

Reaktionszeiten bei standardisierten visuellen
Suchaufgaben bei normal sehenden Probanden im
Vergleich zu Patienten mit homonymer Hemianopsie vor
und nach Sakkadentraining

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Keßler, Alexander Herrmann

2017

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. S. Trauzettel – Klosinski

2. Berichterstatter: Professor Dr. G. Kommerell

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Das visuelle System	1
1.1.1	Sehbahn	1
1.1.2	Gesichtsfeld	5
1.2	Gesichtsfelddefekte	6
1.2.1	Pathogenese	7
1.2.2	Epidemiologie	8
1.2.3	Diagnostik und Definition von Gesichtsfeldausfällen.....	8
1.2.4	Perimetrische Verfahren	9
1.3	Rehabilitation.....	10
1.3.1	Rehabilitationsbedarf	11
1.4	Rehabilitation bei Hemianopsie	11
1.4.1	Rehabilitation bei hemianoper Orientierungsstörung	12
1.4.2	Kompensationsansatz.....	13
1.4.3	Restitutionsansatz.....	14
1.4.4	Optische Hilfen bei hemianoper Orientierungsstörung.....	15
1.4.5	Evidenz-basiertes Vorgehen bei hemianoper Orientierungsstörung	15
1.5	Fragestellung und Zielsetzung.....	16
2	Untersuchtes Kollektiv	17
2.1	Auswahl der Probanden	17
2.2	Erhebungsbogen	18
2.3	Aufklärung der Probanden.....	20
2.4	Augenärztliche Untersuchung.....	21
2.5	Ein – und Ausschlusskriterien.....	22
3	Methodik	23
3.1	Allgemeiner Untersuchungsablauf.....	23
3.2	Sakkadentrainingssoftware „Four“ bei den Probanden.....	23
3.3	Sakkadentrainingssoftware „Four“ bei den Patienten	26
3.4	Table Test.....	27

4	Ergebnisse	31
4.1	Ergebnisse der <i>Probandengruppe</i>	31
4.1.1	Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“	31
4.1.2	Ergebnisse Sakkadentrainingssoftware „Four“	33
4.1.3	Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten beim Table Test.....	35
4.1.4	Ergebnisse des Table Tests	37
4.1.5	Wiederholungseffekt in der Probandengruppe.....	41
4.2	Ergebnisse der <i>Patientengruppe</i>	42
4.2.1	Normalverteilung der Sakkadentrainingssoftware „Four“	42
4.2.2	Ergebnisse der Sakkadentrainingssoftware „Four“	44
4.3	Vergleich <i>Probanden versus Patienten</i>	46
4.3.1	Sakkadentrainingssoftware „Four“	46
4.3.2	Table Test.....	47
5	Diskussion	48
5.1	Methodik Sakkadentrainingssoftware „Four“	48
5.2	Methodik Table Test	49
5.3	Ergebnisse der Probanden	52
5.3.1	Trainingseffekt, Wiederholungseffekt und Wiedererkennungseffekt	52
5.3.2	Ausblick in der Probandengruppe	55
5.4	Probandengruppe vs. Patientengruppe	55
5.4.1	Sakkadentrainingssoftware „Four“	56
5.5	Fazit.....	56
6	Zusammenfassung	58
7	Literaturverzeichnis	59
8	Erklärungen zum Eigenanteil	63
9	Danksagung	64
10	Lebenslauf	65

Abkürzungsverzeichnis

KI	Konfidenzintervall
ETDRS	Early treatment diabetic retinopathy study
EST	Exploratives Sakkadentraining
RT	Restitutionstraining
CT	Computertomographie
MRT	Magnet Resonanz Tomographie
HH	Homonyme Hemianopsie
N.	Nervus
A.	Arterie
V.	Vene
CGL	Corpus geniculatum laterale
ms	Millisekunden
s	Sekunden
WHO	World Health Organisation
ICF	International Classification of Functioning
SLO	Scanning Laser Ophthalmoskop

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verlauf der Sehbahn mit den charakteristischen Gesichtsfeldausfällen nach Lokalisationsort getrennt. Abbildung aus Martin Trepel: Neuroanatomie – Struktur und Funktion (2).....	3
Abb. 2: Binokulares und monokulares Gesichtsfeld aus (3)	5
Abb. 3: Ausschnitt aus dem Probandenerhebungsbogen	19
Abb. 4: Ausschnitt aus dem Probandenerhebungsbogen	19
Abb. 5: Versuchsaufbau beim Sakkadentraining „Four“. Der trainierte Gesichtsfeldbereich beträgt 30° Radius.	24
Abb. 6: Bildausschnitt aus der Sakkadentrainingssoftware „Four“	26
Abb. 7: Table Test (für diese Abbildung mit Hilfslinien in die Quadranten RU = rechts unten, RO = rechts oben, LU = links unten und LO = links oben eingeteilt).....	28
Abb. 8: Table Test Versuchsaufbau. Präsentation des Gegenstandes auf Augenhöhe, welcher dann unmittelbar auf der Tischplatte gesucht werden sollte. Die Zeit wird mit einer manuellen Stoppuhr gemessen.	30
Abb. 9: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Probanden bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ zum Zeitpunkt T 1 - Es liegt keine Normalverteilung vor.	32
Abb. 10: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Probanden bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ zum Zeitpunkt T 2 - Es liegt keine Normalverteilung vor.	32
Abb. 11: Boxplot Diagramm der durchschnittlichen Reaktionszeit (Median) pro Item in Sekunden (s) zum Testzeitpunkt T 1 und Testzeitpunkt T2 bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ der Probanden. Es sind insgesamt drei Ausreißer der durchschnittlichen Reaktionszeiten zu sehen.	34
Abb. 12: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Probanden beim Table Test zum Testzeitpunkt T 1 – Es liegt eine Normalverteilung vor.....	36
Abb. 13: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Probanden beim Table Test zum Testzeitpunkt T 2 – Es liegt eine Normalverteilung vor.....	36
Abb. 14: Boxplot Diagramm der durchschnittlichen Reaktionszeit (Mittelwerte) pro Objekt beim Table Test der Probanden in Sekunden (s) für die Testzeitpunkte T 1 und T2. Es sind zwei Ausreißer der durchschnittlichen Reaktionszeit bei Zeitpunkt T1 zu sehen.....	38
Abb. 15: Durchschnittliche Reaktionszeiten (Mittelwert) pro Objekt in Sekunden (s) beim Table Test der Probanden. Unterteilung in vier verschiedene Quadranten RU = Rechts unten, RO = Rechts oben, LU = Links Unten, LO = Links oben und Gesamt = Durchschnittliche Reaktionszeit pro Objekt nicht nach Quadranten aufgeteilt.....	39

Abb. 16: Unterscheidung der durchschnittlichen Reaktionszeiten (Mittelwert) pro Objekt in Sekunden (s) nach rechten und linken Quadranten zu den jeweils verschiedenen Testzeitpunkten T1 und T2 beim Table Test der Probanden. .. 40

Abb. 17: Vergleich der Verbesserung innerhalb der jeweiligen Testmethode (Sakkadentrainingssoftware „Four“ und Table Test) unter den Probanden. Die Werte sind als durchschnittliche Reaktionszeit (Mittelwert) pro Item bzw. Objekt angegeben. Es zeigt sich ein nahezu identischer linearer Kurvenabfall. 41

Abb. 18: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Patienten der Sakkadentrainingssoftware „Four“ zum Zeitpunkt T 1 – Es liegt eine Normalverteilung vor. 43

Abb. 19: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Patienten der Sakkadentrainingssoftware „Four“ zum Zeitpunkt T 2 – Es liegt eine Normalverteilung vor. 43

Abb. 20: Boxplot Diagramm der durchschnittlichen Reaktionszeit (Median) pro Item in Sekunden (s) zum Testzeitpunkt T 1 und Testzeitpunkt T2 beim Sakkadentrainingsprogramm „Four“ der Patienten. Es ist insgesamt ein Ausreißer der durchschnittlichen Reaktionszeiten zu sehen. 45

Abb. 21: Vergleich durchschnittlichen Reaktionszeiten (Median) pro item in s bei Patienten versus Probanden zu den beiden Testzeitpunkten T 1 und T2 beim Sakkadentrainingsprogramm „Four“ 46

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Sakkadentrainingssoftware "Four" - Tests zur Normalverteilung der Probandenergebnisse. Es liegt keine Normalverteilung vor.	31
Tab. 2: Sakkadentrainingssoftware "Four": Mittelwert und Median mit Standardabweichung für 28 Probanden zum Testzeitpunkt T 1 und T 2.....	33
Tab. 3: Table Test - Tests zur Normalverteilung der Probandenergebnisse. Es liegt eine Normalverteilung vor.	35
Tab. 4: Table Test: Mittelwert, Median und Standardabweichung für 28 Probanden zum Testzeitpunkt T 1 und T 2.....	37
Tab. 5: Sakkadentrainingssoftware "Four" - Tests zur Normalverteilung der Probandenergebnisse. Es liegt eine Normalverteilung vor.....	42
Tab. 6: Sakkadentrainingssoftware "Four": Mittelwert und Median mit Standardabweichung für 15 Patienten zum Testzeitpunkt T 1 und T 2	44

1 Einleitung

1.1 Das visuelle System

1.1.1 Sehbahn

Die Darstellung der Sehbahn erfolgt nach Hans Kölmel (1) und Martin Trepel (2).

Die Sehbahn wird in folgende Abschnitte unterteilt:

1. Retina
2. N. opticus
3. Chiasma opticum
4. Tractus opticus
5. Corpus geniculatum laterale
6. Radiatio optica
7. Primäre / Sekundäre Sehrinde

Den ersten Teil der Sehbahn bildet die Retina. Entwicklungsgeschichtlich stellt die Retina, genauso wie der N. Opticus, eine Ausstülpung des Diencephalon dar. Es werden makroskopisch die Sehgrube (Fovea centralis), der gelbe Fleck (Macula lutea) und die Papille des Sehnervs (Papilla n. optici) unterschieden. Die Papilla n. optici bildet die Ein- und Austrittsstelle für den N. opticus und für die die Retina versorgenden Gefäße A. centralis retinae und V. centralis retinae. In der Fovea centralis, welche eine trichterförmige Grube im Bereich der Macula lutea bildet, ist die Photorezeptorendichte am größten. Mikroskopisch lässt sich die Retina in zehn verschiedene Schichten unterteilen. Zur Darstellung der Sehbahn werden nur die Schichten beschrieben, die die ersten drei Neurone der Sehbahn enthalten und im Verlauf den N. opticus

bilden. Die äußerste Schicht besteht aus Photorezeptoren, die Lichtreize wahrnehmen und sie als elektrische Signale verarbeiten. Diese Schicht wird deswegen auch als **1. Neuron** der Sehbahn bezeichnet. Die Photorezeptoren bestehen aus Stäbchen und Zapfen. Die Stäbchen sind hochempfindliche Rezeptoren für das Hell – Dunkel Empfinden und sind vorwiegend mit einer Anzahl von ca. 120 Million in den peripheren Arealen der Retina verteilt. Die Zapfen hingegen, welche unter anderem für das Farbsehen verantwortlich und mit einer Anzahl von ca. 6 Millionen vorwiegend zentral im Bereich der Fovea centralis verteilt sind, bilden dort den Bereich des schärfsten Sehens. Die bipolaren Zellen bilden im Verlauf das **2. Neuron**. Als innerste Schicht der Retina stellen die multipolaren Ganglienzellen das **3. Neuron** und gleichzeitig mit ihren Axonen den Beginn des N. opticus dar.

Der N. opticus tritt aus der Papilla n. optici in die Orbita ein und gelangt durch einen eigenen Sehnervenkanal in die mittlere Schädelgrube. Dort treffen die beiden n. optici des linken und rechten Auges zusammen und bilden das Chiasma opticum. Bis zu dieser Stelle laufen die Nervenfasern ungekreuzt. Dies ist für die nachfolgende Darstellung der hemianopen Gesichtsfelddefekte eine entscheidende anatomische Eigenschaft. Im Chiasma opticum verlaufen die Nervenfasern der temporalen Retinahälfte, also der nasalen Gesichtsfeldhälfte, ungekreuzt, wohingegen sich die nasalen Nervenfasern, also die der temporalen Gesichtsfeldhälfte, an dieser Stelle kreuzen. Aufgrund der Nervenfaserkreuzung in diesem Bereich entstehen homonyme, also vor beiden Augen auf derselben Seite Gesichtsfeldausfälle, meist hemianope betreffende Ausfälle, erst nach dieser Kreuzung.

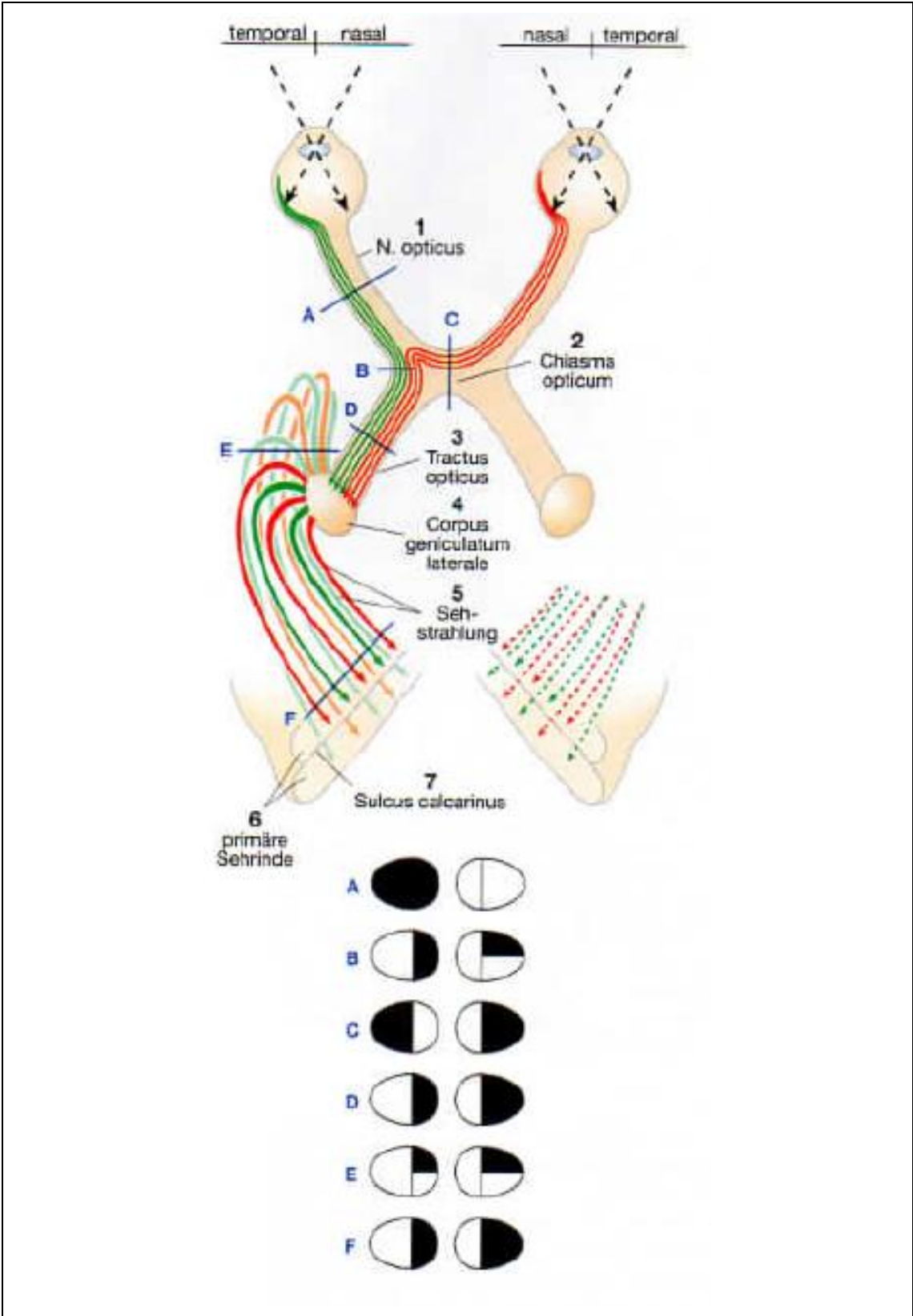


Abb. 1: Verlauf der Sehbahn mit den charakteristischen Gesichtsfeldausfällen nach Lokalisationsort getrennt. Abbildung aus Martin Trepel: Neuroanatomie – Struktur und Funktion (2)

Im weiteren Verlauf folgen die Nervenfasern des n. opticus als rechter und linker Tractus opticus zum Corpus Geniculatum Laterale (CGL), welches einen Teil des Thalamus darstellt. Vor dem Erreichen des CGL treten noch Kollateralen zum Hypothalamus ab, in dem visuelle Einflüsse zur zirkadianen Rhythmik verarbeitet werden. Weitere Kollaterale gehen zur Area praetectalis. Hier wird der Pupillenreflex verschaltet, in dem die Afferenzen aus den Teilen des N. Opticus auf die efferenten Bahnen in Form des Edinger Westphal Kernes umgeschaltet werden. Zuletzt gehen Kollateralen zum Tectum mesencephali. Hier werden die schnellen Blickzielbewegungen, welche auch Sakkaden genannt werden, verschaltet. Im Bereich des CGL werden die Nervenfasern, des 3. Neuron, auf das **4. Neuron** umgeschaltet und verlaufen von hier an als Radiatio optica bis zur primären Sehrinde im Occipitallappen des Telencephalon.

Beim visuellen Cortex werden eine primäre Sehrinde und höhere Sehzentren unterschieden. In der primären Sehrinde werden die visuellen Impulse das erste Mal vom Telencephalon erfasst. Nach der Brodmann Einteilung befindet sich die primäre Sehrinde im Areal 17, auch V1 genannt. Die primäre Sehrinde der jeweiligen Hemisphäre spiegelt genau die kontralaterale Gesichtsfeldhälfte wieder, also den ipsilateralen temporalen und kontralateralen nasalen Teil der Retina. Zudem ist die primäre Sehrinde retinotop angeordnet, was bedeutet, dass jeder Teil der Retina einem bestimmten Teil in der primären Sehrinde zugeordnet werden kann. Die Fovea centralis nimmt ca. 50 % der primären Sehrinde in Anspruch. Als sekundäre Sehrinde werden unter anderem die Areale 18 und 19 nach Brodmann bezeichnet. Sie liegen der primären Sehrinde wie ein Hufeisen an und stehen mit ihr in Kontakt. In ihr findet die Interpretation der aufgenommenen Informationen statt, wie etwa die räumliche Wahrnehmung oder eine differenzierte Wahrnehmung von z.B. bekannten oder unbekanntem Gesichtern (2).

1.1.2 Gesichtsfeld

Die Darstellung des Gesichtsfeldes erfolgt nach Hans Kölmel (1).

Für das Verständnis später beschriebener Gesichtsfelddefekte und deren Rehabilitation muss genau zwischen dem Gesichtsfeld und dem Blickfeld unterschieden werden. Als Gesichtsfeld wird der Bereich definiert, bei welchem unter Fixation beider Augen und ohne Kopf – und Augenbewegungen, noch visuelle Stimuli wahrgenommen werden können. Unter dem Blickfeld versteht man den Bereich, den man ohne Kopfbewegungen, jedoch mit Augenbewegungen gerade noch überblicken kann.

Das Gesichtsfeld lässt sich binokular sowie monokular darstellen. Hierbei gilt es einige Unterschiede zu beachten. Die Ausmaße eines Gesichtsfeldes werden in Winkelgraden angegeben. Das monokulare Gesichtsfeld hat eine Ausdehnung von 50 Grad nach oben, von 70 Grad nach unten, von 60 Grad nach innen und von 90 Grad nach außen. Wenn man beide monokularen Gesichtsfelder aufeinander legen würde, so ergäbe sich im Horizontalschnitt eine 180 Grad messende Halbkugel. Der Bereich des binokularen Sehens ist jedoch geringer. Er liegt bei etwa 120 bis 140 Grad.

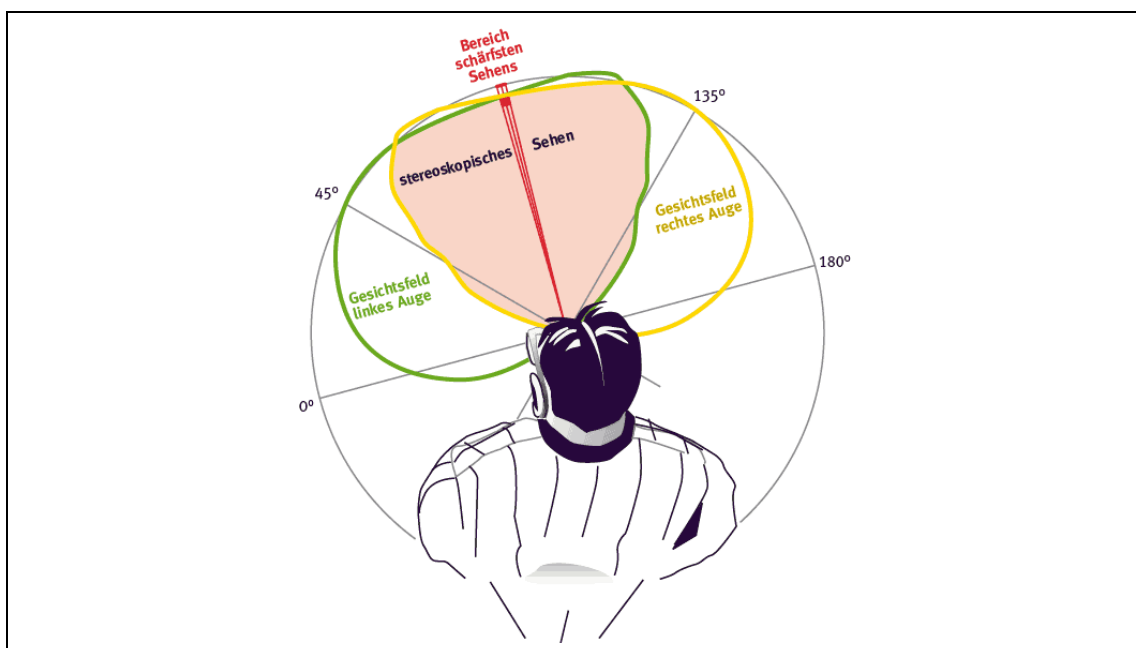


Abb. 2: Binokulares und monokulares Gesichtsfeld aus (3)

Wie in Abbildung zwei ersichtlich, lässt sich das Gesichtsfeld anatomisch und funktionell einteilen. Es können vier verschiedene Zonen unterschieden werden. Die Gegend des schärfsten Sehens ist die Fovea centralis. Sie umfasst einen Bereich von etwa 4 - 5 Grad. Der weiter peripher gelegene Bereich jenseits der Fovea centralis, bis etwa 10 Grad, ist immer noch ein Bereich von vergleichsweise gutem Sehen. Dieser wird zusammen mit der Fovea centralis als Makula lutea bezeichnet. Der Bereich bis 60 Grad wird als Intermediärzone und der Bereich jenseits der 60 Grad bilateral als temporaler Halbmond bezeichnet. Dies ist ein Bereich, der nur von der nasalen Retinahälfte erfasst werden kann. Im Bereich der Fovea centralis können detailgenaue Bereiche erfasst werden. Je weiter peripher man ins Gesichtsfeld gelangt, desto weniger werden statische Stimuli erkannt. Im Bereich des temporalen Halbmondes werden vornehmlich bewegte Stimuli wahrgenommen. Das so definierte Gesichtsfeld kann mithilfe von einer horizontalen und einer vertikalen Achse, welche sich im fovealen Fixierpunkt schneiden, in vier Quadranten unterteilt werden (RU = rechts unten, RO = rechts oben, LU = links unten, LO = links oben). Solch eine Aufteilung der Quadranten bietet sich aufgrund der retinotopen Gliederung bis zur primären Sehrinde des Cortex an. Die oberen Gesichtsfeldquadranten entsprechen den unteren Quadranten der Retina. Diese werden in der unteren Kalkarinalippe beider Hemisphären repräsentiert. Demzufolge werden die unteren Gesichtsfeldquadranten den oberen Quadranten der Retina zugeordnet. Diese werden in der oberen Kalkarinalippe beider Hemisphären repräsentiert.

1.2 Gesichtsfelddefekte

Gesichtsfelddefekte können in infrachiasmatische Läsionen mit Folgeschäden wie etwa einem Zentralskotom, einem Ringskotom oder einer konzentrischen Gesichtsfeldeinengung unterschieden werden. Chiasmatischen Läsionen treten meist als bitemporale Hemianopsien auf (4). Suprachiasmatische Läsionen entsprechen homonymen hemianoptischen Gesichtsfeldausfällen. Solch eine homonyme Hemianopsie (HH) beschreibt den Ausfall derselben

Gesichtsfeldhälfte vor jedem Auge. Allgemein werden suprachiasmatische Gesichtsfeldausfälle in komplette oder inkomplette Hemianopsien unterteilt. Zu den inkompletten Formen gehören Quadrantenanopsien, partielle HH, HH mit makularer Aussparung und seltenere homonyme parazentral Skotome. Es wird zudem unterschieden, ob HH in einer kongruenten oder inkongruenten Form vorliegen, was vom Läsionsort abhängt. Eine kongruente HH beschreibt, dass die Ausfälle beider Augen annähernd gleich sind und sich nicht um mehr als fünf Grad unterscheiden. Als inkongruente HH wird ein Abweichen um mehr als fünf Grad bezeichnet (1, 5).

1.2.1 Pathogenese

Homonyme Hemianopsien (HH) entstehen durch suprachiasmatische Läsionen der Sehbahn. Die verschiedenen Formen der HH variieren in Ihrer Häufigkeit. Die komplette HH (37,6 %) ist weniger häufig vertreten als die inkomplette Form (62,4 %). Die inkomplette Form lässt sich weiter unterteilen in Quadrantenanopsien (29,2 %), partielle HH (12,6 %), parazentral Skotome (12,8 %) und HH mit makularer Aussparung (7,3 %). Ursachen für die genannten Hirnläsionen sind überwiegend Schlaganfälle (69,7 %) sowohl ischämischer (58,9 %), als auch hämorrhagischer Art (10,9 %), Traumata (13,6 %), Hirntumoren (11,3 %) und neurochirurgische Komplikationen (2,4 %). Eine anatomisch nähere Eingrenzung der Hirnläsionen, welche die HH verursachen, können anhand von CT oder MRT Aufnahmen getroffen werden. Am häufigsten sind Läsionen des Occipitallappens (45,0 %), der Sehstrahlung (32,2 %), seltener des Tractus Opticus (10,2 %), Multiple Läsionen (11,4 %) oder des Corpus geniculatum laterale (1,3 %) zu finden (6).

1.2.2 Epidemiologie

2005 liegt der Anteil der Menschen mit 65 Jahren und älter in Europa bei 20,6 %. Er wird sich bis zum Jahr 2050 auf 34,5 % nahezu verdoppeln (7). Mit zunehmendem Alter steigt die Inzidenz und Mortalität von Schlaganfällen mit ischämischer und hämorrhagischer Genese an (8-10). Da die meisten HH durch Schlaganfälle dieser Art verursacht werden (6), wird auch die Anzahl der HH bis zum Jahr 2050 deutlich zunehmen (11). Zusätzlich zum Inzidenzanstieg aufgrund der demographischen Entwicklung, steigt auch die Überlebensrate der Patienten mit einer bleibenden Behinderung, wozu auch die HH gehört, in den nächsten Jahren an (12, 13). Dies führt aufgrund der demographischen Entwicklung, der Zunahme von Schlaganfällen, der verbesserten Überlebensrate und dem somit einsetzenden Anstieg von bleibenden Behinderungen zu einem Anstieg an HH, welche einer Rehabilitation zugeführt werden können und müssen (14-17).

1.2.3 Diagnostik und Definition von Gesichtsfeldausfällen

Zur Diagnostik von Gesichtsfeldausfällen werden perimetrische Verfahren angewandt, welche in den folgenden Abschnitten genauer beschrieben werden. (18-20). Ein umschriebener Ausfall im Gesichtsfeld wird als Skotom bezeichnet. Hierbei werden absolute Skotome unterschieden, bei denen ein Patient in diesem Bereich keine visuellen Signale mehr wahrnehmen kann. Im Gegensatz dazu gibt es relative Skotome, bei denen lediglich die Wahrnehmung der visuellen Signale reduziert sein kann. Anhand der Lokalisation werden Zentralskotom, Parazentralskotom und weiter peripher gelegene Ausfälle unterschieden. Zentralskotome treten vor allem bei Makuladegeneration und bei Entzündung des Sehnerven auf, bogenförmige Parazentralskotome etwa bei einem Glaukom und peripher gelegene Ausfälle treten z. B. bei der Retinitis pigmentosa auf. Eine perimetrische Gesichtsfelduntersuchung ist eine subjektive Untersuchungsmethode. Es können falsche Ergebnisse aufgrund von Ermüdung oder einer Unaufmerksamkeit des Patienten resultieren (20). Ein

weiteres häufiges Problem bei der Bestimmung des Gesichtsfeldes, vor allem bei hemianopen Personen, ist die unruhige Fixation der Augen. Hierbei treten vor allem Augenbewegungen zur hemianopen Seiten auf, welche die Gesichtsfeldgrenze zur blinden Seite verschieben (21, 22).

1.2.4 Perimetrische Verfahren

Statische Perimetrie

Das Prinzip der statischen Perimetrie besteht darin, eine in Ihrer Helligkeit varrierende Quelle so zu verändern, dass die noch wahrzunehmende Reizschwelle erreicht wird. Wichtig hierbei ist die Quelle ist statisch und bewegt sich nicht. Dies ist ein schwellenorientiertes Prinzip (18). Bei der automatischen Perimetrie blitzen im Gesichtsfeld statische Lichtreize auf. Der Patient gibt mittels eines Druckknopfes an, ob er den Lichtreiz wahrgenommen hat. Wenn er diesen wahrgenommen hat, wird er später nochmals in abnehmender Lichtintensität präsentiert um die Reizschwelle genau zu begrenzen. Zudem bietet die automatische Perimetrie den Vorteil, dass sie ein untersucherunabhängiges Verfahren ist (18, 20, 23). Es gibt verschiedene statische Perimetrieverfahren zu denen die Tübinger Perimetrie (manuelle und automatische), das Octopus Perimeter und die statische Perimetrie nach Humphrey gehören.

Kinetische Perimetrie

Das Prinzip der kinetischen Perimetrie besteht darin, eine in ihrer Größe varrierende bewegte Lichtquelle, also eine kinetische Lichtquelle, mit variierender Helligkeit soweit von außen in das Gesichtsfeld zu verschieben, bis der Patient sie wahrnehmen kann. Diese Lichtquelle nähert sich systematisch aus der Peripherie. Bei Wahrnehmung des Patienten wird dies in einer Gesichtsfeldkarte markiert und diese Punkte werden anschließend miteinander verbunden. Diese dadurch entstehenden Ringe werden als Isopteren bezeichnet. Dies wiederholt sich in abnehmender Helligkeit, wobei sich die

Isopteren immer enger um die Fovea ziehen. Die Isopteren geben die Netzhautempfindlichkeit wieder. Alle Punkte auf einer Isoptere entsprechen der gleichen Netzhautempfindlichkeit. Mit abnehmender Helligkeit verschiebt sich die Netzhautempfindlichkeit nach zentral. Das Phänomen das in verschiedenen Teilen der Netzhaut, mit abnehmender Häufigkeit von zentral nach peripher, die Lichtquelle unterschiedlich wahrgenommen wird, wird als Lichtunterschiedsempfindlichkeit wahrgenommen. Diese ist definiert durch den Quotienten $L / \Delta L$. L entspricht einer definierten Leuchtdichte in einem festgelegten Umfeld (Umfeldleuchtdichte). ΔL entspricht dem Differenzbetrag von der Umfeldleuchtdichte. Die Messeinheit lautet cd / m^2 . Die höchste Empfindlichkeit herrscht im Bereich der Fovea und nimmt nach peripher ab (24).

Die Augen des Patienten befinden sich bei der Perimetrie nach Goldmann im Zentrum der Hohlkugel und stehen in 33 Zentimeter Abstand zum Fixationspunkt. Unter kontinuierlicher Beobachtung des Untersuchers darüber, ob der Patient den Fixationspunkt fixiert, wird mechanisch von außen eine Lichtquelle in das Gesichtsfeld geschoben, bis der Patient ein Signal gibt, dass er die Lichtquelle wahrgenommen hat. Dies ist ein untersucherabhängiges Verfahren. Es gibt verschiedene Verfahren wie etwa die Fingerperimetrie, bei der der Untersucher mittels eigenem Finger seine Gesichtsfeldgrenzen mit denen des Patienten vergleicht, das Tübinger Handperimeter oder das Hohlkugelperimeter nach Goldmann, welches seit langem eine Standarduntersuchung darstellt. (18, 20, 25).

1.3 Rehabilitation

Behinderung lässt sich am besten nach der Klassifikation der WHO „International Classification of Functioning, Disability and Health“ (ICF, WHO 2004), definieren (26). Die Klassifikation gliedert sich in drei Bereiche: Erstens das „Impairment“, welches die pathologische Schädigung des Organs berücksichtigt, zweitens die eingeschränkten Fähigkeiten („activity limitation“,

früher „disability“) auf der Ebene der Person, welche die eingeschränkte Funktion im Alltag und deren Erfassung beschreibt. Hier ist der Punkt, an dem die Rehabilitation begonnen werden kann. Drittens die verminderte Teilhabe („participation restriction“, früher „handicap“), welche die Einschränkungen an der Teilhabe am sozialen Leben berücksichtigt. Diese Definition der Rehabilitation lässt sich gut auf die Sehbehinderungen übertragen (4, 26).

1.3.1 Rehabilitationsbedarf

Der Bedarf an Rehabilitation wird aufgrund der demographischen Entwicklung stetig bis zum Jahr 2030 steigen (27). Da die HH zu 69,7 % durch ischämische oder hämorrhagische Schlaganfälle verursacht wird, das Risiko eines Ereignisses mit zunehmendem Alter steigt und die Patienten mit bleibenden Behinderungen wie der HH häufiger überleben (6-17), ist fraglich, ob der steigende Bedarf an Rehabilitation durch das Angebot gedeckt werden kann. Zusätzlich bemerken viele Patienten mit einer HH nach einem Schlaganfall die Gesichtsfeldausfälle nicht oder nur unvollständig, was die Dunkelziffer erhöhen kann (11). Innerhalb der ersten Wochen erfolgt bei 38 % der Patienten eine spontane Verbesserung des Gesichtsfeldes. Nach sechs Monaten ist dieser Effekt nicht mehr zu beobachten (6). Die Angaben schwanken jedoch von insgesamt 7 – 53 % (1, 28). Alles in allem wird der Bedarf an der Sehbehindertenrehabilitation jedoch stetig steigen.

1.4 Rehabilitation bei Hemianopsie

Es soll ein Fokus auf die suprachiasmatischen Läsionen und deren homonymen hemianopen Gesichtsfeldausfälle gelegt werden. Grundsätzlich muss in der Rehabilitation von homonymen hemianopen Störungen zwischen einer hemianopen Lesestörung und einer hemianopen Orientierungsstörung unterschieden werden (29).

Eine hemianope Lesestörung tritt bei einer makularen Aussparung von mindestens 5 Grad nicht auf. Liegt jedoch keine makuläre Aussparung vor, tritt eine hemianope Lesestörung auf, da das Lesegesichtsfeld mindestens eine Größe von 2 Grad links und rechts des Fixationsortes aufweisen muss. Ein kleiner parazentraler homonymer Ausfall kann auch eine hochgradige Lesestörung verursachen, da dieser wiederum die zwei benötigten Grad für das Lesegesichtsfeld auf der jeweils betroffenen Seite einschränkt (29). Zusätzlich sollte beachtet werden, auf welcher Seite die Hemianopsie vorliegt. Für die rechte Seite spielt sie insofern für den Lesevorgang eine Rolle, als dass der Patient den Gesichtsfeldausfall ständig vor sich her schiebt. Für die linke Seite besteht das Problem darin, den Anfang einer neuen Zeile zu finden (30).

Eine hemianope Orientierungsstörung entwickelt sich aus der Tatsache, dass eine Gesichtsfeldhälfte, oder deren Anteile, ausgefallen sind. Patienten haben Probleme in ihrer räumlichen Orientierung. Gegenstände oder Personen auf der hemianopen Seite werden nur teilweise oder gar nicht wahrgenommen. Dies hat zur Folge, dass Gegenstände, Personen oder sonstige Dinge übersehen oder umgestoßen werden (4). Betroffen sind zudem weitere Tätigkeiten im Alltag des Patienten, wie beispielsweise das Autofahren, welches bei zugrundeliegender HH nicht gestattet ist (31).

Im Folgenden soll auf die hemianope Orientierungsstörung und deren Rehabilitationsmöglichkeiten eingegangen werden.

1.4.1 Rehabilitation bei hemianoper Orientierungsstörung

Viele Patienten entwickeln mit einer HH spontane Anpassungsstrategien. Während der Fixation machen sie kleine und während der Exploration größere Augenbewegungen zur hemianopen Seite. Durch diese sinnvolle Anpassungsstrategie können die Patienten Informationen aus dem ausgefallenen Gesichtsfeld durch kompensatorisches Abscannen besser wahrnehmen (4, 29). Es findet jedoch keine Erweiterung des Gesichtsfeldes

statt, sondern, durch gezieltes Abscannen, eine Erweiterung des Blickfeldes (32).

1.4.2 Kompensationsansatz

Die Grundlage eines explorativen Sakkadentrainings (EST) ist die spontane Anpassungsstrategie, welche ein gezieltes Abscannen der hemianopen Gesichtsfeldhälfte bewirkt. Bei dem Training durch den Kompensationsansatz wird versucht, durch häufige Augenbewegungen zum blinden Halbfeld und eine Aufmerksamkeitsverschiebung in Richtung des blinden Halbfeldes, eine bessere Nutzung des gesamten Blickfeldes und somit eine verbesserte Alltagsorientierung zu erzielen (4). In früheren Studien wurde durch ein gezieltes okulomotorisches Training eine Verbesserung der Exploration nachgewiesen (33-35). Es wurde auch von einer gleichzeitig erfolgten akustischen Stimulation während des Trainings berichtet, welche sich als hilfreich erwiesen hatte (36). In vielen Studien hat sich der Kompensationsansatz als letztlich hilfreich erwiesen (37-39). In diesen Studien fehlten jedoch die randomisierten Kontrollgruppen und damit der Beweis einer Spezifität des jeweiligen Trainings. Nach aktuellem Stand zählt die Literatur drei Studien auf, welche eine randomisierte Kontrollgruppe miteinbezogen haben (39). In einer Studie wurde ein EST mithilfe der Sakkadentrainingssoftware „Four“ durchgeführt und mit einer Patienten - Kontrollgruppe, welche ein potentiell Restituionstraining absolviert hatte, verglichen. Hierbei zeigte sich ein positiver Effekt im Vergleich zur Kontrollgruppe (32, 40). In einer weiteren randomisierten kontrollierten Studie wurde zusätzlich ein positiver Effekt bei zusätzlichen auditiven Reizen im Vergleich zu rein visuellen Reizen gezeigt (41). Es wurde auch in einer kontrollierten randomisierten Studie die Wirksamkeit des okulomotorischen Trainings im Vergleich zum Aufmerksamkeitstraining dargestellt. Beide Methoden zeigten den gleichen Effekt (39, 42).

1.4.3 Restitutionsansatz

Mithilfe des Restitutionsansatzes sollen am Rande der Hirnläsion eventuell unvollständig zerstörte Neurone durch eine Stimulation an der Gesichtsfeldgrenze bzw. im blinden Halbfeld aktiviert werden (43). Es wurden mehrere Studien mit dem Restitutionsansatz als Trainingsgrundlage durchgeführt. In einer Studie wurde mit schwelennahen Reizen gearbeitet und eine Verbesserung des Gesichtsfeldes bis hin zu einer Exzentrizität von 40 Grad festgestellt (44). Jedoch konnten diese Ergebnisse in einer späteren Studie nicht bestätigt werden (4, 45). In einer weiteren Studie wurde mit überschwelligen Reizen entlang der Gesichtsfeldgrenze gearbeitet und ebenfalls eine Verbesserung des Gesichtsfeldes um fünf Grad beschrieben (43). Es konnten in einer Kontrolluntersuchung, welche die Fixation während der Stimulusdarbietung mittels eines SLO (Scanning Laser Ophthalmoskops) auf der Netzhaut überprüft hatte, keine Veränderung im Gesichtsfeld nachgewiesen werden (21). Auch mithilfe der konventionellen Perimetrie konnte kein Effekt des Restitutionsansatzes bewiesen werden (4, 46). In einer weiteren Studie wurden flimmernde Reize oder flimmernde Buchstaben als Stimuli dargeboten. Es zeigten sich jedoch in der Goldmann Perimetrie keine Veränderungen des Gesichtsfeldes (47). In einer neueren Studie wurde der Stimulus mit flimmernden Reizen und Buchstaben in einer etwas modifizierten Form nochmals durchgeführt. Hierbei wurden die Stimuli in einer Exzentrizität von 22 Grad präsentiert. Dies sollte das Risiko von Augenbewegungen zum Stimulus hin senken. Es konnte jedoch auch hier kein Effekt auf das Gesichtsfeld beobachtet werden (4, 40). Ein anderer Ansatz beruht auf dem Phänomen der Rindenblindheit „blindsight“ (48). Dies beschreibt, dass Patienten mit Läsionen im Occipitallappen häufig Lichtquellen räumlich zuordnen können ohne sie bewusst wahrzunehmen (49). Es wird angenommen, dass ein phylogenetisch alter neuronaler Weg der visuellen Wahrnehmung über extrastriale Bahnen unter Umgehung der primären Sehrinde erfolgt (50).

1.4.4 Optische Hilfen bei hemianoper Orientierungsstörung

Als optische Hilfen stehen zwei Methoden bei der Behandlung der hemianopen Orientierungsstörung zur Auswahl. Monokulare Prismen und Spiegel verschieben das Bild der blinden Gesichtsfeldhälfte hin zur gesunden. Dies bewirkt eine Erweiterung des Gesichtsfeldes. Durch die Behandlung entstehen häufig eine Diplopie und eine Konfusion des Patienten, was auf Gegenstände oder Personen in der blinden Gesichtsfeldhälfte aufmerksam macht. Es stört jedoch das Sehen im erhaltenen Gesichtsfeld (4, 51, 52). Die Anwendung von monokularen Sektorprismen, welche im peripheren Gesichtsfeld angebracht sind, bringt Vorteile durch eine Erweiterung des Gesichtsfeldes ohne zentrale Diplopie (4, 51, 53). Daher sollten eher monokulare Sektorprismen verwendet werden, welche im peripheren Feld des Brillenglases angebracht sind (4, 51). Es gibt aber bisher keine randomisierten kontrollierten Studien, die einen positiven Effekt nachweisen.

1.4.5 Evidenz-basiertes Vorgehen bei hemianoper Orientierungsstörung

In den beiden beschriebenen Rehabilitationsansätzen konnten für das Restitutionstraining keine wirkungsvollen Effekte durch Studien erzielt werden (21, 40, 45-47), weshalb ein exploratives Sakkadentraining als evidenzbasierte Rehabilitationsmethode bei hemianoper Orientierungsstörung, empfohlen werden kann (4, 32, 40, 54). Falls es Patienten aus welchen Gründen auch immer nicht möglich sein sollte an einem Computer zu trainieren, gibt es auch alternative Rehabilitationsmethoden. Es können Suchaufgaben auf einem Blatt Papier als exploratives Sakkadentraining absolviert werden. Allerdings fehlen hierzu noch randomisierte kontrollierte Studien (4, 38, 55). Zusätzlich sollten die Patienten nach dem Training weiterhin üben, die Strategie der erlernten Exploration in Alltagssituationen anzuwenden (4).

1.5 Fragestellung und Zielsetzung

Ein kompensatorisches Sakkadentraining für hemianope Patienten wurde schon in mehreren Studien als wirksam beschrieben (32, 37-41). Ebenso kann es auch als evidenz - basierte Rehabilitationsmethode empfohlen werden (4, 32, 40, 54). In einer Studie mit sehr kleinen Probandengruppen wurde eine andere Art von Sakkadentraining (Folgebewegung mit anschließender Sakkade zum Stimulus) eingesetzt, bei welchem sich die Patienten nachweislich verbesserten. Nach dem Training bestand dann kein Unterschied mehr zwischen Patienten und normal sehenden Probanden (56). Zielsetzung dieser Arbeit ist die Erhebung von Normwerten von gesunden Personen, um zu klären, in welchem Maße sich Patienten mit HH nach einem erfolgreichen Sakkadentraining mit ihren Reaktionszeiten beim Sakkadentraining auf das Niveau von gesunden Probanden annähern oder dieses sogar erreichen können. Durch die Erhebung von Normwerten von gesunden Probanden und den Vergleich mit den Werten von Patienten aus der Studie von Roth (32, 40) nach einem Training sollen außerdem mögliche Unzulänglichkeiten des explorativen Sakkadentrainings aufgedeckt werden oder potenzielle Verbesserungen einfließen können. Zusätzlich soll ein Vergleich innerhalb der Probandengruppe erfolgen, mit der Fragestellung, ob bei den gesunden Probanden bei einmaliger Wiederholung einer Sitzung des Sakkadentraining schon ein Trainingseffekt auftritt. Das Sakkadentraining wurde mittels des Sakkadentrainingsprogramms „Four“ durchgeführt, das identisch war mit dem in der Studie von Roth et al 2009. Eine Software, wie das Sakkadentrainingsprogramm „VisioCoach“, das eine Weiterentwicklung des „Four“ Programms darstellt, kann eine Verbesserung der Rehabilitation jetzt schon leisten. Sie ermöglicht ein eigenständiges Training durch den Patienten selbst. Sie ist weder an Rehabilitationseinrichtungen gebunden, noch müssen Patienten Termine wahrnehmen oder lange Anfahrtswege in Kauf nehmen und können zu Hause trainieren - ein Compliance Vorteil, der nicht außer Acht gelassen werden sollte.

2 Untersuchtes Kollektiv

2.1 Auswahl der Probanden

In dieser Studie sollten mindestens 30 normal sehende Personen im Alter von 50 bis 80 Jahren als Probanden gewonnen werden. Die Auswahl der Probanden orientiert sich an einer früheren Studie aus dem Jahr 2009 (32, 40). In dieser Studie wurden 30 Patienten mit Hemianopsie in zwei Gruppen eingeteilt. Eine Gruppe wurde einem potentiellen Restitutionstraining (RT), die andere dem Kompensationstraining (explorativen Sakkaden Training = EST), zugeordnet. Hierbei wurde das EST erstmals als evidenz-basierte Rehabilitationsmethode bei hemianopen Orientierungsstörungen nachgewiesen. In der hier vorgelegten Studie sollen Normwerte für gesunde Personen erhoben werden. Mithilfe der Normwerte soll ein Vergleich zwischen dem Patientenkollektiv der EST Gruppe (32, 40) und dem gesunden Probandenkollektiv aus dieser Studie gezogen werden, um festzustellen, ob Patienten durch das Training Normalwerte der Reaktionszeiten erreichen können.

Die Gruppe des EST der Patientenstudie war im Median 65 Jahre (KI +/- 5,6). Der jüngste Patient war 31 Jahre alt und der älteste 73 Jahre (32, 40). Deshalb wurde bei der Auswahl der gesunden Probanden eine Altersvorgabe zwischen 50 und 80 Jahren angesetzt, um vergleichbare Bedingungen bezüglich der Altersstruktur und den altersentsprechenden physischen und psychischen Fähigkeiten zu erreichen. Im Median sind die Probanden dieser Studie 65 Jahre (KI +/- 7). Der jüngste Proband war 52 Jahre alt und der älteste 81 Jahre. Damit wird eine altersabhängige Verzerrung ausgeschlossen und eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse erreicht.

Die Probanden wurden aus dem Familienumfeld und Freundeskreis der Mitarbeiter der Sehbehindertenambulanz der Universität Tübingen rekrutiert. Insgesamt wurden 33 Normalpersonen untersucht, von denen jedoch fünf nicht an der Studie teilgenommen haben. Bei einer Person wurde eine Katarakt, bei

einer weiteren ein Glaukom diagnostiziert, was zum Ausschluss führte. Zwei Personen brachen aus persönlichen Gründen die Studie ab und bei einer weiteren Person war der Visus nicht ausreichend, was auch zu einem Ausschluss führte. Es blieben 28 Normalpersonen übrig, welche alle als Probanden gewonnen werden konnten. Die Teilnahme an dieser Studie erfolgte auf freiwilliger Basis. Alle Probanden wurden von einem ärztlichen Mitarbeiter über die Studie gemäß den Vorgaben der Ethikkommission des Universitätsklinikums Tübingen, aufgeklärt und augenärztlich untersucht. Die Studie erfüllt ebenfalls die Voraussetzung der Deklaration von Helsinki. Die Projektnummer des genehmigten Ethikantrages ist 169/2012BO2.

2.2 Erhebungsbogen

Jeder Proband bekam vor der augenärztlichen Untersuchung einen standardisierten Erhebungsbogen, den er während den gesamten Untersuchungen in einer Mappe bei sich behielt. Er konnte dort selbständig seinen Namen, Vorname, Geburtsdatum, Geschlecht, sowie die aktuelle Anschrift inklusive Telefonnummer angeben. Die Verschlüsselung der Probanden wurde mittels Identifikationsnummer durchgeführt.

Die Namen der beteiligten Mitarbeiter, welche die medizinische Untersuchung oder die Trainingseinheiten mittels Table Test bzw. der Sakkadentrainingssoftware „Four“ durchführten, wurden dokumentiert. Dies sollte gerade bei den Trainingseinheiten dazu dienen, eventuelle Unterschiede in Abhängigkeit des Untersuchers auszuschließen, wie beispielsweise Reaktionszeiten des Untersuchers. Für die augenärztliche Anamnese standen zwei Anamnesevorlagen zur Verfügung. Es wurde eine ophthalmologische sowie eine allgemeine Anamnese erhoben.

Die augenärztliche Untersuchung unterteilte sich in zwei Hauptbereiche. Auf der einen Seite steht die Funktionsprüfung und auf der anderen die Beurteilung der Morphologie. Bei der Funktionsprüfung wurde die Refraktion untersucht und die

Sphäre, der Zylinder und die Zylinderachse für jedes Auge getrennt (RA = rechtes Auge, LA = linkes Auge) dokumentiert. Der Visus wurde für jedes Auge einzeln sowie binokular mittels ETDRS Tafeln erfasst. Im Falle eines unzureichenden Visus oder einer Presbyopie wurde diese korrigiert.

<i>Funktionsprüfung</i>			
		Visus	Test/Tafel
Fernsehen	RA		ETDRS
	LA		
	Binokular		
Nahsehen	RA		Birk- häuser
	LA		
	Binokular		

Abb. 3: Ausschnitt aus dem Probandenerhebungsbogen

Die Morphologie des Vorderabschnittes und des Fundus wurden für das RA und LA getrennt dokumentiert. Zusätzlich wurde der Augeninnendruck gemessen und dokumentiert. Abschließend konnte der Proband für die Studie als zugelassen gekennzeichnet werden oder mit Angabe eines Grundes ausgeschlossen werden.

<i>Morphologie</i>		
	RA	LA
Vorderabschnitte		
Fundus (Miosis)		

Abb. 4: Ausschnitt aus dem Probandenerhebungsbogen

2.3 Aufklärung der Probanden

Die Aufklärung der Probanden erfolgte von einer der beteiligten ärztlichen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Sehbehindertenambulanz in mündlicher Form. Das Aufklärungsgespräch wurde mit einer schriftlichen Einverständniserklärung des Probanden dokumentiert und anschließend bekam jeder Proband ein schriftlich ausgearbeitetes Informationsblatt, mit Inhalt des Aufklärungsgesprächs, übergeben. Als erster Punkt wurde der Untersuchungsablauf besprochen. Hierbei wurde darauf hingewiesen, dass die Studie ambulant stattfindet und dass im Rahmen der Studie eine kostenfreie augenärztliche Routineuntersuchung enthalten ist, welche den Visus und die Beurteilung der vorderen und hinteren Augenabschnitte sowie eine Messung des Augeninnendruckes umfasst. Es wurden die Trainingsabläufe des Table Tests (s. u.) und der Sakkadentrainingssoftware „Four“ (s. u.) grundsätzlich erläutert. Als zweiter Punkt wurden eventuelle Risiken und Nebenwirkungen besprochen. Weder bei dem Table Test noch bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ gab es zu erwartende Nebenwirkungen. Als dritter Punkt wurden die Freiwilligkeit der Teilnahme an der Studie und die Auszahlung der Aufwandsentschädigung erläutert. Die Studie konnte jederzeit ohne Angaben von Gründen von den Probanden abgebrochen werden. Die Auszahlung der Aufwandsentschädigung von 30 Euro fand am Ende der Studienteilnahme statt. Der Proband musste den Erhalt der 30 Euro mit seiner Unterschrift bestätigen. Als letzter Punkt wurde der Datenschutz besprochen. Es wurde den Probanden garantiert, dass die Bestimmungen des Datenschutzes und der ärztlichen Schweigepflicht aller beteiligten Mitarbeiter eingehalten werden. Die Daten wurden mittels der Identifikationsnummer verschlüsselt. Die Datenspeicherung erfolgt auf zehn Jahre.

2.4 Augenärztliche Untersuchung

Es wurde sowohl die ophthalmologische Anamnese als auch die allgemeine Anamnese erhoben. Bei der ophthalmologischen Anamnese wurde nach dem Vorhandensein von bereits bekannten Erkrankungen gefragt, wie etwa eine Glaukom oder Katarakt und nach Refraktionsanomalien wie etwa einer Myopie oder Hyperopie. Zusätzlich wurde gezielt nach Operationen sowie eventuellen Traumata gefragt. Bei Vorhandensein einer Sehhilfe wurde genau unterschieden, ob die Sehhilfe eine Gleitsichtbrille oder eine reine Lesebrille ist. Allgemeinanamnestisch wurde ein Diabetes mellitus und ein Apoplex ausgeschlossen.

Die Bestimmung des Fernvisus wurde mit standardisierten ETDRS Tafeln für jedes Auge einzeln sowie binokular durchgeführt. Alternativ hätte auch eine Bestimmung mit den Landolt Ringen durchgeführt werden können (57). Ein Fernvisus größer 0,6 binokular sollte erreicht werden, um die zu testenden Aufgaben korrekt ausführen zu können. Hierbei konnten die eigenen Sehhilfen beibehalten werden. Außer bei Vorhandensein einer Gleitsichtbrille. In diesem Fall wurde diese durch individuelle Dioptrien - und Zylinderwerte in anpassbaren Brillengestellen probandenindividuell angefertigt, da nicht auszuschließen ist, dass die eingearbeiteten Gleitsichtgläser im Vergleich zu reinen Nah- und Fernbrillen die Ergebnisse durch Irritation des Probanden verfälschen könnten. Bei der Bestimmung des Nahvisus musste ebenfalls auf Vorhandensein von Gleitsichtbrillen geachtet werden. In solch einem Fall wurden die benötigten Dioptrien - und Zylinderwerte ebenfalls in anpassbaren Brillengestellen Patientenindividuell angefertigt, um dieselbe oben beschriebene mögliche Irritation des Probanden während der Aufgabe auszuschließen. Die Bestimmung erfolgte mit standardisierten Birkhäuser Tafeln für jedes Auge einzeln, sowie binokular (58). Hierbei wurde für die korrekte Durchführung der Trainingseinheit ein binokularer Visus von 0,6 vorausgesetzt.

Die Untersuchung des vorderen Augenabschnittes erfolgte mithilfe einer Spaltlampe durch einen ärztlichen Mitarbeiter der Sehbehindertenambulanz. Hierbei wurde auf reizfreie Verhältnisse geachtet und Hornhauttrübungen

ausgeschlossen. Der Untersuchungsbefund wurde in dem Probandenerhebungsbogen dokumentiert. Anschließend wurde eine Fundoskopie in Miosis durchgeführt, da die Probanden im Anschluss der Untersuchung noch an den Trainingseinheiten teilnehmen sollten. Hierbei wurde die Vitalität und Randschärfe der Papille und die Homogenität der Makula beurteilt. Zuletzt wurde eine Tonometrie durchgeführt. Hierzu wurden dem Probanden Proparacain POS 0,5 % Tropfen zur lokalen Betäubung appliziert. Mithilfe der Spaltlampe und einem Applanationstonometer nach Goldmann wurde der Augeninnendruck gemessen. Von einer Erhöhung des Augeninnendruckes wurde ab einem Wert von 21 mmHg ausgegangen (59).

2.5 Ein – und Ausschlusskriterien

Es wurde nach ophthalmologisch gesunden Personen im Alter von 50 bis 80 Jahren gesucht. Es sollte ein Altersmedian von zirka 60 Jahren angestrebt werden. Die Personen sollten einwilligungsfähig und in einem guten Allgemeinzustand sein. Als Ausschlusskriterien galten einerseits Erkrankungen, welche die Sehschärfe betreffen, wie z.B. eine Katarakt. Andererseits Erkrankungen, welche das Gesichtsfeld beeinträchtigen wie etwa Netzhauterkrankungen, Makulaerkrankungen, Schlaganfälle oder ein Glaukom.

3 Methodik

3.1 Allgemeiner Untersuchungsablauf

Mit den Probanden wurden zwei ambulante Termine in der Sehbehindertenambulanz der Universitätsaugenklinik Tübingen vereinbart. An jedem Termin musste eine Untersuchung mit dem Table Test und eine Trainingseinheit von 30 Minuten mit der Sakkadentrainingssoftware „Four“, welche im Folgenden erläutert werden, absolviert werden. Die beiden Trainingseinheiten sollten in einem zeitlichen Abstand von zwei bis sechs Wochen stattfinden.

3.2 Sakkadentrainingssoftware „Four“ bei den Probanden

Die Sakkadentrainingssoftware „Four“ ist eine Entwicklung von Prof. S. Trauzettel – Klosinski und ihren Mitarbeitern der Sehbehindertenambulanz der Universitätsaugenklinik Tübingen. Es wurde für das kompensatorische explorative Sakkadentraining (EST) bei hemianopen Gesichtsfeldausfällen entwickelt und bereits in früheren Studien verwendet (32, 40). Da die zu suchende Zahl stets eine vier war, wird die Software im Folgenden „Four“ genannt. Eine benutzerfreundliche Weiterentwicklung ist die Sakkadentrainingssoftware „VisioCoach“ (60).

Es standen Notebooks mit einem 15 Zoll – Monitor für die Trainingseinheiten zur Verfügung. Die Notebooks wurden auf einen höhenverstellbaren Tisch gelegt, um vor Beginn der Trainingseinheit den gesamten Testaufbau den Größenverhältnissen der Probanden anzupassen. Die Trainingseinheit wurde in aufrecht sitzender Position durchgeführt. Das Notebook befand sich in 30 Zentimeter Abstand etwa auf Kopfhöhe, damit ein Geradeausblick ermöglicht wurde. Dieser wurde mithilfe einer roten Schnur überprüft, welche an dem Notebook befestigt wurde. Die Trainingseinheiten sollten zu den

Trainingszeitpunkten T 1 und T 2 je 30 Minuten umfassen. Die Zeit wurde mit einer Stoppuhr gemessen. Es musste auf vorhandene Sehhilfen geachtet werden. Bei Korrekturbedarf des Nahvisus durften nur reine Lesebrillen und keine etwaigen Gleitsichtbrillen verwendet werden, da diese in einer Entfernung von 30 Zentimeter nicht den ganzen Bildschirmbereich erfassen konnten. Bei Vorhandensein einer Gleitsichtbrille wurden die bei der ärztlichen Untersuchung angefertigten patientenindividuellen Brillen verwendet. Es sollten Kopfbewegungen vermieden werden, da die Trainingseinheit mit sakkadierten Augenbewegungen durchgeführt werden sollte und nicht durch Kopfbewegungen. Während der gesamten Trainingseinheit war der Untersucher anwesend und kontrollierte mögliche Kopfbewegungen und den Abstand von Stirn zu Notebook.



Abb. 5: Versuchsaufbau beim Sakkadentraining „Four“. Der trainierte Gesichtsfeldbereich beträgt 30° Radius.

Vor Trainingsbeginn wurden die Probandendaten eingegeben und dem Probanden der genaue Ablauf erläutert. Bei Beginn der Trainingseinheit wurde auf dem Monitor lediglich ein Fadenkreuz in der Mitte präsentiert. Dies diente zur zentralen Fixation des Blickfeldes. Mit einem Mausklick auf das Fadenkreuz konnte die Trainingseinheit gestartet werden. Auf dem Bildschirm wurden die Zahlen 0 bis 9 (12 Punkt, Arial) in randomisierter Anordnung präsentiert. Die Aufgabe bestand darin, die Zahl vier zu finden und diese mit dem Mauszeiger zu überqueren. Als positives Feedback verwandelte sich die Zahl vier in ein rotes Dollarzeichen. Bei der letzten zu markierenden Zahl vier verwandelte sich diese zu einem blauen Eurozeichen. Dies signalisierte zugleich das Ende der aktuellen Bildschirmdarbietung. Im Anschluss tauchte wieder das Fadenkreuz auf und eine neue Bildschirmdarbietung konnte begonnen werden. Neben der randomisierten Anordnung der Zahlen variierte auch die Anzahl der zu markierenden Zahl vier von einmalig bis neunmalig. Die Dokumentation und Speicherung erfolgte automatisch durch die Software in einer Datenbank. Es wurde die räumliche Anordnung, sowie die Anzahl der Zahl vier, die Anzahl der Bildschirme und die Reaktionszeiten bis zum Markieren der Zahl vier aufgezeichnet und nach Abschluss der Trainingseinheit ausgewertet.

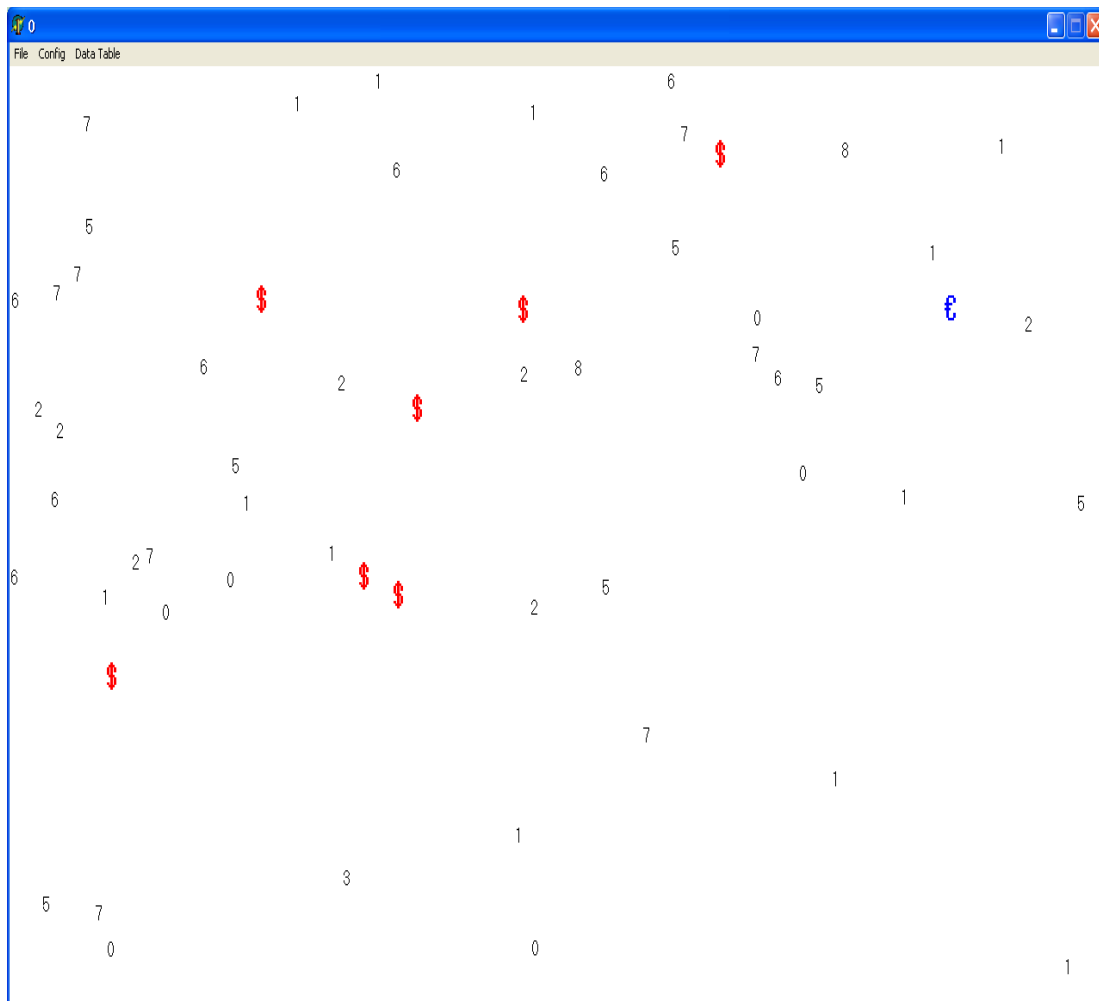


Abb. 6: Bildausschnitt aus der Sakkadentrainingssoftware „Four“

3.3 Sakkadentrainingssoftware „Four“ bei den Patienten

Die hier verwendeten Rohdaten wurden in der Studie von Roth et al 2009 erhoben. Sie werden hier nur zum Vergleich mit den normal sehenden Probanden herangezogen und die Mittelwerte und Mediane pro Item berechnet.

Die Patientengruppe mit 15 Teilnehmern aus der früheren Studie, die das EST durchgeführt hatten, wurde zu drei verschiedenen Zeitpunkten getestet. Zeitpunkt T 1 war unmittelbar vor dem Training, welches fünf Tage pro Woche zweimal täglich 30 Minuten über sechs Wochen umfasste. Der Zeitpunkt T 2

war unmittelbar nach dem Training. Zusätzlich gab es hier noch einen Testzeitpunkt T 3 nach sechs-wöchiger Trainingspause. Dieser wird jedoch hier nicht berücksichtigt. Der Test mithilfe der Sakkadentrainingssoftware „Four“ wurde genauso wie in der Probandengruppe durchgeführt. Die Patienten sollten in einer zeitlich definierten Periode von dreißig Minuten die Zahl Vier (Item) suchen und finden. Gemessen wurde die Reaktionszeit in Sekunden (s) pro Item.

Durch die in der früheren Studie unterschiedliche Gewichtung und der jetzt korrigierten Beobachtung der Einzelgewichtung änderte sich der Faktor um ca. 4. Ein Bias entsteht dadurch nicht. Das Gesamtergebnis ändert sich nicht, der Effekt auf die Reaktionszeiten bleibt gleiche.

3.4 Table Test

Der Table Test wurde von Prof. S. Trauzettel – Klosinski und Ihren Mitarbeitern an der Sehbehindertenambulanz der Universitätsaugenklinik Tübingen entwickelt und schon bei früheren Studien verwendet (32, 40). Er ist eine Möglichkeit bei hemianopen Sehstörungen, die Reaktionszeiten in den einzelnen Quadranten anhand alltagsähnlicher Gegenständen zu erfassen und kann somit als Test zur Prüfung der Alltagsrelevanz verwendet werden. Hierbei können alle vier Gesichtsfeldquadranten getrennt voneinander erfasst und beurteilt werden.

Auf einer weißen Tischplatte wurden vierzig verschiedene, alltägliche Gegenstände, wie etwa eine Handcreme oder ein Schraubenschlüssel platziert. Diese Tischplatte wurde in vier Quadranten unterteilt. Die Gegenstände wurden nach dem Zufallsprinzip in den Quadranten (RU = rechts unten, RO = rechts oben, LU = links unten, LO = links oben) verteilt, sodass jeder Quadrant letztendlich zehn Gegenstände enthielt. Der Aufbau wird in Abbildung 7 ersichtlich. Die Tischplatte stand auf einem höhenverstellbaren Tisch. Vor Beginn jeder Trainingseinheit konnte der gesamte Testaufbau auf die

Größenverhältnisse der Probanden angepasst werden. Die Platte sollte zirka in Höhe der Hüfte, in sitzender Position, in einem Abstand von dreißig Zentimeter platziert werden. Dies wurde mithilfe eines Meterstabes überprüft. Eigene Sehhilfen, sofern es keine Gleitsichtbrillen waren, konnten beibehalten werden, da dieser Test eine alltagsähnliche Suchaufgabe darstellen sollte. Im Falle einer Gleitsichtbrille wurden die erforderlichen Dioptrien - und Zylinderwerte für den Fernvisus in einer Probandenindividuellen Brille extra für den Probanden angefertigt. Der erfasste Gesichtsfeldausschnitt beträgt 30° Radius.



Abb. 7: Table Test (für diese Abbildung mit Hilfslinien in die Quadranten RU = rechts unten, RO = rechts oben, LU = links unten und LO = links oben eingeteilt)

Nach korrektem Testaufbau wurde zunächst der genaue Testablauf besprochen und anhand eines neutralen Gegenstandes vorgeführt. Die Tischplatte blieb bis zu Beginn der Untersuchung abgedeckt, damit sich die Probanden keine Gegenstände oder deren Lokalisation auf der Tischplatte merken konnten. Während der einzelnen Untersuchungseinheit sollten die Augen, bis auf den unmittelbaren Suchvorgang, geschlossen bleiben. Den Probanden wurde erklärt, Kopfbewegungen zu vermeiden, da die Suchaufgabe mit Augenbewegungen bewältigt werden sollte. Kopfbewegungen können mögliche Gesichtsfeldausfälle maskieren oder zu deren Kompensation eingesetzt werden. Die Gegenstände wurden auf Augenhöhe präsentiert, welche dann unmittelbar auf der Tischplatte gesucht werden sollten. Mit dem Kommando „Augen auf“ begann die Messung der Suchzeit mittels einer manuellen Stoppuhr. Dem Probanden wurde vor Beginn erklärt, nach Auffinden des Gegenstandes, dies mit einer gezielten Handbewegung, kenntlich zu machen. Dies war zugleich der Endpunkt der Messung. Es wurden somit Reaktionszeiten in Sekunden pro Objekt gemessen. Diese wurden auf einem vorgefertigten Dokumentationsbogen, getrennt für die Trainingszeitpunkte T 1 und T 2, dokumentiert. Die vierzig verschiedenen Gegenstände wurden in den beiden Sitzungen so abgefragt, dass sich bei den Trainingszeitpunkten T 1 und T 2 keine Gegenstände wiederholten. Es wurden somit je Trainingseinheit pro Quadrant immer fünf Gegenstände, also insgesamt 20 Gegenstände abgefragt.



Abb. 8: Table Test Versuchsaufbau. Präsentation des Gegenstandes auf Augenhöhe, welcher dann unmittelbar auf der Tischplatte gesucht werden sollte. Die Zeit wird mit einer manuellen Stoppuhr gemessen.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der *Probandengruppe*

In der Probandengruppe wurden die Ergebnisse der Sakkadentrainingssoftware „Four“ und des Table Tests mit der Statistiksoftware SPSS analysiert und ausgewertet.

4.1.1 Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“

Ob die Ergebnisse einer Normalverteilung folgen, wurde mithilfe des Kolmogorov – Smirnov und des Shapiro Wilk Tests überprüft. In beiden Tests wurde **keine Normalverteilung** nachgewiesen. Die weitere statistische Auswertung erfolgt über nicht parametrische Tests zur Überprüfung der Signifikanz.

Tab. 1: Sakkadentrainingssoftware “Four” - Tests zur Normalverteilung der Probandenergebnisse. Es liegt keine Normalverteilung vor.

	Tests auf Normalverteilung					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
T1 Reaktionszeit (s) / Item	,195	28	,008	,854	28	,001
T2 Reaktionszeit (s) / Item	,172	28	,034	,893	28	,008

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

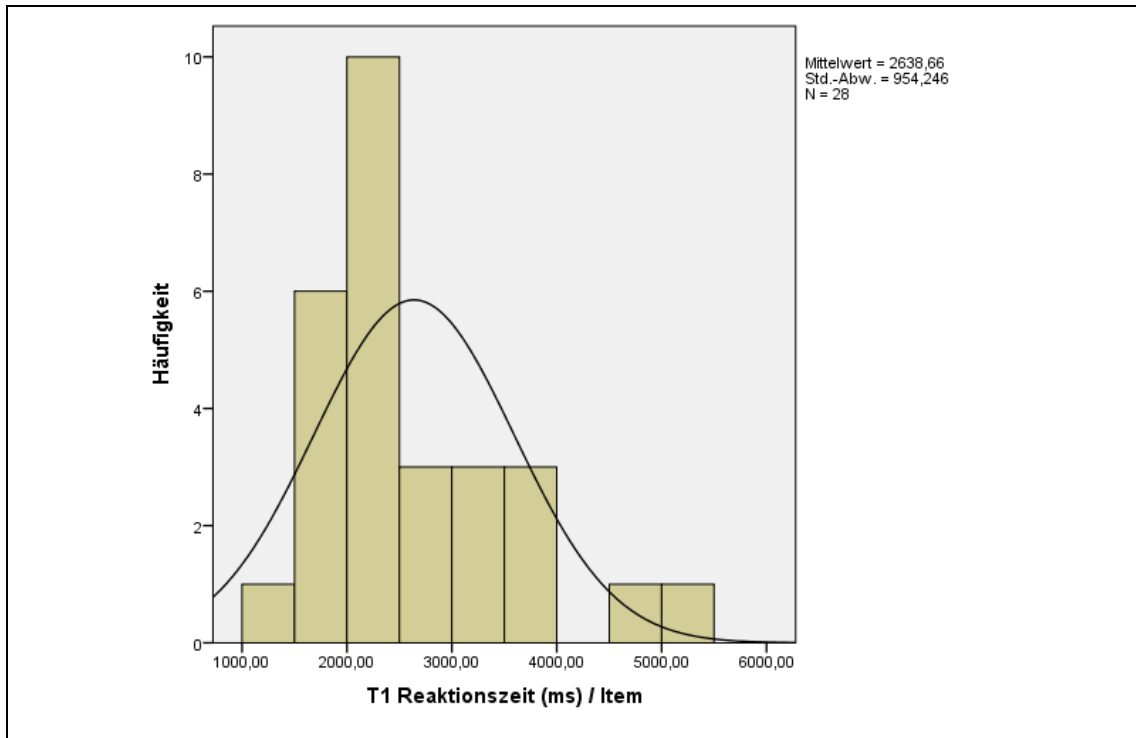


Abb. 9: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Probanden bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ zum Zeitpunkt T 1 - Es liegt keine Normalverteilung vor.

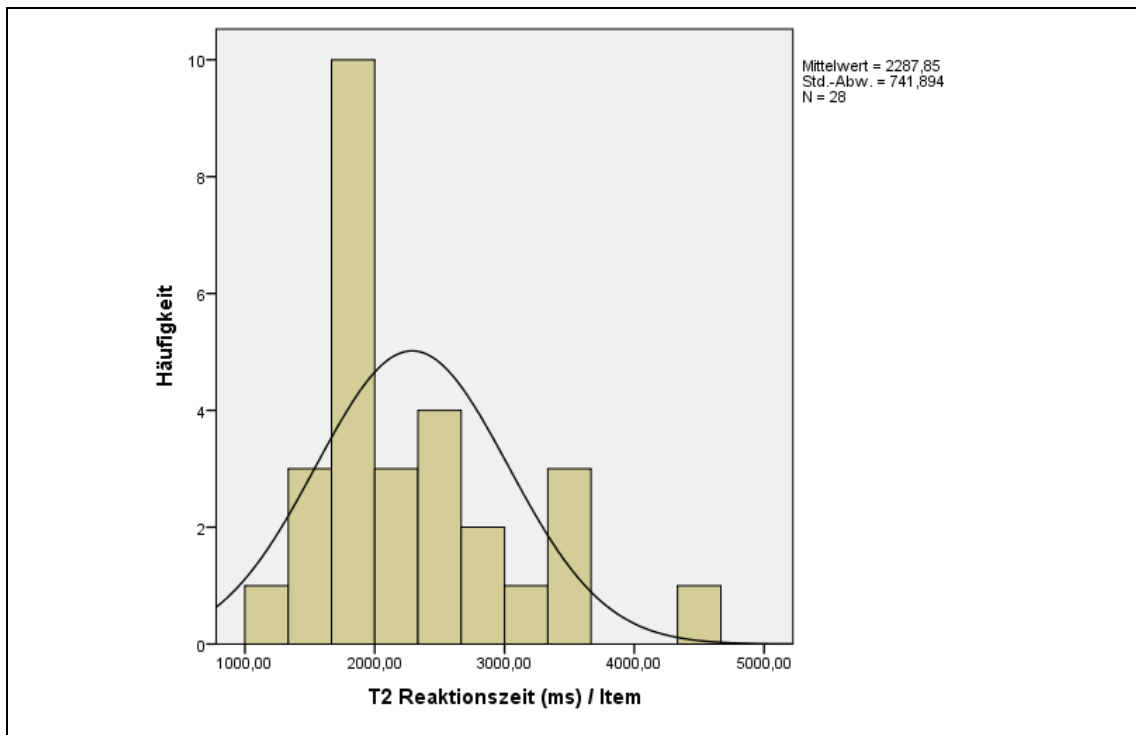


Abb. 10: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Probanden bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ zum Zeitpunkt T 2 - Es liegt keine Normalverteilung vor.

4.1.2 Ergebnisse Sakkadentrainingssoftware „Four“

Wie im Methodenteil beschrieben sollten die Probanden in einer zeitlich definierten Periode von dreißig Minuten auf mehreren sukzessiven Bildschirmen die Zahl Vier (Item) suchen und finden. Dies wurde zu zwei verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt. Es wurde ein Abstand der Trainingszeitpunkte T1 und T2 von ca. 4 Wochen (3 bis maximal 6 Wochen) zu einander festgelegt. In Tabelle 2 ist die **Reaktionszeit pro Item** in Sekunden (s) als Mittelwert, inklusive Standardabweichung und der Median mit der mittleren Abweichung für alle 28 untersuchten Probanden zu den verschiedenen Testzeitpunkten T 1 und T 2 angegeben.

Tab. 2: Sakkadentrainingssoftware “Four”: Mittelwert und Median mit Standardabweichung für 28 Probanden zum Testzeitpunkt T 1 und T 2

Durchschnittliche Reaktionszeit pro Item

	Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
T 1 Reaktionszeit (s) / Item	2,64	28	0,95	0,18
T 2 Reaktionszeit (s) / Item	2,29	28	0,74	0,14

	Median	N	Mittlere Abweichung vom Median
T 1 Reaktionszeit (s) / Item	2,32	28	0,95
T 2 Reaktionszeit (s) / Item	2,01	28	0,74

Die Differenz der beiden **Mediane** lag bei 0,31 Sekunden, was einer Verbesserung von **13,3 %** entspricht. Die Signifikanz des Unterschiedes wurde mithilfe des nichtparametrischen Wilcoxon Tests überprüft ($p < 0,0001$). Somit ist die Differenz der beiden Mediane als **signifikant** anzusehen.

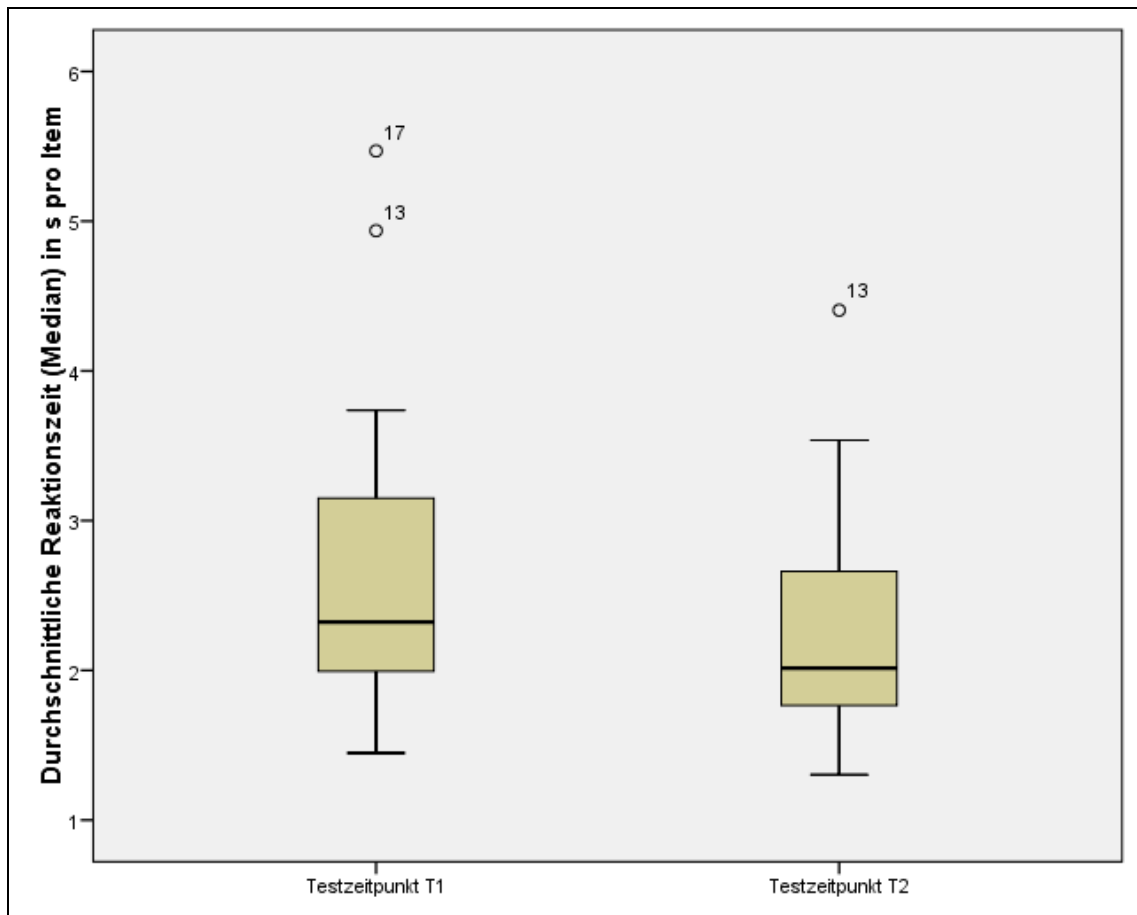


Abb. 11: Boxplot Diagramm der durchschnittlichen Reaktionszeit (Median) pro Item in Sekunden (s) zum Testzeitpunkt T 1 und Testzeitpunkt T2 bei der Sakkandentrainingssoftware „Four“ der Probanden. Es sind insgesamt drei Ausreißer der durchschnittlichen Reaktionszeiten zu sehen.

4.1.3 Prüfung auf Normalverteilung der Reaktionszeiten beim Table Test

Ob die Ergebnisse einer Normalverteilung folgen, wurde mithilfe des Kolmogorov –Smirnov und des Shapiro Wilk Tests überprüft. In beiden Tests wurde eine **Normalverteilung** nachgewiesen. Hier wird im Gegensatz zu der Sakkadentrainingssoftware „Four“ die weitere statistische Auswertung über parametrische Tests vorgenommen.

Tab. 3: Table Test - Tests zur Normalverteilung der Probandenergebnisse. Es liegt eine Normalverteilung vor.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
T1 Summe ges / Objekt	,146	28	,133	,926	28	,050
T2 Summe ges / Objekt	,070	28	,200	,966	28	,488

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

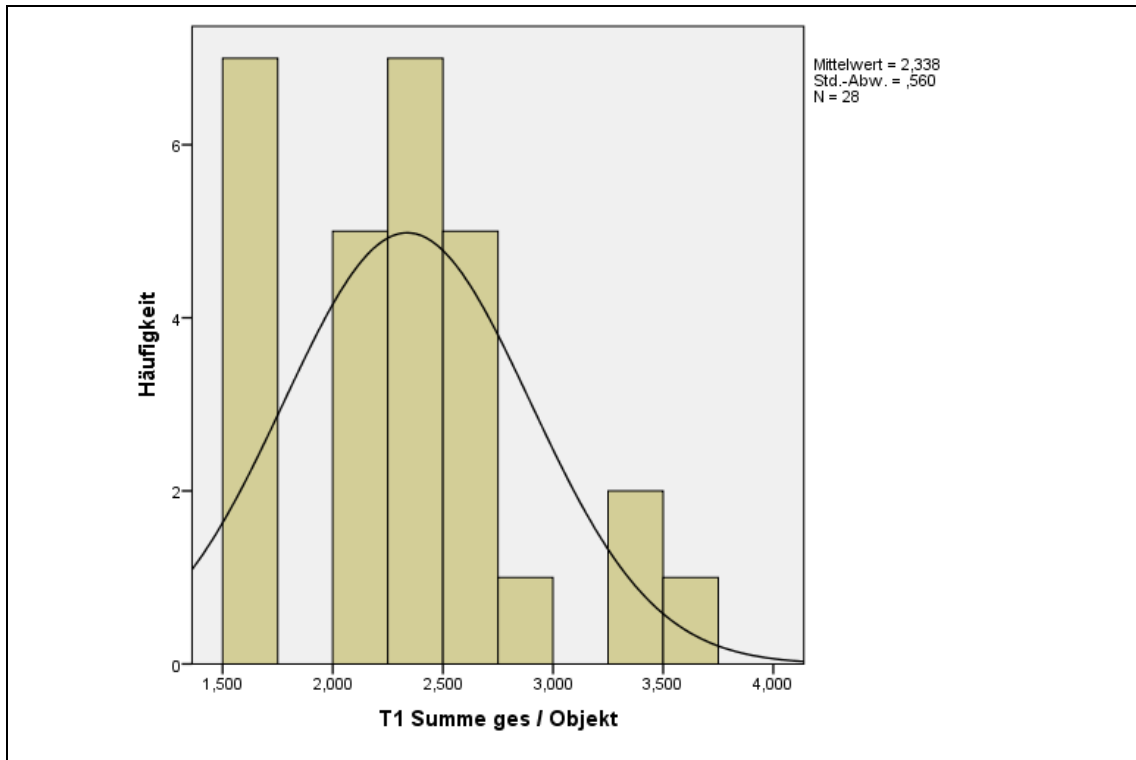


Abb. 12: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Probanden beim Table Test zum Testzeitpunkt T 1 – Es liegt eine Normalverteilung vor.

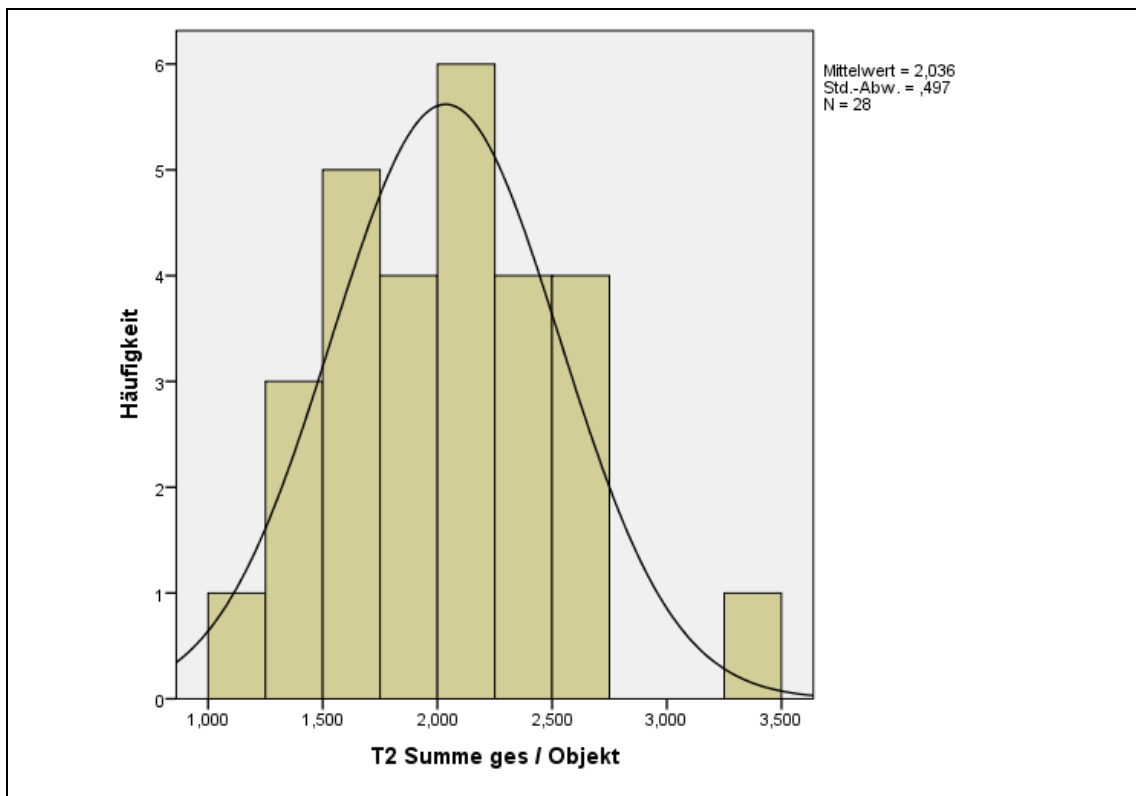


Abb. 13: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Probanden beim Table Test zum Testzeitpunkt T 2 – Es liegt eine Normalverteilung vor.

4.1.4 Ergebnisse des Table Tests

In Tabelle 4 ist die **Reaktionszeit pro Objekt** in Sekunden als Mittelwert, inklusive Standardabweichung, für alle 28 Probanden angegeben. Die Darstellung erfolgt unabhängig der Unterscheidung der Lokalisation der Objekte in den verschiedenen Quadranten.

Tab. 4: Table Test: Mittelwert, Median und Standardabweichung für 28 Probanden zum Testzeitpunkt T 1 und T 2

Durchschnittliche Reaktionszeit pro Objekt

	Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
T 1 Reaktionszeit (s) / Objekt	2,34	28	0,56	0,11
T 2 Reaktionszeit (s) / Objekt	2,04	28	0,50	0,09

	Median	N	Mittlere Abweichung vom Median
T 1 Reaktionszeit (s) / Objekt	2,34	28	0,56
T 2 Reaktionszeit (s) / Objekt	2,04	28	0,50

Die Differenz der beiden **Mittelwerte** lag bei 0,30 Sekunden (s), was einer Verbesserung von **12,9 %** entspricht. Die Signifikanz des Unterschiedes wurde mithilfe des nichtparametrischen Wilcoxon Tests überprüft ($p < 0,004$). Somit ist die Differenz der beiden Mittelwerte als **signifikant** anzusehen.

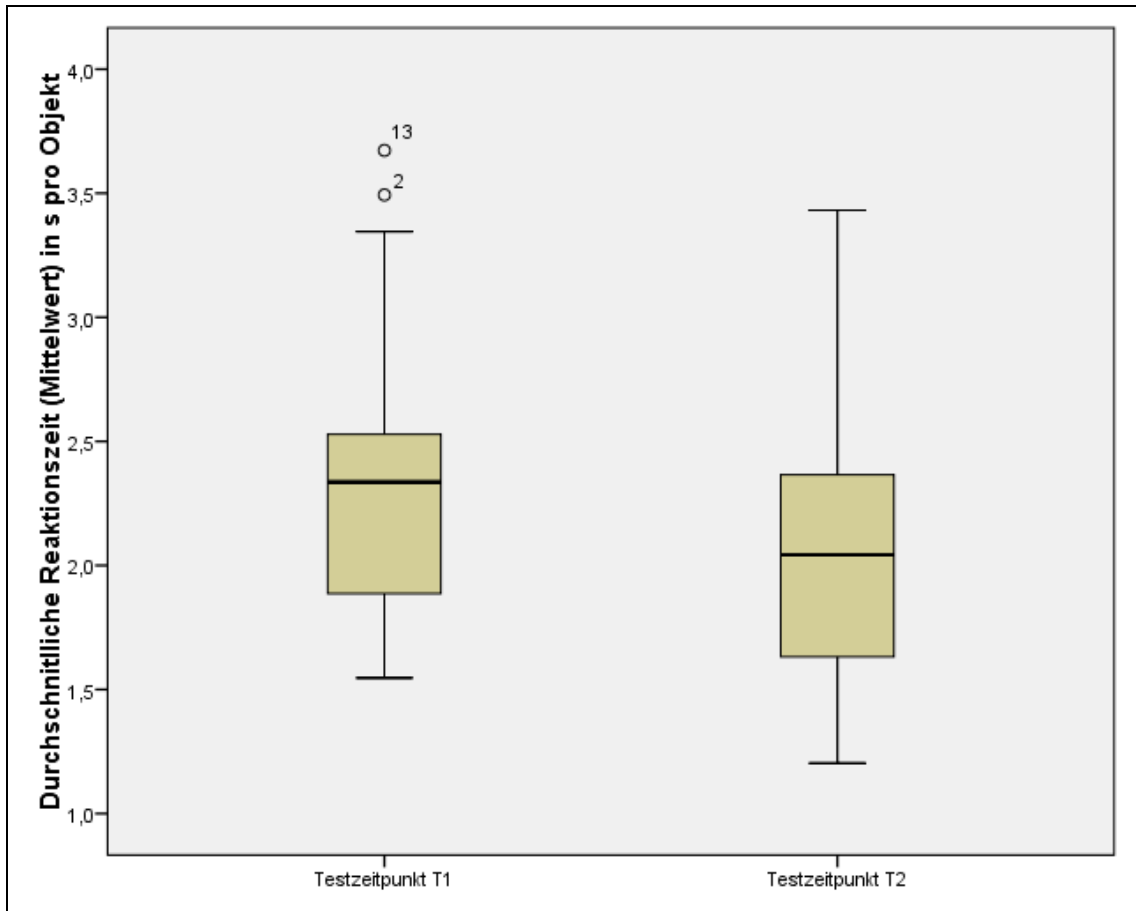


Abb. 14: Boxplot Diagramm der durchschnittlichen Reaktionszeit (Mittelwerte) pro Objekt beim Table Test der Probanden in Sekunden (s) für die Testzeitpunkte T 1 und T2. Es sind zwei Ausreißer der durchschnittlichen Reaktionszeit bei Zeitpunkt T1 zu sehen.

4.1.4.1 Unterschiede der Quadranten im Table Test

In Abbildung 15 werden die Ergebnisse des Table Tests nach Gesichtsfeldquadranten unterteilt und mit den Testzeitpunkten T 1 und T 2 verglichen. Die Darstellung im Diagramm erfolgt in absoluten Werten. Zusätzlich werden die Differenzen prozentual angegeben.

Rechts Unten → Verbesserung von 9,6 %

Rechts Oben → Verbesserung von 24,2 %

Links Unten → Verbesserung von 15,2 %

Links Oben → Verbesserung von 1,0 %

Gesamt → Verbesserung von 12,9 %

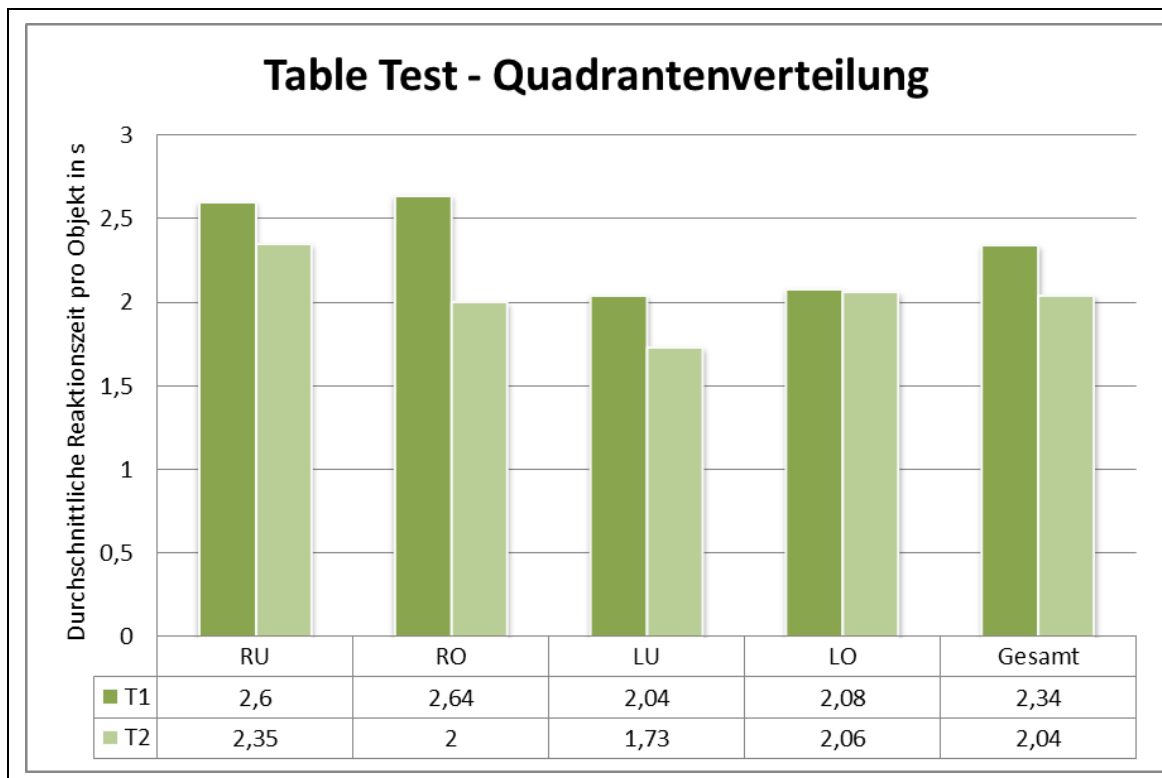


Abb. 15: Durchschnittliche Reaktionszeiten (Mittelwert) pro Objekt in Sekunden (s) beim Table Test der Probanden. Unterteilung in vier verschiedene Quadranten RU = Rechts unten, RO = Rechts oben, LU = Links unten, LO = Links oben und Gesamt = Durchschnittliche Reaktionszeit pro Objekt nicht nach Quadranten aufgeteilt

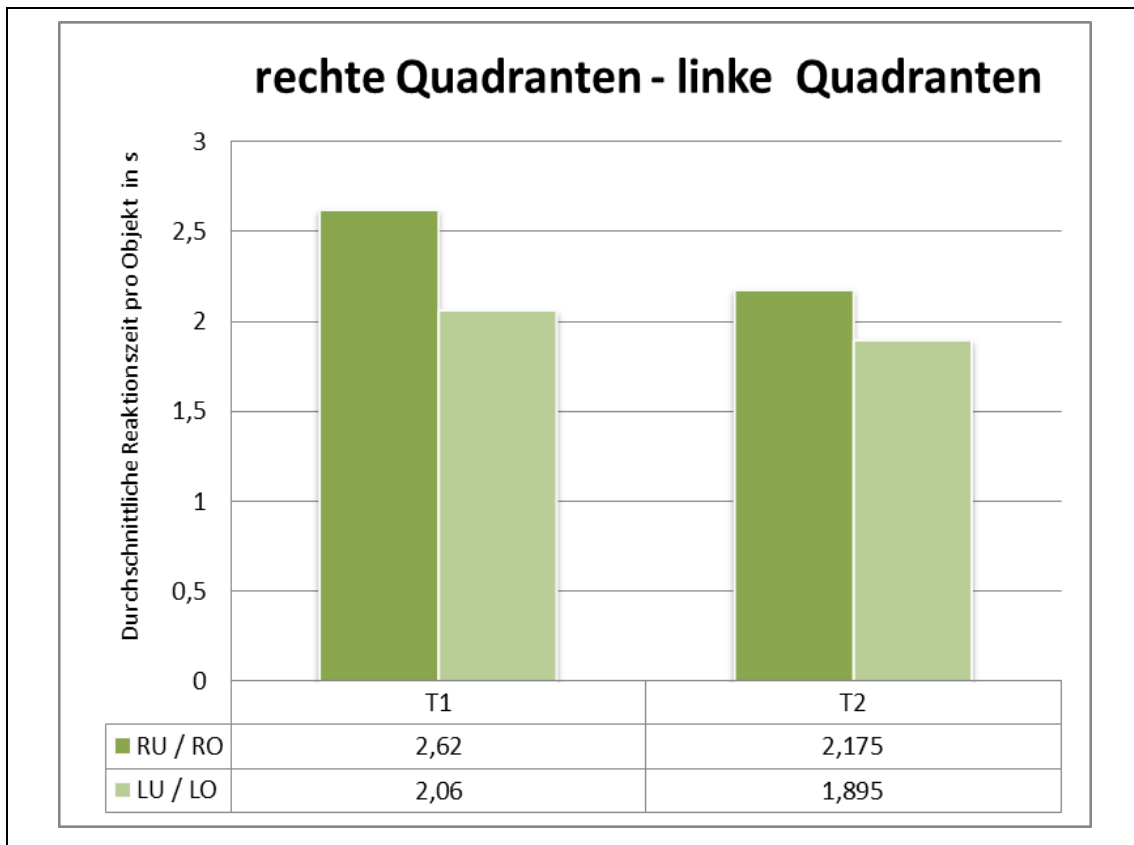


Abb. 16: Unterscheidung der durchschnittlichen Reaktionszeiten (Mittelwert) pro Objekt in Sekunden (s) nach rechten und linken Quadranten zu den jeweils verschiedenen Testzeitpunkten T1 und T2 beim Table Test der Probanden.

Bei der durchschnittlichen Reaktionszeit pro Objekt nach Unterteilung in die vier verschiedenen Quadranten, fallen die absolut gemittelten Ergebnisse der rechten Quadranten im Vergleich zu den linken und den Gesamtergebnissen etwas schlechter aus. In Abbildung 16 sind die rechten Quadranten mit den linken zu den verschiedenen Testzeitpunkten gegenübergestellt.

Die Differenz der rechten Quadranten zu den linken auf den Zeitpunkt T 1 bezogen ist **21,4 %**. Bezogen auf alle Quadranten liegt der Unterschied noch bei 10,7%. Der Unterschied der rechten Quadranten zu den linken auf den Zeitpunkt T 2 bezogen, verringert sich auf **12,9 %**. Bezogen auf alle Quadranten verringert sich der Unterschied auf 6,2 %. Insgesamt fällt auf, dass die rechte Seite bei beiden Testzeitpunkten längere Reaktionszeiten hat als die linke Seite.

4.1.5 Wiederholungseffekt in der Probandengruppe

Die Differenz von 0,31 Sekunden bei der **Sakkadentrainingssoftware „Four“** ist eine prozentuale Verbesserung der erzielten Ergebnisse innerhalb der Probandengruppe von **13,3 %**. Sie beziehen sich auf die Zeiträume T 1 zu T 2.

Die Differenz von 0,30 Sekunden (s) bei dem **Table Test** ist eine prozentuale Verbesserung der erzielten Ergebnisse innerhalb der Probandengruppe von **12,9 %**. Sie beziehen sich ebenfalls auf die Zeiträume T 1 zu T 2.

Beide Verbesserungen sind statistisch signifikant, $p < 0,0001$ bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ und $p < 0,004$ bei dem Table Test. Somit ist in beiden Testverfahren eine nahezu identische Verbesserung innerhalb der Probandengruppe nachzuweisen, was sich an dem nahezu parallel verlaufenden Liniendiagramm in Abbildung 17 gut erkennen lässt.

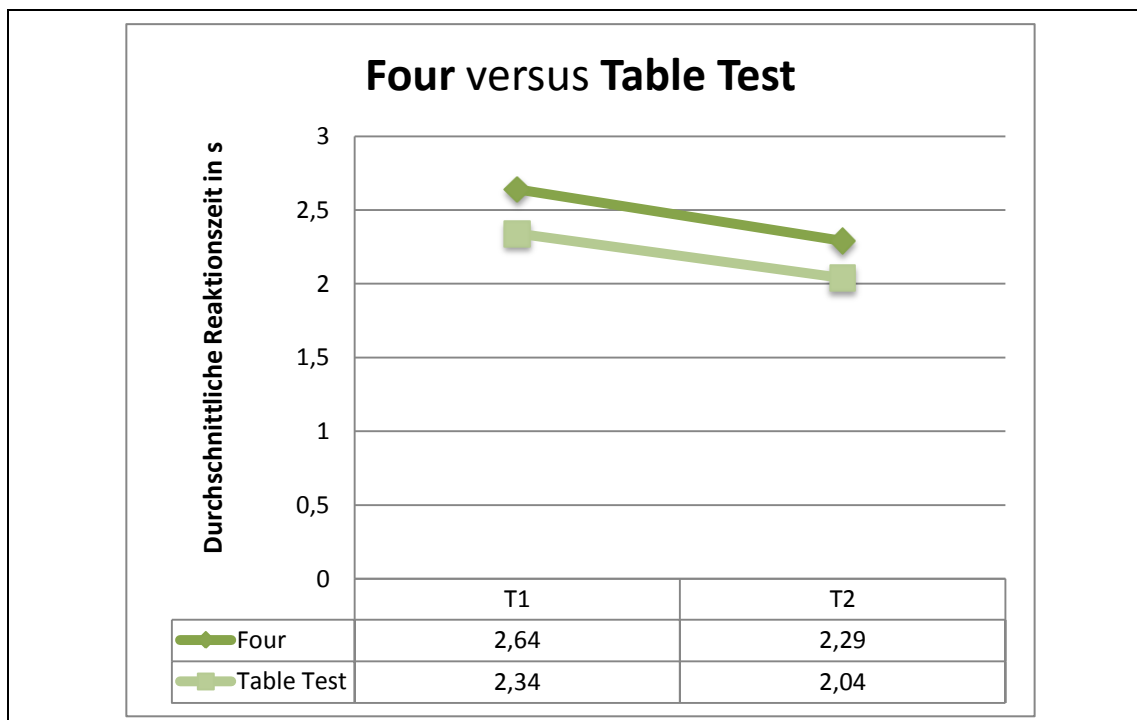


Abb. 17: Vergleich der Verbesserung innerhalb der jeweiligen Testmethode (Sakkadentrainingssoftware „Four“ und Table Test) unter den Probanden. Die Werte sind als durchschnittliche Reaktionszeit (Mittelwert) pro Item bzw. Objekt angegeben. Es zeigt sich ein nahezu identischer linearer Kurvenabfall.

4.2 Ergebnisse der *Patientengruppe*

Die Rohdaten stammen aus der Studie von Roth et al 2009

4.2.1 Normalverteilung der Sakkadentrainingssoftware „Four“

Ob die Ergebnisse einer Normalverteilung folgen, wurde mithilfe des Kolmogorov –Smirnov und des Shapiro Wilk Tests überprüft. In beiden Tests konnte eine **Normalverteilung** nachgewiesen werden. Die weitere statistische Auswertung erfolgt über parametrische Tests.

Tab. 5: Sakkadentrainingssoftware “Four” - Tests zur Normalverteilung der Probandenergebnisse. Es liegt eine Normalverteilung vor.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Patienten T1 Four	,169	15	,200	,932	15	,295
Patienten T2 Four	,108	15	,200	,973	15	,902

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

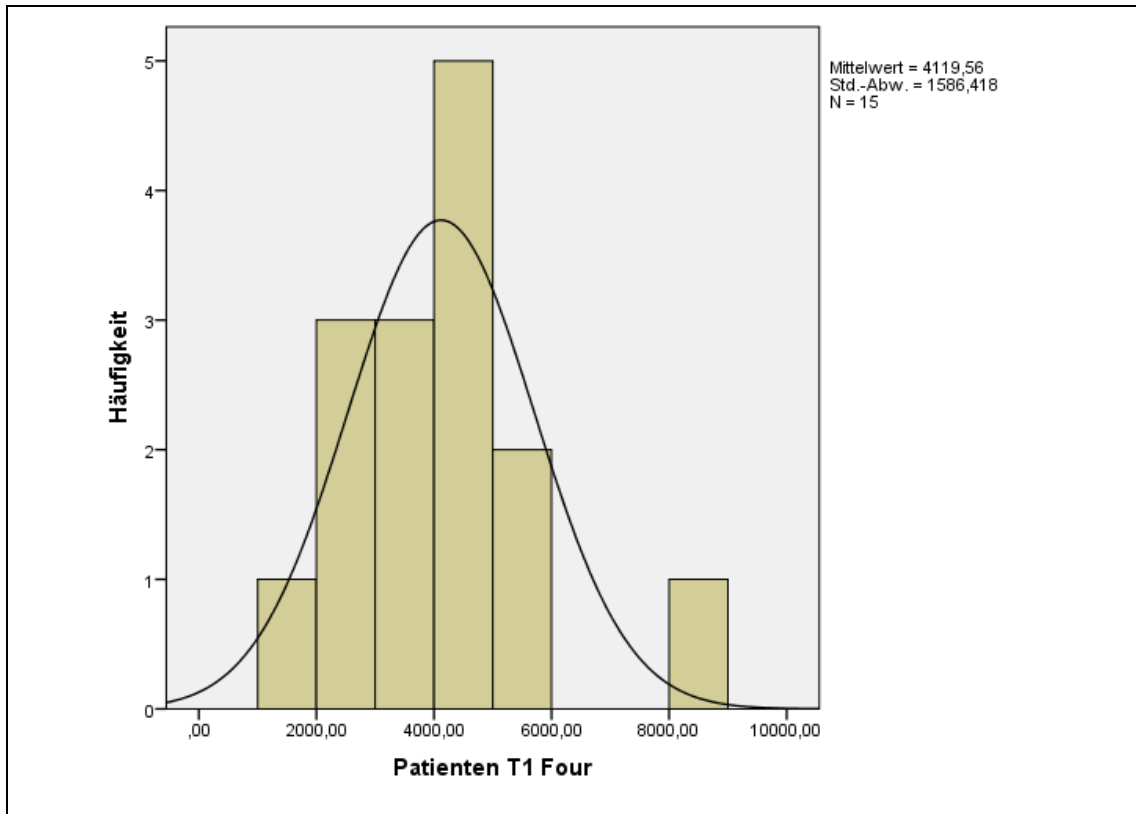


Abb. 18: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Patienten der Sakkadentrainingssoftware „Four“ zum Zeitpunkt T 1 – Es liegt eine Normalverteilung vor.

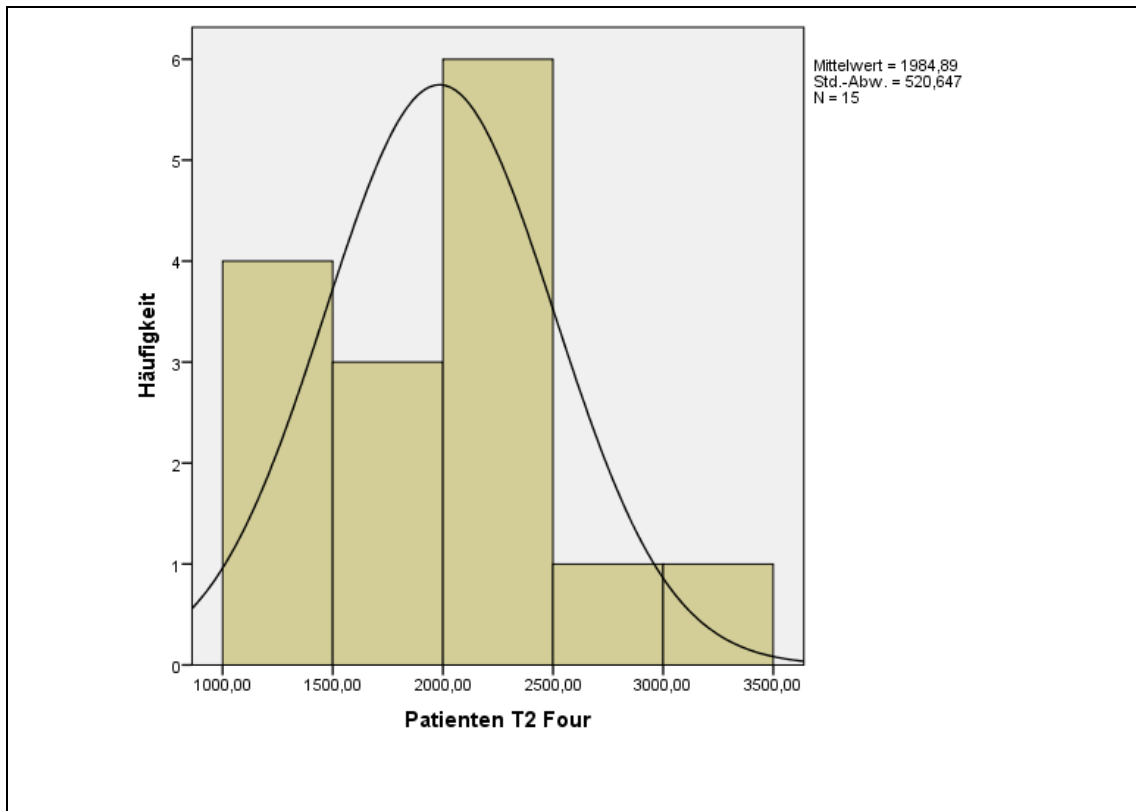


Abb. 19: Histogramm zur Normalverteilung der Ergebnisse der Patienten der Sakkadentrainingssoftware „Four“ zum Zeitpunkt T 2 – Es liegt eine Normalverteilung vor.

4.2.2 Ergebnisse der Sakkadentrainingssoftware „Four“

In Tabelle 6 ist die **Reaktionszeit pro Item** in Sekunden (s) als Mittelwert, inklusive Standardabweichung und der Median mit der mittleren Abweichung für alle 15 untersuchten Patienten zu den verschiedenen Testzeitpunkten T 1 und T 2 angegeben. Hier werden genauso wie bei den Probanden der Vollständigkeit halber der Mittelwert und der Median angegeben. Für den späteren Vergleich der Patientengruppe mit der Probandengruppe wird mit dem Median gearbeitet.

Tab. 6: Sakkadentrainingssoftware "Four": Mittelwert und Median mit Standardabweichung für 15 Patienten zum Testzeitpunkt T 1 und T 2

Durchschnittliche Reaktionszeit pro Item

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
T 1 Reaktionszeit (s) / Item	15	4,12	1,59	0,41
T 2 Reaktionszeit (s) / Item	15	1,98	0,52	0,13

	N	Median	Mittlere Abweichung vom Median
T 1 Reaktionszeit (s) / Item	15	4,15	0,41
T 2 Reaktionszeit (s) / Item	15	2,04	0,14

Die Differenz der beiden **Mittelwerte** lag bei 2,13 Sekunden (s) (Standardabweichung 1,37 s), was einer Verbesserung von **52,7 %** entspricht. Die Signifikanz des Unterschiedes wurde mithilfe des T – Test für verbundene Stichproben überprüft ($p < 0,033$). Somit ist die Differenz der beiden Mittelwerte als **signifikant** anzusehen.

Die Differenz der beiden Mediane lag bei 2,11 Sekunden (s), was einer Verbesserung von **49,16 %** entspricht. Die Signifikanz des Unterschiedes wurde mithilfe des nichtparametrischen Wilcoxon Tests überprüft ($p < 0,001$). Somit ist die Differenz der beiden Mediane als **signifikant** anzusehen.

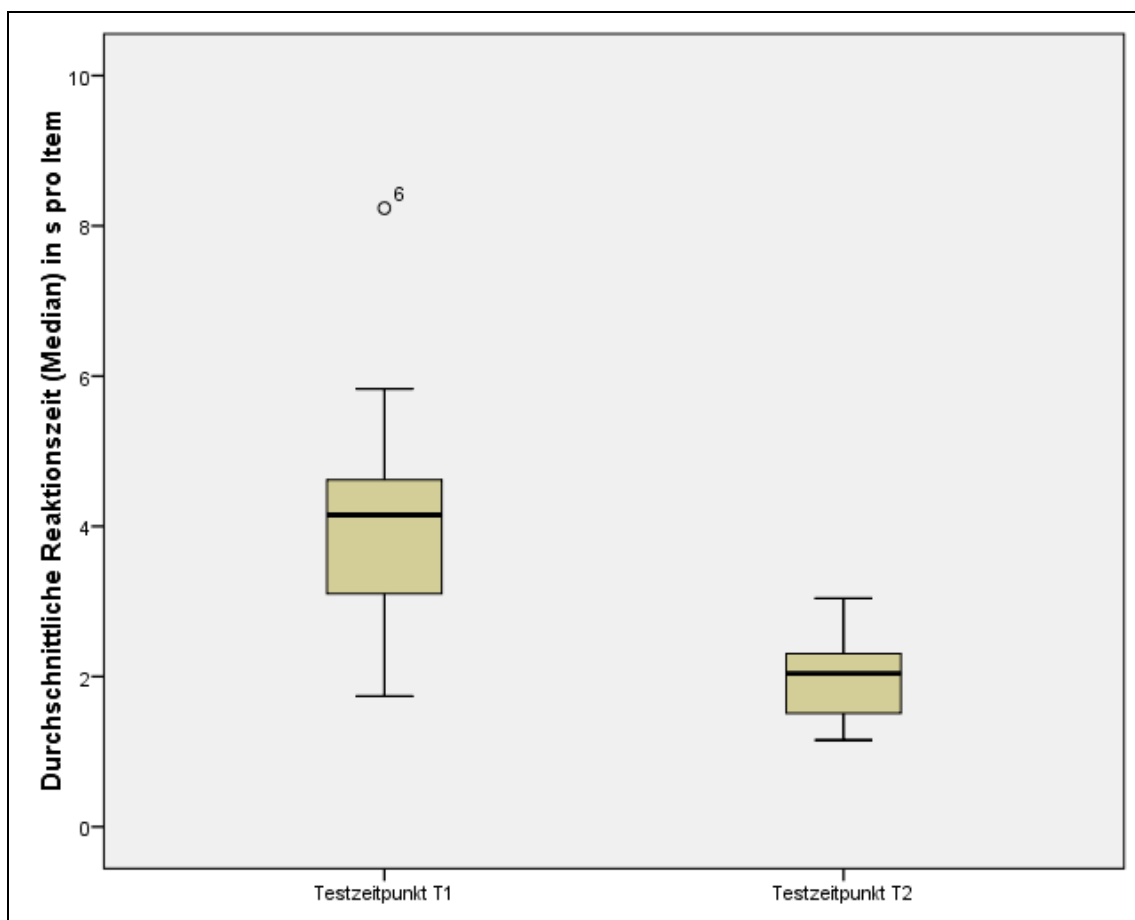


Abb. 20: Boxplot Diagramm der durchschnittlichen Reaktionszeit (Median) pro Item in Sekunden (s) zum Testzeitpunkt T 1 und Testzeitpunkt T2 beim Sakkadentrainingsprogramm „Four“ der Patienten. Es ist insgesamt ein Ausreißer der durchschnittlichen Reaktionszeiten zu sehen.

4.3 Vergleich **Probanden versus Patienten**

4.3.1 Sakkadentrainingssoftware „Four“

Für den Vergleich zwischen Patienten und Probanden für die Testzeitpunkte T 1 und T 2 soll darauf hingewiesen werden, dass die Stichprobengröße nicht identisch ist. In der Patientengruppe befanden sich 15 Patienten und in der Probandengruppe 28 Probanden. Der Vergleich zwischen Patienten und Probanden wird mithilfe des nichtparametrischen Wilcoxon Tests durchgeführt, da in der Probandengruppe keine Normalverteilung vorlag. Die durchschnittlichen Reaktionszeiten beziehen sich auf die **Mediane** der beiden Gruppen.

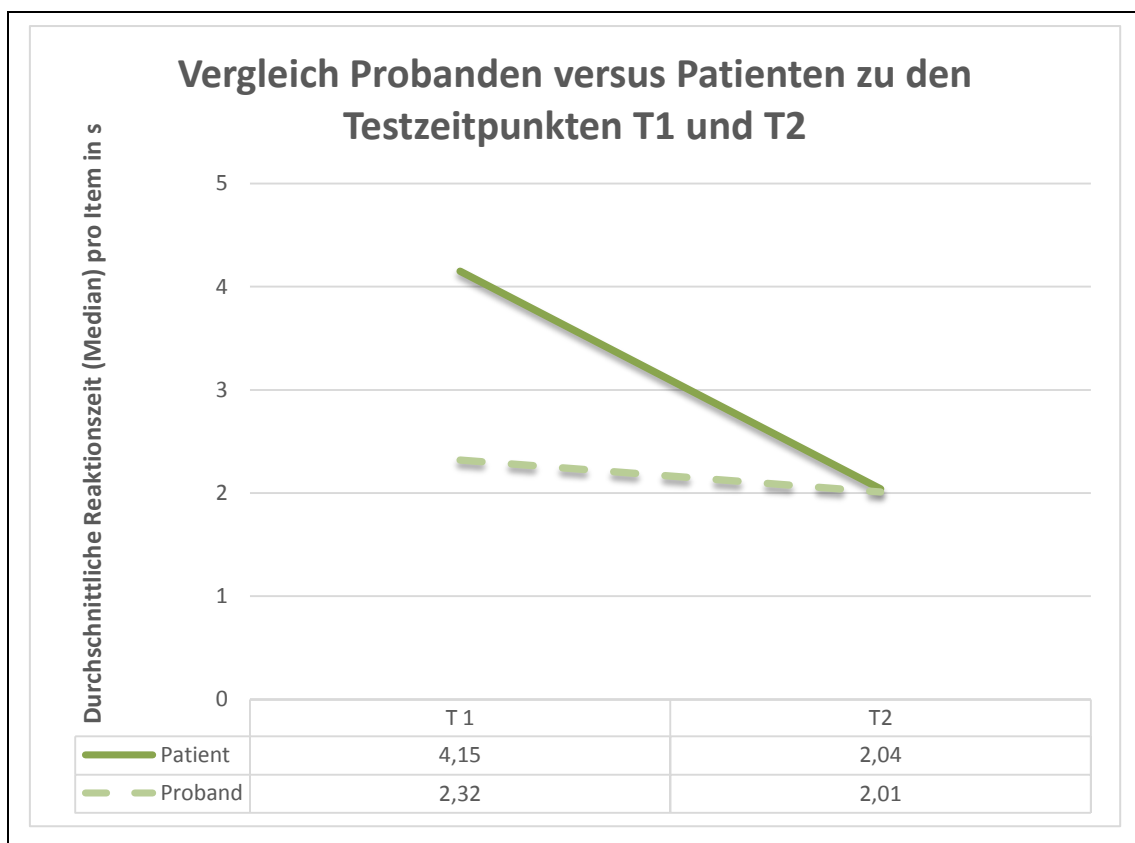


Abb. 21: Vergleich durchschnittlichen Reaktionszeiten (Median) pro item in s bei Patienten versus Probanden zu den beiden Testzeitpunkten T 1 und T 2 beim Sakkadentrainingsprogramm „Four“.

In Abbildung 21 sind die Ergebnisse der Patienten verglichen mit den Probanden zu den beiden Testzeitpunkten T 1 und T 2 angegeben. Die Patienten, welche zum Zeitpunkt T1 noch nicht trainiert hatten, benötigten im Schnitt 4,15 Sekunden (s) zum Auffinden eines Items. Die Probanden hingegen benötigten 2,32 Sekunden (s) zum Auffinden eines Items. Dies spiegelt einen deutlichen Unterschied von **78,88 %** wieder, welche die Patienten länger benötigten als gesunde Probanden ein Item zu finden. Die Signifikanz des Unterschiedes wurde mithilfe des nichtparametrischen Wilcoxon Tests überprüft ($p < 0,020$). Somit liegt ein **signifikanter** Unterschied zwischen Probanden und Patienten vor. Zum Testzeitpunkt T2 hatten die Patienten bereits an fünf Tagen pro Woche zweimal täglich 30 Minuten, sechs Wochen, also insgesamt 30 Stunden lang trainiert. Die Patienten benötigten zum Auffinden eines Items im Schnitt 2,04 Sekunden (s), wohingegen die Probanden, welche bis zum Testzeitpunkt T 2 nicht trainiert hatten, 2,01 Sekunden (s) zum Auffinden eines Items benötigten. Es zeigt sich hier nur noch ein geringfügiger Unterschied von **1,49 %** zwischen Patienten und Probanden. Die Signifikanz des Unterschiedes wurde mithilfe des nichtparametrischen Wilcoxon Tests überprüft ($p < 0,125$). Somit liegt **kein signifikanter** Unterschied zwischen Probanden und Patienten vor.

4.3.2 Table Test

Die Table Test Daten der Patienten wurden nicht wie anfänglich im Studiendesign geplant mit denen der Probanden verglichen. Es zeigte sich im Verlauf der Studie, dass ein Vergleich aus mehreren Gründen, welche im Diskussionsteil der Methodik des Table Tests erläutert werden, nicht sinnvoll ist.

5 Diskussion

5.1 Methodik Sakkadentrainingssoftware „Four“

Es soll im Folgenden vor allem auf die technischen Details und die Art der Durchführung sowohl von der Seite des Untersuchers als auch des Patienten eingegangen werden.

Die Position des Bildschirms konnte durch die verstellbare Tischplatte gut eingestellt werden. Jedoch sollte der Proband während der gesamten Durchführung der Sitzung einen Abstand von dreißig Zentimeter von seiner Stirn zum Bildschirm des Notebooks einhalten. Dieser wurde vor Beginn mithilfe einer Schnur von dreißig Zentimetern Länge, welche am Notebook befestigt war, kontrolliert. Zusätzlich sollte der Proband seinen Kopf während der gesamten Sitzung nicht bewegen, um Kopfbewegungen zu vermeiden. Die Fixierung des Kopfes und die Einhaltung des Abstandes zum Bildschirm des Notebooks sind zwei Parameter, welche zwar vom Untersucher während der Sitzung kontrolliert worden sind, jedoch auch von der Mitarbeit des Probanden abhängig sind.

Die Einhaltung des Abstandes von dreißig Zentimetern ist wichtig, da die Bestimmung des Nahvisus auf dreißig Zentimeter ausgelegt ist. Bei Abweichungen des Abstandes ist ein optimaler Visus nicht vollständig garantiert und der trainierte Gesichtsfeldbereich ändert sich. Beim Beginn wird der Abstand einmalig wie erwähnt mit einer Schnur kontrolliert. Während der Sitzung überwacht nur der Untersucher mit seiner subjektiven Einschätzung den Abstand und korrigiert ihn nach eigenem Ermessen ggf. mit einer neuen Abstandsmessung. Eine mögliche Verbesserung der Durchführung beinhaltet eine Kopfstütze ähnlich wie bei einer Spalllampenuntersuchung. Mit solch einer Kopfstütze lässt sich der Abstand von dreißig Zentimetern kontinuierlich vom Untersucher – und Probandenunabhängig gewährleisten und der Visus - und somit das trainierte Gesichtsfeld ändern sich nicht.

Eine natürliche Suchaufgabe wird spontan auch mit Hilfe von Kopfbewegungen durchgeführt. Es sollten jedoch Kopfbewegungen vermieden werden, da ausschließlich sakkadische Augenbewegungen durchgeführt werden sollten und Kopfbewegungen Ergebnisse verfälschen können. Durch Kopfbewegungen werden mögliche Defizite der Augenbewegungen ausgeglichen oder Vorteile bei der Durchführung der Suchaufgabe geschaffen, welche beide die Reaktionszeit verringern können. Mit der nahezu vollständigen Fixierung des Kopfes wird auch eine ausschließliche Sakkadenbewegung der Augen erreicht.

Ein weiteres Problem stellt die Nutzung eines Notebooks und deren Eingabeelement „Computermaus“ dar. Es gab Probanden, welche keine bis geringe Erfahrung mit dem Umgang einer Computermaus hatten. Es wurden vor Beginn des Tests einige Screens einer Sitzung der Sakkadentrainingssoftware „Four“ absolviert, um den Ablauf zu erläutern. Eine technikenabhängige Lösung anzubieten ist schwierig. Eine mögliche Lösung könnte ein Touchscreen Bildschirm darstellen, welcher eine intuitive Steuerung der Eingabe am Computer ermöglichen könnte (61).

5.2 Methodik Table Test

Der Test wurde auf einem höhenverstellbaren Tisch durchgeführt. Dies ermöglichte eine korrekte Platzierung der Tischplatte auf der vorgesehenen Höhe in einem Abstand von 33 Zentimetern, welcher mit einem Meterstab überprüft wurde. Dies sollte zur einheitlichen und vergleichbaren Platzierung der Tischplatte beim Probanden dienen. Vor Durchführung des Tests wurde die Tischplatte mit einem Stofftuch abgedeckt. Zusätzlich mussten die Probanden während der Durchführung ihre Augen zwischendurch geschlossen halten und nur während des Suchvorgangs öffnen. Diese beiden Maßnahmen dienen dem Ausschließen eines potenziellen visual Imprinting. Hiermit ist eine Art visuelles Gedächtnis gemeint, dass z. B. durch wiedererkennbare Charakteristika der Gegenstände aktiviert wird und sich so ein bildhaftes Gedächtnis entwickelt. (62, 63). Ein visuelles Imprinting könnte getestete Reaktionszeiten verfälschen,

da sich der Proband vorher bewusst oder unbewusst verschiedene Gegenstände gemerkt haben könnte. Zusätzlich wurde bei allen Probanden eine korrekte Fern - und Nahvisusbestimmung vorgenommen, um den bestmöglichen Visus zu erreichen. Vor Beginn des Tests wurde der Ablauf mit einem Probe- Gegenstand simuliert, damit eventuelle Unsicherheiten des Probanden nicht die ersten Werte verfälschen konnten.

Aufgrund der aktuellen Studie gibt es bei der Durchführung des Table Tests im Nachhinein auch mehrere Verbesserungsmöglichkeiten: Ein Problem während der Durchführung war die von der Mitarbeit des Patienten abhängige nötige Fixierung des Kopfes. Der Proband wurde zwar vor Beginn des Tests aufgeklärt und auch während des Tests daran erinnert, jedoch konnte eine vollständige Fixierung des Kopfes nicht ganz gewährleistet werden. Dies liegt in den spontanen unterbewussten Suchbewegungen des Kopfes. Es spiegelt eine nicht natürliche Haltung des Körpers wider, wenn dieser aufrecht sitzend, mit fixiertem Kopf, einen Gegenstand vor sich suchen soll. Dies könnte die Sakkadenbewegung der Augen verfälschen, indem, durch Kopfbewegungen, mögliche Defizite ausgeglichen werden oder ein Vorteil geschaffen wird, um die Reaktionszeit zu verringern. Eine mögliche Verbesserung der Durchführung beinhaltet eine Kopfstütze, ähnlich bei einer Spalllampenuntersuchung. Mit solch einer Kopfstütze und die damit einhergehende Fixierung könnte eine nahezu vollständige Fixierung des Kopfes und somit eine ausschließliche Sakkadenbewegung der Augen erreicht werden. Ein weiteres Problem stellt die gewählte Messmethode der Reaktionszeit dar. Die Reaktionszeit wurde mithilfe einer Stoppuhr durch den Untersucher gemessen. Hierbei sind zwei mögliche Fehlerquellen zu beachten. Auf der einen Seite liegt die Reaktionszeit des Untersuchers bei etwa 0,2 Sekunden (64). Bei den erhobenen durchschnittlichen Reaktionszeiten von 2,3 Sekunden (Standardabweichung 0,56 Sekunden) bei T1 und 2,0 Sekunden (Standardabweichung 0,5 Sekunden) bei T2, stellt die Reaktionszeit des Untersuchers eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse dar. Auf der anderen Seite ist der vom Untersucher abhängige Start auf das Kommando „Augen auf“ festgelegt und das Ende der Messung auf die Fingerbewegung des Probanden. Diese beiden Zeichen des Probanden,

welche der Untersucher unter Umständen mit Reaktionszeitverzögerungen wahrnimmt und die einer Deutung und Erkennung der jeweiligen Geste von Seite des Untersuchers benötigt, können Messergebnisse wiederum verzerren (64). Eine mögliche, jedoch technisch aufwendige Lösung, könnte eine durch einen mit einem Computer verbundene Kamera sein, welche die Öffnung der Augen registriert. Zum Erkennen der Stoppzeit könnte man die Gegenstände des Tisches mit Sensoren ausstatten, welche bei Berührung durch den Probanden aktiviert werden. Somit könnte zumindest eine untersucherunabhängige Zeitmessung durchgeführt werden. Letztlich bleibt dann noch der probandenabhängige Faktor der Mitarbeit übrig. Je nach körperlichem Zustand oder Grad der Konzentration erfolgen die gezielte Bewegung der Hand zum Objekt und die benötigte Reaktionszeit in unterschiedlicher Geschwindigkeit. Jedoch spiegelt dies wiederum alltagsähnliche Situationen nach, was für Erhebung von Normwerten kein Nachteil sein muss.

Ein Vergleich zwischen Probanden und Patienten des Table Test war hier aus mehreren Gründen nicht sinnvoll: Es wurden vor Beginn des Table Tests in der früheren Studie nicht die Gegenstände abgedeckt. Dies ist ein Faktor der die Vergleichbarkeit mindert. Zudem wurden die Tests von anderen Untersuchern als in unserer Studie durchgeführt. Hierbei spielt wieder die Reaktionszeit des Untersuchers in Abhängigkeit der zu testenden Reaktionszeit eine Rolle. Insgesamt ist der Table Test eine semiquantitative Untersuchung. Zudem ist sie wie oben beschrieben sehr untersucherabhängig. Deshalb war ein Vergleich der hier erhobenen Table Test Daten nicht direkt mit denen der Patienten aus der früheren Studie möglich und sinnvoll.

5.3 Ergebnisse der Probanden

In der Probandengruppe fällt auf, dass sich sowohl in der Sakkadentrainingssoftware „Four“ als auch im Table Test die Probanden von Testzeitpunkt T1 zu Testzeitpunkt T2 jeweils um etwa das gleiche prozentuale Ergebnis verbessern konnten - **Sakkadentrainingssoftware „Four 13,3 % vs. 12,9 % Table Test**. Dies lässt den Rückschluss zu, Dass die Verbesserung beim der Sakkadentrainingssoftware „Four“ sich auch beim Table Test auswirkt.

Es sollte jedoch zunächst die Überlegung angestellt werden, worauf die Leistungssteigerung bei den Probanden beruhen könnte. Patienten haben durch Gesichtsfelddefekte verlorene Leistungsfähigkeit und somit Potenzial welches sie trainieren und somit auch verbessern können (40). Nun stellt sich die Frage, ob gesunde Probanden auch einen tatsächlichen Trainingseffekt aufweisen können, mit einer verbesserten Leistungsfähigkeit oder ob sich der Effekt der Leistungsverbesserung auf andere Ursachen zurückführen lässt, wie z.B. ein Wiederholungseffekt bei aufgabenspezifischen Fragestellungen?

5.3.1 Trainingseffekt, Wiederholungseffekt und Wiedererkennungseffekt

Der **Trainingseffekt** ist definiert durch eine sehr häufige Wiederholung einer bestimmten Handlung und die damit erworbene Fertigkeit und praktische Erfahrung (65). Ein **Wiederholungseffekt** ist von einem Trainingseffekt nicht eindeutig abzugrenzen, da durch häufige Wiederholung ein Trainingseffekt entsteht. Eine einmalige Wiederholung (wie in der hier vorgelegten Studie) ist jedoch ohne die Intention eines Trainings angelegt (66).

Ein **Wiedererkennungseffekt** hingegen ist eine Eigenschaft, als etwas Bekanntes, Vertrautes aufgrund verschiedener Merkmale oder Charakteristika erkannt oder wahrgenommen zu werden (67)

5.3.1.1 Sakkadentrainingssoftware „Four“

Im Gegensatz zu den Patienten, welche ab dem Testzeitpunkt T1 regelmäßige Trainingsintervalle von zwei mal 30 Minuten über 5 Tage pro Woche absolviert haben, fand bei den Probanden zwischen den Testzeitpunkten T1 und T2 kein Training statt. Bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ wurden die Probanden erst genau in das Programm und die Durchführung eingewiesen und anschließend trainierten sie 30 Minuten mit dem Programm zum Testzeitpunkt T1. Zum nächsten Testzeitpunkt T2 lagen ca. 4 Wochen. Nun stellt sich die Frage, ob bei gesunden Probanden durch eine einmalige Wiederholung des Trainings schon ein Trainingseffekt nach 4 Wochen auftritt.

Es ist schwierig, den Wert der Wiedererkennung messbar nachzuvollziehen. In der Werbung wird der Wiedererkennungswert z. B. in Form des corporate designs genutzt und auch gezielt verbessert. Eine Messung findet häufig in Form von entwickelten Tests oder Fragebögen statt (68). Da jedoch die Sakkadentrainingssoftware „Four“ ein sehr einfaches Design hat und ohne den Hintergrund einer Wiedererkennung entwickelt worden ist, sollte man den Effekt der Wiedererkennung nicht überschätzen. Die Klärung der Fragestellung lässt sich nur durch den direkten Vergleich einer länger andauernden Trainingsphase auch in einer Probandengruppe konkret beweisen. In der Konstellation mit je einer einmaligen Trainingssitzung zum Zeitpunkt T1 und T2 ist trotzdem der Großteil der Leistungsverbesserung in dem beschriebenen gewissen Wiederholungseffekt zu sehen. Dieser ist zwar statistisch signifikant, aber nicht unbedingt alltagsrelevant.

5.3.1.2 Table Test

Beim Table Test wurden die Probanden wie bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ genau in die Übung und deren Durchführung zum Testzeitpunkt T1 eingewiesen. Es stellen sich die gleichen Fragen wie bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“, was den genauen Effekt der Leistungssteigerung angeht.

Hier sollte man auch zwischen Wiederholungseffekt und Wiedererkennungseffekt differenzieren. Der Wiederholungseffekt ist schwächer, da die Untersuchungsdauer deutlich unter 30 Minuten liegt, im Vergleich zum Sakkadentrainingsprogramm „Four“. Jedoch könnte hier der Wiedererkennungseffekt im Vergleich eine größere Rolle spielen, da laut der Definition eines Wiedererkennungseffektes die Bekanntheit und die Vertrautheit eine Rolle spielen. Im Table Test wurden alltagsähnliche Gegenstände verwendet. Deshalb könnte die Verbesserung auf die wiederkehrende Bekanntheit und Vertrautheit der Gegenstände begründet sein.

Im Table Test fallen neben der Verbesserung der Leistung zwischen den Trainingszeitpunkten um 12,9 % auch eine unterschiedliche Verteilung der Ergebnisse nach den Quadranten auf, was sich in Abb. 15 deutlich zeigt. In Abb. 16 wurden die Quadranten in die linke und rechte Gesichtsfeldhälfte aufgeteilt. Hierbei fällt auf, dass die Besserung in den linken Quadranten nahezu doppelt so hoch ist wie in den rechten Quadranten.

Warum könnten die linken Quadranten besser abgeschnitten haben als die rechten? Die Händigkeit scheint keine Rolle zu spielen, da der überwiegende Teil der Bevölkerung rechtshändig ist und man einen Vorteil der rechten Seite vermuten würde (69). Auch eine Hand – Augenkoordination würde eher eine Überlegenheit der rechten Seite vermuten lassen. Es könnte die Leserichtung in unserem Kulturkreis von links nach rechts eine Rolle spielen.

In einer älteren Studie wurde die Asymmetrie der Bildwahrnehmung untersucht. Es zeigte sich eine Überlegenheit der linken Seite. Dies wurde zunächst in Verbindung mit der Leserichtung von links nach rechts erklärt. Als Beweis sollten in dieser Studie israelische Studenten, welche eine Leserichtung von rechts nach links haben, hinsichtlich ihrer Bildwahrnehmung untersucht werden. Hierbei zeigte sich überraschenderweise auch eine Überlegenheit der linken Seite unabhängig der Leserichtung. Dies würde einer Theorie der Leserichtung von links nach rechts als Vorteil widersprechen (70). Auch die okuläre Dominanz des rechten Auges mit 64 % scheint keinen funktionellen Vorteil zu

zeigen (71). Warum letztlich die linke Seite im Table Test und in anderen Studien der rechten Seite überlegen ist, bleibt letztlich offen.

5.3.2 Ausblick in der Probandengruppe

Es stellt sich die Frage ob gesunde Probanden auch eine Verbesserung ihrer Leistungsfähigkeit erzielen können. Die Probandengruppe war zwischen 50 und 80 Jahre alt, um einen Vergleich zu der Patientengruppe herzustellen. In dieser Altersgruppe könnte man an Effekte des fortschreitenden Alters und einer physiologisch sinkenden Leistungsfähigkeit denken. Diesem Prozess könnte evtl. durch ein gezieltes Training entgegengewirkt werden.

Durch die nachgewiesene und statistisch signifikante Verbesserung innerhalb der Probandengruppe könnten Übungen, wie etwa der Table Test zur Verbesserung oder zum Erhalt einer räumlichen Orientierung bei fortschreitendem Alter genutzt werden. Man könnte beispielsweise für ältere Verkehrsteilnehmer ein Sakkadentrainingsprogramm entwickeln welches eine Steigerung der Reaktionszeit infolge verbesserter Augenbewegungen darstellen könnte.

5.4 Probandengruppe vs. Patientengruppe

Die Gegenüberstellung der Probanden und der Patienten sollte der Klärung der Frage dienen, in wieweit sich die Reaktionszeiten der Patienten denen der gesunden Probanden durch ein Sakkadentraining annähern können.

5.4.1 Sakkadentrainingssoftware „Four“

Wie in Abb. 21 beschrieben zeigen die Probanden gegenüber den Patienten eine um 78% schnellere Reaktionszeit beim Testzeitpunkt T1. Zum Testzeitpunkt T2 schnitten die Patienten in den Reaktionszeiten gegenüber den Probanden im Gruppenvergleich nahezu identisch ab. Dies stellt einen optimalen Trainingseffekt dar und konnte so eindeutig nicht erwartet werden.

Das Training der Patientengruppe wird der entscheidende Effekt gewesen sein, warum sich die Patienten auf die Werte der gesunden Probanden nahezu angeglichen haben. Im Vergleich zu den gesunden Probanden haben die Patienten über zwei mal 30 Minuten täglich, an 5 Tagen pro Woche über 6 Wochen daheim an einem Computer trainiert. Dies wurde in der Probandengruppe nicht durchgeführt. Das Potenzial an funktioneller Verbesserungsmöglichkeit ist dabei ein wichtiger Faktor. Patienten mit Gesichtsfeldausfällen und daraus resultierenden Einschränkungen haben ein größeres funktionelles Verbesserungspotenzial als gesunde Probanden mit einem normalen Gesichtsfeld.

Des Weiteren ist die Frage der Motivation entscheidend. Ein Patient, welcher im Alltag durch seine HH beeinträchtigt ist, hat im Vergleich zu einem gesunden Probanden natürlich eine sehr viel höhere Motivation einen höchstmöglichen funktionellen Vorteil zu erzielen

5.5 Fazit

Abschließend stellt sich die Frage, wie die Ergebnisse letztendlich zu bewerten sind. Da in mehreren Studien schon gezeigt worden ist, dass ein kompensatorisches Sakkadentraining wirksam ist (31, 36-40) und dies auch als evidenzbasierte Rehabilitationsmethode empfohlen werden kann (4, 31, 39) sollte in dieser Studie ein Vergleich zu einer gesunden Probandengruppe hergestellt werden, mit der Fragestellung, ob Patienten sich bis auf ein Normalniveau verbessern können. In einer anderen früheren Studie wurde ein

ähnlicher Vergleich mit einer einfachen Art von Sakkadentraining (Folgebewegung mit anschließender Sakkade zum Stimulus) und einer sehr kleinen Stichprobengröße von Patienten und Normalpersonen durchgeführt (56). Hierbei zeigte sich nach Abschluss kein Gruppenunterschied mehr. Allerdings ist in dieser Stichprobengröße nur ein Vergleich von sieben Patienten mit sechs Normalpersonen erfolgt. Die Trainingsphase fand nur an einem Tag innerhalb von drei Stunden statt- im Gegensatz zu der Studie von Roth et al mit insgesamt 30 Stunden.

Der Vergleich der Patientengruppe mit der Probandengruppe brachte sehr gute und teils überraschende Ergebnisse hervor. In der Sakkadentrainingssoftware „Four“ konnten sich die Patienten annähernd auf das Niveau der gesunden Probanden verbessern, was ein beeindruckendes Ergebnis darstellt.

Zusätzlich zeigte ein Vergleich innerhalb der Probandengruppe, dass bei gesunden Probanden durch einmalige Wiederholung einer Trainingssitzung bereits Effekte auftreten können. Innerhalb der Probandengruppe fand durch reine Wiederholung eine Verbesserung der Leistung von 13,3 % in der Sakkadentrainingssoftware „Four“ und 12,9 % im Table Test statt. Dies ist ein Effekt, welcher zwar statistisch signifikant, jedoch nicht alltagsrelevant ist.

6 Zusammenfassung

Das kompensatorische Sakkadentraining hat sich in mehreren Studien als wirksame Trainingsmethode zur Verbesserung der räumlichen Orientierungsfähigkeit bei Patienten mit Hemianopsie erwiesen. Ziel dieser Arbeit war es, die Reaktionszeiten von normal sehenden Probanden bei einer standardisierten Suchaufgabe - dem Sakkadentrainingsprogramm „Four“ - ohne Training zu zwei verschiedenen Testzeitpunkten T1 und T2 zu bestimmen, um festzustellen, ob die bei Patienten mit Hemianopsie nachgewiesene Verbesserung der Reaktionszeiten bis auf ein Normalniveau stattfindet. Es sollte ein Vergleich zu Patienten mit homonymer Hemianopsie, welche zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 trainiert hatten, stattfinden (40). Es wurden 28 altersangepasste normal sehende Probanden rekrutiert (Median 65, Jahre KI +/- 7). Diese sollten ohne Training zu den Testzeitpunkten T1 und T2, welche ca. vier Wochen auseinanderlagen, je eine standardisierte Trainingssitzung von 30 Minuten, - identisch mit dem Training bei dem Patientenkollektiv - absolvieren. Hierbei zeigte sich überraschenderweise, dass sich die Patienten nach dem Training zwischen den Testzeitpunkten T1 und T2 nahezu auf die Reaktionszeiten der Normalpersonen annähern. Die Mediane der Reaktionszeiten waren nach dem Training statistisch nicht signifikant verschieden. Außerdem wurden bei der Normalprobandengruppe die Reaktionszeiten beim Sakkadentrainingsprogramm zwischen den beiden Testzeitpunkten T1 und T2 verglichen, mit der Frage, ob nach einmaliger Wiederholung schon ein gewisser Trainingseffekt stattfindet. Dies wurde anhand der Reaktionszeiten bei der Trainingssoftware sowie anhand einer natürlichen Suchaufgabe, dem Table Test, bei dem alltägliche Gegenstände auf einem Tisch gesucht werden müssen, ermittelt. Hierbei zeigten sich bei der Sakkadentrainingssoftware „Four“ und dem Table Test nahezu identische statistisch signifikante Verbesserungen von 13,3 % und 12,9 %. Dies zeigt, dass normal sehende Probanden sich auch ohne Training bei reiner Wiederholung verbessern können. Allerdings ist dieser Effekt nicht alltagsrelevant, da Probanden im Gegensatz zu Patienten keinen funktionellen Vorteil der Verbesserung haben.

7 Literaturverzeichnis

1. Kölmel HW. Die homonymen Hemianopsien - Klinik und Pathophysiologie zentraler Sehstörungen: Springer Verlag; 1988.
2. Trepel M. Neuroanatomie - Struktur und Funktion Elsevier Urban & Fischer; 2008.
3. <http://www.tq8.eu/grafiken/Gesichtsfeld.gif> (Zugriff 15.12.2015)
4. Trauzettel - Klosinski S. Rehabilitation bei Sehbahnschäden Klin Monatsbl Augenheilkd. 2009;226:897-907.
5. Buren MBv. The Architecture of the optic radiation in the temporal lobe of man. Brain - A journal of neurology. 1958;81:15-40.
6. Zhang X, Kedar S, Lynn MJ, Newman NJ, Biousse V. Homonymous hemianopias: clinical-anatomic correlations in 904 cases. Neurology. 2006 Mar 28;66(6):906-10. PubMed PMID: 16567710.
7. Nation U. World Population Prospects - The 2006 Revision. 2006.
8. Zhang Y, Chapman AM, Plested M, Jackson D, Purroy F. The Incidence, Prevalence, and Mortality of Stroke in France, Germany, Italy, Spain, the UK, and the US: A Literature Review. Stroke research and treatment. 2012;2012:436125. PubMed PMID: 22550614. Pubmed Central PMCID: 3329668.
9. R. B. Epidemiology of stroke. Lancet. 1992;339:342 - 4.
10. Ruth Bonita M, PhD, MD; Neil Solomon, MPH, DHA; Joanna B. Broad, BA, MPH. Prevalence of Stroke and Stroke-Related Disability: Estimates From the Auckland Stroke Studies Stroke. 1997;28:1898 - 902.
11. Gilhotra JS. Homonymous Visual Field Defects and Stroke in an Older Population. Stroke. 2002;33(10):2417-20.
12. Malmgren R BJ, Warlow C, Sandercock P, Slattery J. Projecting the number of patients with first ever strokes and patients newly handicapped by stroke in England and Wales. Br Med J. 1989;289:656-60.
13. Michiel L. Bots M, PhD; Sophia J. Looman, MD; Peter J. Koudstaal, MD, PhD; Albert Hofman, MD, PhD; Arno W. Hoes, MD, PhD; Diederick E. Grobbee, MD, PhD. Prevalence of Stroke in the General Population - The Rotterdam study. Stroke. 1996;27:1499 - 501.
14. Feigin VL, Lawes CMM, Bennett DA, Anderson CS. Stroke epidemiology: a review of population-based studies of incidence, prevalence, and case-fatality in the late 20th century. The Lancet Neurology. 2003;2(1):43-53.
15. Giles MF, Rothwell PM. Transient ischaemic attack: clinical relevance, risk prediction and urgency of secondary prevention. Current opinion in neurology. 2009 Feb;22(1):46-53. PubMed PMID: 19155761.
16. Rothwell PM, Coull AJ, Silver LE, Fairhead JF, Giles MF, Lovelock CE, et al. Population-based study of event-rate, incidence, case fatality, and mortality for all acute vascular events in all arterial territories (Oxford Vascular Study). The Lancet. 2005;366(9499):1773-83.
17. Truelsen T, Piechowski-Jozwiak B, Bonita R, Mathers C, Bogousslavsky J, Boysen G. Stroke incidence and prevalence in Europe: a review of available

data. European journal of neurology : the official journal of the European Federation of Neurological Societies. 2006 Jun;13(6):581-98. PubMed PMID: 16796582.

18. U. Schiefer JP, F. Dannheim, P. Artes, W. Hart. Konventionelle Perimetrie. Teil I: Einführung - Grundbegriffe. Der Ophthalmologe. 2005;102:627 - 46.

19. Agnes M.F Wong JAS. A Comparison of Tangent Screen, Goldmann, and Humphrey Perimetry in the Detection and Localization of occipital lesions. Ophthalmology. 2000;107(3):527 - 44.

20. Grehn F. Augenheilkunde: Springer Verlag; 2009. 39 - 45 p.

21. Reinhard J, Schreiber A, Schiefer U, Kasten E, Sabel BA, Kenkel S, et al. Does visual restitution training change absolute homonymous visual field defects? A fundus controlled study. The British journal of ophthalmology. 2005 Jan;89(1):30-5. PubMed PMID: 15615742. Pubmed Central PMCID: 1772456.

22. Trauzettel - Klosinski S RJ. The Vertical Field Border in Hemianopia and its significance for fixation and reading. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1998;39:2177-86.

23. Choplin NT ER. Visual Field Testing with the Humphery Field Analyzer: SLACK Inc.; 1995.

24. Lachenmayer B. Begutachtung in der Augenheilkunde: Springer Verlag; 2008.

25. Goldmann. Grundlagen exakter Perimetrie. Ophthalmologica. 1945;109:57 - 70.

26. (WHO) WHO. International classification of functioning, disability and health (ICF). Geneva2004.

27. Knauer CP, N. Erblindung in Deutschland - Heute und 2030. Der Ophthalmologe : Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft. 2006 Sep;103(9):735-41. PubMed PMID: 16924449. Erblindung in Deutschland--heute und 2030.

28. Trobe JD LM, Schlezinger NS. Isolated homonymous hemianopia. Arch Ophthalmol. 1973;89:377-81.

29. Trauzettel - Klosinski S. Visuelles Rehabilitationstraining bei homonymen Gesichtsfeldausfällen. Der Ophthalmologe : Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft. 2012;109:496-500.

30. Trauzettel - Klosinski S BK. Eye movements in reading with hemianopic field defects: the significance of clinical parameters. Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie. 1998;236:91-102.

31. Wood JM, McGwin G, Jr., Elgin J, Vaphiades MS, Braswell RA, DeCarlo DK, et al. On-road driving performance by persons with hemianopia and quadrantanopia. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2009 Feb;50(2):577-85. PubMed PMID: 18936138. Pubmed Central PMCID: 2745739.

32. Roth TS, A. N. Messias, A. Roth, P. Weller, M. Trauzettel-Klosinski, S. Sakkadentraining verbessert visuelle Exploration bei Hemianopsie. Z prakt Augenheilk. 2009;30:403-10.

33. Kerkhoff G MU, Haaf E et al. . Rehabilitation of homonymous scotoma in patients with postgeniculate damage of the visual system: saccadic compensation training. Restorative Neurology and Neuroscience. 1992;4:245-54.

34. Nelles G EJ, Eckstein A, Tiede A, Gerhard, H DH. Compensatory visual field training for patients with hemianopia after stroke. *Neurosci Lett.* 2001;306:189-92.
35. Zihl J. Visual scanning behaviour in patients with homonymous hemianopia. *Neuropsychologia.* 1995;33:287-303.
36. Bolognini N, Rasi F, Coccia M, Ladavas E. Visual search improvement in hemianopic patients after audio-visual stimulation. *Brain : a journal of neurology.* 2005 Dec;128(Pt 12):2830-42. PubMed PMID: 16219672.
37. Pambakian AL, Mannan SK, Hodgson TL, Kennard C. Saccadic visual search training: a treatment for patients with homonymous hemianopia. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry.* 2004 Oct;75(10):1443-8. PubMed PMID: 15377693. Pubmed Central PMCID: 1738779.
38. Kerkhoff G. Neurovisuelle Rehabilitation nach Hirnschädigung. *Ergotherapie.* 2000;1 (2):53-6.
39. Trauzettel - Klosinski S. Zeitgemäße Möglichkeiten visueller Rehabilitation. *Dtsch Arztebl Int.* 2011;108(51-52):871-8.
40. Roth T, Sokolov AN, Messias A, Roth P, Weller M, Trauzettel-Klosinski S. Comparing explorative saccade and flicker training in hemianopia: a randomized controlled study. *Neurology.* 2009 Jan 27;72(4):324-31. PubMed PMID: 19171828.
41. Keller I, Lefin-Rank G. Improvement of visual search after audiovisual exploration training in hemianopic patients. *Neurorehabilitation and neural repair.* 2010 Sep;24(7):666-73. PubMed PMID: 20810740.
42. Lane AR, Smith DT, Ellison A, Schenk T. Visual exploration training is no better than attention training for treating hemianopia. *Brain : a journal of neurology.* 2010 Jun;133(Pt 6):1717-28. PubMed PMID: 20427519.
43. Kasten E WS, Behrens-Baumann W, . Computer-based training for the treatment of partial blindness. *Nat Med.* 1998;4(9):1083-7.
44. Zihl J vCD. Restitution of visual function in patients with cerebral blindness. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry.* 1979;42:312-22.
45. Balliet R BK, Bach-Y-Rita P,. Visual field rehabilitation in the cortically blind? *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry.* 1985;48:113-1124.
46. Schreiber A, Vonthein R, Reinhard J, Trauzettel-Klosinski S, Connert C, Schiefer U. Effect of visual restitution training on absolute homonymous scotomas. *Neurology.* 2006 Jul 11;67(1):143-5. PubMed PMID: 16832095.
47. Raninen A, Vanni S, Hyvarinen L, Nasanen R. Temporal sensitivity in a hemianopic visual field can be improved by long-term training using flicker stimulation. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry.* 2007 Jan;78(1):66-73. PubMed PMID: 16952915. Pubmed Central PMCID: 2117780.
48. Weiskrantz L. Prime-sight and blindsight. *Consciousness and Cognition* 2002;11 568–81.
49. Pöppel E HR, Frost D. Residual visual function after brain wounds involving the central visual pathways in man. *Nature.* 1973;243:295-6.
50. Cowey A SP. The neurobiology of blindsight. *Trends in Neurosciences.* 1991;4:140-5.
51. Trauzettel - Klosinski S. Rehabilitation for Visual Disorder. *Journal of Neuro-Ophthalmology* 2010;30:73-84.
52. Gottlieb DD AC, Eikenberry J et al. Living with vision loss: independence, driving, and low vision solutions. Atlanta ST: Barthelemy Press; 1996.

53. Bowers AR KK, Peli E., . Community - Based Trial of a Peripheral Prism Visual Field Expansion Device for Hemianopia. Arch Ophthalmol. 2008;126(5):657-64.
54. Pollock A HC, Henderson CA, Angilley J, Dhillon B, Langhorne P, Livingstone K, Munro FA, Orr H, Rowe FJ, Shahani U. Interventions for visual field defects in patients with stroke (Review). TheCochrane Library. 2011 (10).
55. Paul C. Reha-Sehtraining; Therapieleitfaden für Orthoptistinnen. Ravensburg: Praefcke; 1999.
56. Sophie Jacquin-Courtois PMB, Romeo Salemme, Alexander P. Leff, Masud Husain Rapid compensation of visual search strategy in patients with chronic visual field defects. Cortex. 2013;49:994 - 1000.
57. Bernhard Rassow YW. Anschluß von Buchstaben-Optotypen an den Landolt-Ring für verschiedene Bereiche der Sehschärfe. Klin Monatsbl Augenheilkd. 1999;215 (8):119 - 26.
58. Grehn F. Augenheilkunde: Springer Verlag; 2009. 35 p.
59. Tzamalís A, Kynigopoulos M, Chalvatzis N, Dimitrakos S, Schlote T. Association of Ocular Hypotensive Medication Types with Dynamic Contour Tonometry and Goldmann Applanation Tonometry Measurements in a Glaucoma and Ocular Hypertensive Population. Journal of ocular pharmacology and therapeutics : the official journal of the Association for Ocular Pharmacology and Therapeutics. 2012 Oct 15. PubMed PMID: 23066787.
60. Visio Coach. Available from: <http://www.visiocoach.de/>.
61. Przikling GH. Gesucht: Der optimale PC für Ältere: ZDF / Becker Stiftung; 2008. Available from: http://www.becker-stiftung.de/upload/Presseartikel08/September/080918_zdf.de.pdf.
62. Sperling. The information available in brief visual presentations. Psychological Monographs: General and Applied. 1960;74:1 - 29.
63. David G. Myers CG, S. Hoppe-Graff. Myers Psychologie: Springer Verlag; 2008.
64. Mulder T. Das Adaptive Gehirn - Über Bewegung, Bewußtsein und Verhalten: Thieme Verlag; 2005.
65. Duden. Definition Übung (Training).
66. Duden. Definition Repetition (Wiederholung).
67. Duden. Definition Wiedererkennungswert.
68. Wirtschaftslexikon G. Definiton corporate design.
69. Coren S. PC. Fifty centuries of right-handedness: the historical record. Science. 1977;198:631-2.
70. Lila G, Braine. Assymetrie of pattern perception observed in israelis. Neuropsychologia. 1968;6:73 - 88.
71. Jensen BH HA, Amin FM, Larsson HB, Ashina M. Structural asymmetry of cortical visual areas is related to ocular dominance. NeuroReport. 2015;26:1071-76.

8 Erklärungen zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde der Sehbehindertenambulanz der Augenklinik der Universität Tübingen unter Betreuung von Prof. S. Trauzettel – Klosinski durchgeführt.

Die Konzeption und Supervision der Studie erfolgte durch Prof. S. Trauzettel – Klosinski.

Sowohl das Sakkadentrainingsprogramm als auch der Table Test wurden überwiegend von mir selbst, gelegentlich auch von den beiden Orthoptistinnen Angelika Cordey und Claudia Gehrlich durchgeführt. Die augenärztlichen Untersuchungen wurden von Frau Dr. Altpeter und Frau Prof. Dr. Nhung durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch das Institut für Biometrie der Universität Tübingen durch Prof. P. Martus durch mich.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Ravensburg, den 14.02.2016

Alexander Hermann Keßler

9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Frau Prof. Trauzettel – Klosinski für die Bereitstellung des Themas, die stetige Motivation, die Geduld und die sehr gute Betreuung bedanken!

Zusätzlich möchte ich allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen in der Sehbehindertenambulanz von ganzem Herzen für die Unterstützung und Hilfe in jeglichen Situationen danken!

Für die sehr hilfreiche statistische Beratung möchte ich mich speziell bei Herrn Prof. Martus und seinem Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen bedanken!

Ganz besonders jedoch danke ich meiner Mutter für deren bedingungslose Unterstützung in jeglicher Form während meines bisherigen Lebensweges, welcher in der Form ohne sie nicht möglich gewesen wäre!

10 Lebenslauf

Name	Alexander Hermann Keßler
Geburtsdatum	16. März 1984
Geburtsort	Ravensburg
Familienstand	ledig

Schulbildung

2000 – 2003	Wirtschaftsgymnasium Ravensburg
1994 – 2000	Realschule des BZ St. Konrad Ravensburg

Zivildienst

2003 – 2004	DRK Rettungsdienst Ravensburg
-------------	-------------------------------

Studium

2014	Approbation als Arzt 22. Juli 2014
2014	2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung 15.05.2014
2010 – 2014	Medizin Universität Tübingen
2010	1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung 25.03.2010
2008 – 2010	Medizin Universität Tübingen
2004 – 2005	Pädagogische Hochschule Weingarten

Praktisches Jahr

10 / 2013 – 01 / 2014	Chirurgie, Kreiskrankenhaus Sigmaringen
07 – 10 / 2013	Anästhesie, Kreiskrankenhaus Sigmaringen
02 - 06 / 2013	Innere Medizin, Kreiskrankenhaus Sigmaringen

Beruf

Seit 09 / 2014

Assistenzarzt, Klinik für Gastroenterologie,
Onkologie, Endokrinologie und Diabetologie des
Klinikums Friedrichshafen

Seit 07/ 2006

Rettungsassistent Johanniter Unfall Hilfe