	Maximum	35
99.5%		35
97.5%		35
90.0%		35
75.0%	Quartil	31,5
50.0%	Median	24
25.0%	Quartil	21,5
10.0%		20
2.5%		20
0.5%		20
0.0%	Minimum	20

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	26
Std.-Abw.	5,7879185
Std.-Fehler Mittelwert	2,5884358
95% KI oben Mittelwert	33,18665
95% KI unten Mittelwert	18,81335
N	5
Interquartilabstand	10

Verteilungen Eingabegerät 2=4 Retest 8-Wege-Wippschalter

Untersuchungsdauer



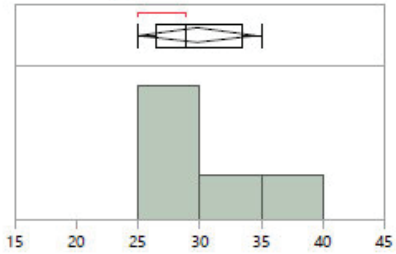
Quantile		
100.0%	Maximum	29
99.5%		29
97.5%		29
90.0%		29
75.0%	Quartil	29
50.0%	Median	24
25.0%	Quartil	20
10.0%		19
2.5%		19
0.5%		19
0.0%	Minimum	19

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	24,4
Std.-Abw.	4,5607017
Std.-Fehler Mittelwert	2,0396078
95% KI oben Mittelwert	30,062859
95% KI unten Mittelwert	18,737141
N	5
Interquartilabstand	9

LR-Eingabe_Auswertung FrACT_RG_Vs.2020-04-06 - Verteilung

Verteilungen Eingabegerät 2=5 Test Fernbedienung

Untersuchungsdauer

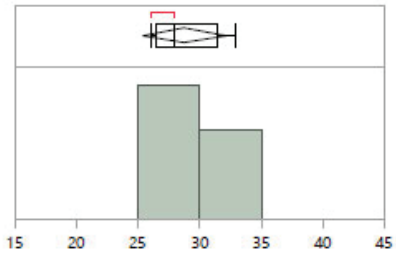


Quantile		
100.0%	Maximum	35
99.5%		35
97.5%		35
90.0%		35
75.0%	Quartil	33,5
50.0%	Median	29
25.0%	Quartil	26,5
10.0%		25
2.5%		25
0.5%		25
0.0%	Minimum	25

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	29,8
Std.-Abw.	3,8340579
Std.-Fehler Mittelwert	1,7146428
95% KI oben Mittelwert	34,560612
95% KI unten Mittelwert	25,039388
N	5
Interquartilabstand	7

Verteilungen Eingabegerät 2=6 Retest Fernbedienung

Untersuchungsdauer



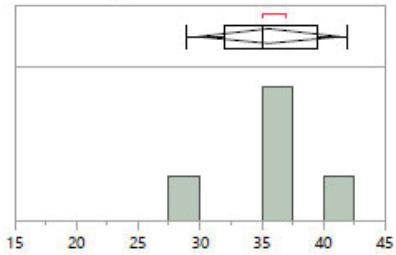
Quantile		
100.0%	Maximum	33
99.5%		33
97.5%		33
90.0%		33
75.0%	Quartil	31,5
50.0%	Median	28
25.0%	Quartil	26,5
10.0%		26
2.5%		26
0.5%		26
0.0%	Minimum	26

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	28,8
Std.-Abw.	2,7748874
Std.-Fehler Mittelwert	1,2409674
95% KI oben Mittelwert	32,245478
95% KI unten Mittelwert	25,354522
N	5
Interquartilabstand	5

LR-Eingabe_Auswertung FrACT_RG_Vs.2020-04-06 - Verteilung

Verteilungen Eingabegerät 2=7 Test Sprachliche Rückmeldung

Untersuchungsdauer

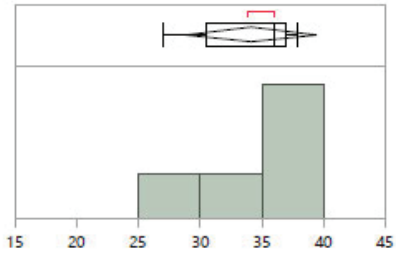


Quantile		
100.0%	Maximum	42
99.5%		42
97.5%		42
90.0%		42
75.0%	Quartil	39,5
50.0%	Median	35
25.0%	Quartil	32
10.0%		29
2.5%		29
0.5%		29
0.0%	Minimum	29

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	35,6
Std.-Abw.	4,669047
Std.-Fehler Mittelwert	2,0880613
95% KI oben Mittelwert	41,397388
95% KI unten Mittelwert	29,802612
N	5
Interquartilabstand	7,5

Verteilungen Eingabegerät 2=8 Retest Sprachliche Rückmeldung

Untersuchungsdauer



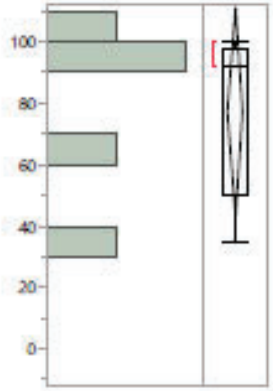
Quantile		
100.0%	Maximum	38
99.5%		38
97.5%		38
90.0%		38
75.0%	Quartil	37
50.0%	Median	36
25.0%	Quartil	30,5
10.0%		27
2.5%		27
0.5%		27
0.0%	Minimum	27

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	34,2
Std.-Abw.	4,2661458
Std.-Fehler Mittelwert	1,9078784
95% KI oben Mittelwert	39,49712
95% KI unten Mittelwert	28,90288
N	5
Interquartilabstand	6,5

Anhang 5.4: Verteilungen der Probandenzufriedenheit

Verteilungen Eingabemodalität=1 Modifizierter Nummernblock

Handhabung



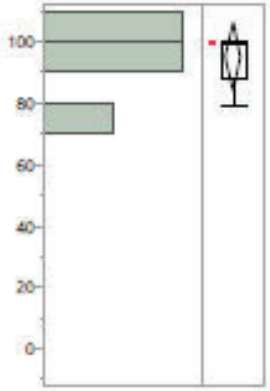
Quantile

100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	97,4
50.0%	Median	91,8
25.0%	Quartil	49,7
10.0%		34,5
2.5%		34,5
0.5%		34,5
0.0%	Minimum	34,5

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	77,2
Std.-Abw.	27,46516
Std.-Fehler Mittelwert	12,282793
95% KI oben Mittelwert	111,3025
95% KI unten Mittelwert	43,0975
N	5
Interquartilabstand	47,7

Benutzerführung



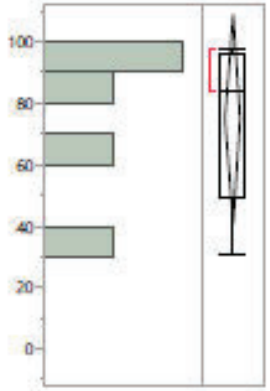
Quantile

100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	99,5
25.0%	Quartil	88,15
10.0%		79,4
2.5%		79,4
0.5%		79,4
0.0%	Minimum	79,4

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	95,16
Std.-Abw.	8,9035386
Std.-Fehler Mittelwert	3,9817835
95% KI oben Mittelwert	106,2152
95% KI unten Mittelwert	84,104797
N	5
Interquartilabstand	11,85

Schwierigkeitsgrad



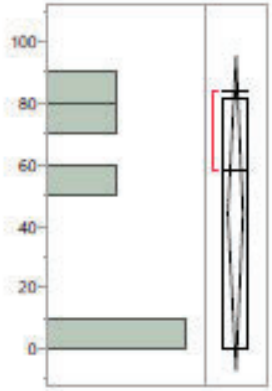
Quantile

100.0%	Maximum	97,4
99.5%		97,4
97.5%		97,4
90.0%		97,4
75.0%	Quartil	96,4
50.0%	Median	84,5
25.0%	Quartil	48,95
10.0%		30,9
2.5%		30,9
0.5%		30,9
0.0%	Minimum	30,9

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	75,04
Std.-Abw.	27,463485
Std.-Fehler Mittelwert	12,282044
95% KI oben Mittelwert	109,14042
95% KI unten Mittelwert	40,93958
N	5
Interquartilabstand	47,45

Veränderung



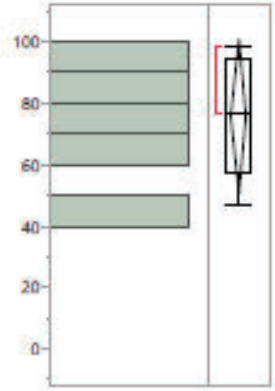
Quantile

100.0%	Maximum	84,5
99.5%		84,5
97.5%		84,5
90.0%		84,5
75.0%	Quartil	81,15
50.0%	Median	57,7
25.0%	Quartil	0
10.0%		0
2.5%		0
0.5%		0
0.0%	Minimum	0

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	44
Std.-Abw.	41,35934
Std.-Fehler Mittelwert	18,496459
95% KI oben Mittelwert	95,354403
95% KI unten Mittelwert	-7,354403
N	5
Interquartilabstand	81,15

Gesamtbewertung



Quantile

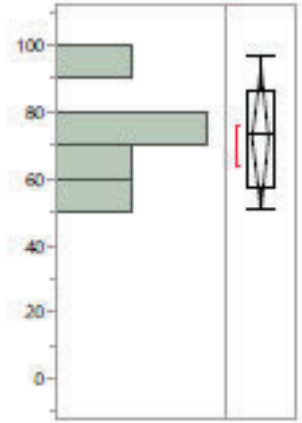
100.0%	Maximum	98,8
99.5%		98,8
97.5%		98,8
90.0%		98,8
75.0%	Quartil	94,2
50.0%	Median	76,9
25.0%	Quartil	56,95
10.0%		46,8
2.5%		46,8
0.5%		46,8
0.0%	Minimum	46,8

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	75,84
Std.-Abw.	20,23198
Std.-Fehler Mittelwert	9,0480164
95% KI oben Mittelwert	100,96132
95% KI unten Mittelwert	50,718679
N	5
Interquartilabstand	37,25

Verteilungen Eingabemodalität=2 8-Wege-Wippschalter

Handhabung



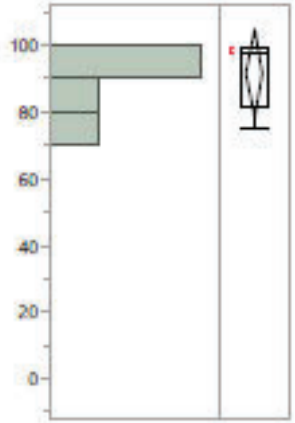
Quantile

100.0%	Maximum	96,9
99.5%		96,9
97.5%		96,9
90.0%		96,9
75.0%	Quartil	86,35
50.0%	Median	73,2
25.0%	Quartil	57,2
10.0%		50,5
2.5%		50,5
0.5%		50,5
0.0%	Minimum	50,5

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	72,06
Std.-Abw.	17,056758
Std.-Fehler Mittelwert	7,6280142
95% KI oben Mittelwert	93,238763
95% KI unten Mittelwert	50,881237
N	5
Interquartilabstand	29,15

Benutzerführung



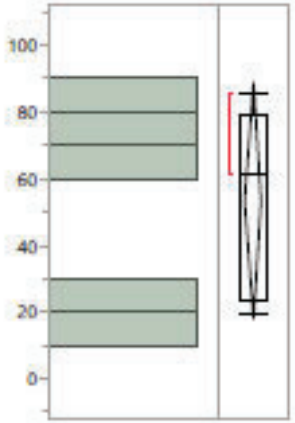
Quantile

100.0%	Maximum	99,5
99.5%		99,5
97.5%		99,5
90.0%		99,5
75.0%	Quartil	99,5
50.0%	Median	97,4
25.0%	Quartil	81,15
10.0%		74,7
2.5%		74,7
0.5%		74,7
0.0%	Minimum	74,7

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	91,74
Std.-Abw.	10,723479
Std.-Fehler Mittelwert	4,7956856
95% KI oben Mittelwert	105,05496
95% KI unten Mittelwert	78,425042
N	5
Interquartilabstand	18,35

Schwierigkeitsgrad



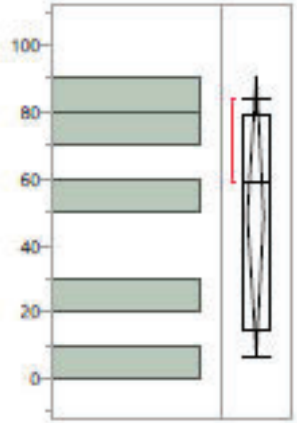
Quantile

100.0%	Maximum	85,1
99.5%		85,1
97.5%		85,1
90.0%		85,1
75.0%	Quartil	79,4
50.0%	Median	60,8
25.0%	Quartil	23,7
10.0%		19,6
2.5%		19,6
0.5%		19,6
0.0%	Minimum	19,6

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	53,4
Std.-Abw.	28,589946
Std.-Fehler Mittelwert	12,785812
95% KI oben Mittelwert	88,899106
95% KI unten Mittelwert	17,900894
N	5
Interquartilabstand	55,7

Veränderung



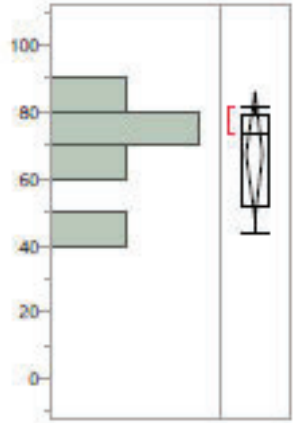
Quantile

100.0%	Maximum	84,5
99.5%		84,5
97.5%		84,5
90.0%		84,5
75.0%	Quartil	78,85
50.0%	Median	58,8
25.0%	Quartil	14,2
10.0%		6,2
2.5%		6,2
0.5%		6,2
0.0%	Minimum	6,2

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	48,98
Std.-Abw.	33,511222
Std.-Fehler Mittelwert	14,986674
95% KI oben Mittelwert	90,589678
95% KI unten Mittelwert	7,3703221
N	5
Interquartilabstand	64,65

Gesamtbewertung



Quantile

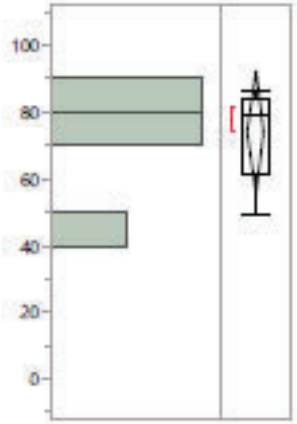
100.0%	Maximum	81,7
99.5%		81,7
97.5%		81,7
90.0%		81,7
75.0%	Quartil	79,1
50.0%	Median	73,6
25.0%	Quartil	51,75
10.0%		43,3
2.5%		43,3
0.5%		43,3
0.0%	Minimum	43,3

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	67,06
Std.-Abw.	15,474269
Std.-Fehler Mittelwert	6,9203035
95% KI oben Mittelwert	86,273843
95% KI unten Mittelwert	47,846157
N	5
Interquartilabstand	27,35

Verteilungen Eingabemodalität=3 Fernbedienung

Handhabung



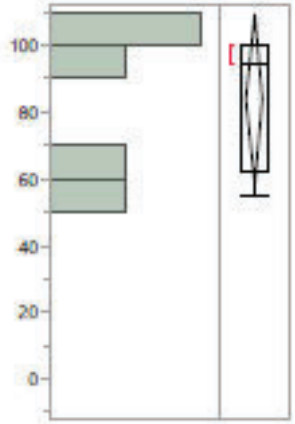
Quantile

100.0%	Maximum	86,6
99.5%		86,6
97.5%		86,6
90.0%		86,6
75.0%	Quartil	84
50.0%	Median	78,9
25.0%	Quartil	61,6
10.0%		49
2.5%		49
0.5%		49
0.0%	Minimum	49

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	74,02
Std.-Abw.	14,684754
Std.-Fehler Mittelwert	6,5672216
95% KI oben Mittelwert	92,25353
95% KI unten Mittelwert	55,78647
N	5
Interquartilabstand	22,4

Benutzerführung



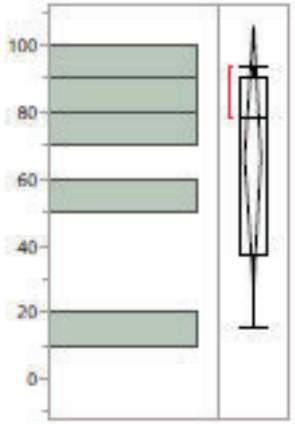
Quantile

100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	94,8
25.0%	Quartil	62,1
10.0%		54,6
2.5%		54,6
0.5%		54,6
0.0%	Minimum	54,6

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	83,8
Std.-Abw.	20,616498
Std.-Fehler Mittelwert	9,2199783
95% KI oben Mittelwert	109,39876
95% KI unten Mittelwert	58,201236
N	5
Interquartilabstand	37,9

Schwierigkeitsgrad



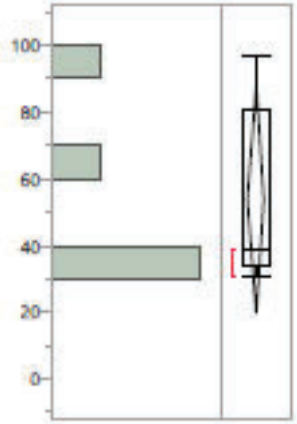
Quantile

100.0%	Maximum	93,8
99.5%		93,8
97.5%		93,8
90.0%		93,8
75.0%	Quartil	90,45
50.0%	Median	78,4
25.0%	Quartil	36,6
10.0%		15,5
2.5%		15,5
0.5%		15,5
0.0%	Minimum	15,5

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	66,5
Std.-Abw.	31,582036
Std.-Fehler Mittelwert	14,123916
95% KI oben Mittelwert	105,71428
95% KI unten Mittelwert	27,285723
N	5
Interquartilabstand	53,85

Veränderung



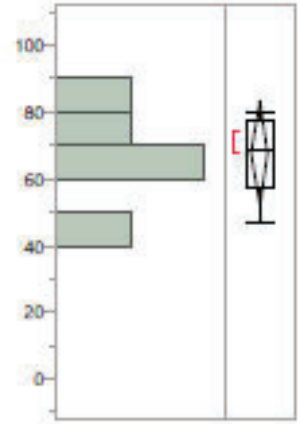
Quantile

100.0%	Maximum	96,9
99.5%		96,9
97.5%		96,9
90.0%		96,9
75.0%	Quartil	80,9
50.0%	Median	38,7
25.0%	Quartil	34,25
10.0%		30,9
2.5%		30,9
0.5%		30,9
0.0%	Minimum	30,9

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	53,8
Std.-Abw.	27,366403
Std.-Fehler Mittelwert	12,238627
95% KI oben Mittelwert	87,779877
95% KI unten Mittelwert	19,820123
N	5
Interquartilabstand	46,65

Gesamtbewertung



Quantile

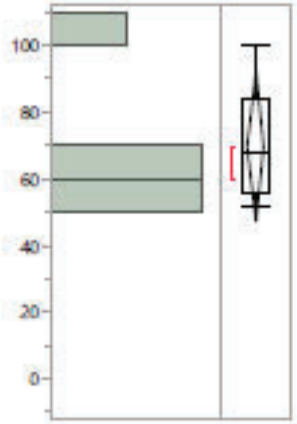
100.0%	Maximum	80,5
99.5%		80,5
97.5%		80,5
90.0%		80,5
75.0%	Quartil	77,25
50.0%	Median	68,8
25.0%	Quartil	57,4
10.0%		47
2.5%		47
0.5%		47
0.0%	Minimum	47

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	67,62
Std.-Abw.	12,581812
Std.-Fehler Mittelwert	5,6267575
95% KI oben Mittelwert	83,242383
95% KI unten Mittelwert	51,997617
N	5
Interquartilabstand	19,85

Verteilungen Eingabemodalität=4 Sprachliche Rückmeldung

Handhabung



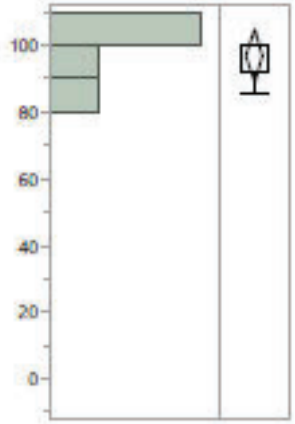
Quantile

100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	84,55
50.0%	Median	68
25.0%	Quartil	55,65
10.0%		51,5
2.5%		51,5
0.5%		51,5
0.0%	Minimum	51,5

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	69,68
Std.-Abw.	18,375173
Std.-Fehler Mittelwert	8,2176274
95% KI oben Mittelwert	92,495791
95% KI unten Mittelwert	46,864209
N	5
Interquartilabstand	28,9

Benutzerführung



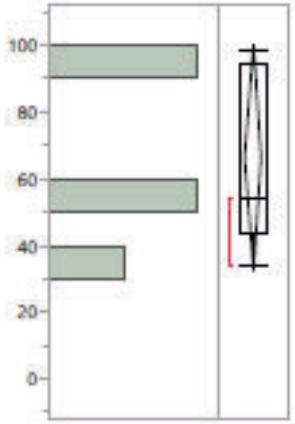
Quantile

100.0%	Maximum	100
99.5%		100
97.5%		100
90.0%		100
75.0%	Quartil	100
50.0%	Median	100
25.0%	Quartil	92,3
10.0%		85,6
2.5%		85,6
0.5%		85,6
0.0%	Minimum	85,6

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	96,92
Std.-Abw.	6,34287
Std.-Fehler Mittelwert	2,8366177
95% KI oben Mittelwert	104,79571
95% KI unten Mittelwert	89,044287
N	5
Interquartilabstand	7,7

Schwierigkeitsgrad



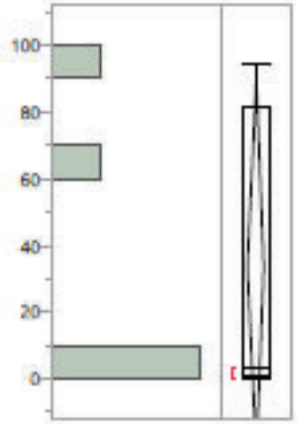
Quantile

100.0%	Maximum	98,5
99.5%		98,5
97.5%		98,5
90.0%		98,5
75.0%	Quartil	94,85
50.0%	Median	54,1
25.0%	Quartil	43,8
10.0%		34
2.5%		34
0.5%		34
0.0%	Minimum	34

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	66,28
Std.-Abw.	27,432955
Std.-Fehler Mittelwert	12,26839
95% KI oben Mittelwert	100,34251
95% KI unten Mittelwert	32,217488
N	5
Interquartilabstand	51,05

Veränderung



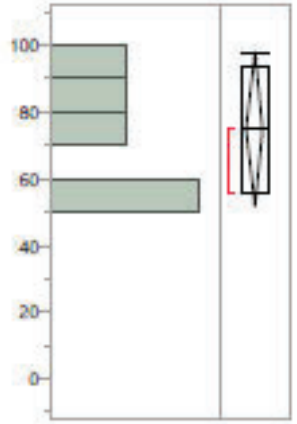
Quantile

100.0%	Maximum	94,8
99.5%		94,8
97.5%		94,8
90.0%		94,8
75.0%	Quartil	81,7
50.0%	Median	3,1
25.0%	Quartil	0,5
10.0%		0
2.5%		0
0.5%		0
0.0%	Minimum	0

Statistische Kenngrößen

Mittelwert	33,5
Std.-Abw.	44,978773
Std.-Fehler Mittelwert	20,115119
95% KI oben Mittelwert	89,348523
95% KI unten Mittelwert	-22,34852
N	5
Interquartilabstand	81,2

Gesamtbewertung



Quantile

100.0%	Maximum	97,8
99.5%		97,8
97.5%		97,8
90.0%		97,8
75.0%	Quartil	93,15
50.0%	Median	75,5
25.0%	Quartil	56,2
10.0%		55,7
2.5%		55,7
0.5%		55,7
0.0%	Minimum	55,7

Statistische Kenngrößen

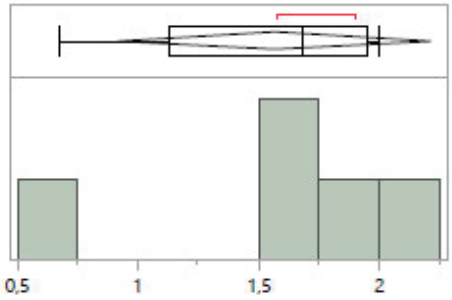
Mittelwert	74,84
Std.-Abw.	18,772267
Std.-Fehler Mittelwert	8,3952129
95% KI oben Mittelwert	98,148848
95% KI unten Mittelwert	51,531152
N	5
Interquartilabstand	36,95

Anhang 5.5: Verteilung der Sehschärfe

LR-Eingabe_Auswertung FrACT_RG_Vs.2020-04-06 - Verteilung 2

Verteilungen

Sehschärfe



Quantile		
100.0%	Maximum	2
99.5%		2
97.5%		2
90.0%		2
75.0%	Quartil	1,95
50.0%	Median	1,68
25.0%	Quartil	1,13
10.0%		0,68
2.5%		0,68
0.5%		0,68
0.0%	Minimum	0,68

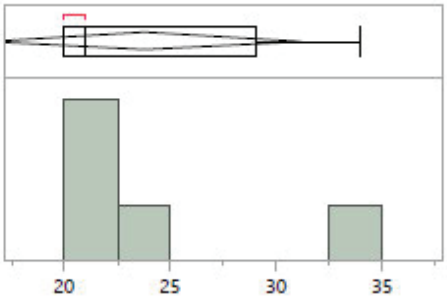
Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	1,568
Std.-Abw.	0,5239466
Std.-Fehler Mittelwert	0,234316
95% KI oben Mittelwert	2,2185656
95% KI unten Mittelwert	0,9174344
N	5
Interquartilabstand	0,82

Anhang 5.6: Verteilung des Alters

LR-Eingabe_Auswertung FrACT_RG_Vs.2020-04-06 - Verteilung

Verteilungen

Alter



Quantile		
100.0%	Maximum	34
99.5%		34
97.5%		34
90.0%		34
75.0%	Quartil	29
50.0%	Median	21
25.0%	Quartil	20
10.0%		20
2.5%		20
0.5%		20
0.0%	Minimum	20

Statistische Kenngrößen	
Mittelwert	23,8
Std.-Abw.	5,9329588
Std.-Fehler Mittelwert	2,6532998
95% KI oben Mittelwert	31,166741
95% KI unten Mittelwert	16,433259
N	5
Interquartilabstand	9

Anhang 6: Umrechnungstabelle Visus – Darzustellende Landoltringgrößen

Realer Beobachtungsabstand [cm]	Visus	Modifizierter Beobachtungsabstand [cm]	Modifizierter Visus	Visus Proband (10 Stufen besser)	d [mm] des dargestellten Landoltrings	ε ['] des dargestellten Landoltrings
500	0,1	793,6507937	0,063	0,63	23,09	15,87
500	0,1	735,2941176	0,068	0,68	21,39	14,71
500	0,1	625	0,08	0,8	18,18	12,50
500	0,1	500	0,1	1	14,54	10,00
500	0,1	400	0,125	1,25	11,64	8,00
500	0,1	312,5	0,16	1,6	9,09	6,25
500	0,1	250	0,2	2	7,27	5,00
500	0,1	200	0,25	2,5	5,82	4,00
500	0,1	156,25	0,32	3,2	4,55	3,13