

Aus dem  
Department für Augenheilkunde Tübingen  
Forschungsinstitut für Augenheilkunde

**Lesen in vertikaler Textorientierung bei homonymer  
Hemianopsie – eine Trainingsstudie**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Kabisch, Paul Niklas**

**2023**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professorin Dr. S. Trauzettel-Klosinski

2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. J. C. Marquetand

Tag der Disputation: 08.11.2023

## **Inhalt**

Abbildungsverzeichnis .....	3
Tabellenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis .....	6
1. Einleitung .....	7
Grundlagen.....	8
Die Sehbahn .....	8
Das Gesichtsfeld.....	9
Die homonyme Hemianopsie: .....	10
Der Lesevorgang .....	13
Die Auswirkung der homonymen Hemianopsie .....	15
Das Lesen in vertikaler Textorientierung .....	17
Aktueller Stand der Forschung.....	20
2. Methode.....	24
Pilotstudie „Vertikal Lesen bei Gesunden“.....	24
Studiendesign .....	26
Einschlusskriterien: .....	27
Ausschlusskriterien: .....	27
Das Studienkollektiv .....	27
Zeitlicher Ablauf der Studie.....	29
Die Untersuchungen.....	30
Die Messung der Lesegeschwindigkeit.....	32
Die Radner Lesetafeln.....	33
Der Montreal Cognitive Assessment Test: MoCA.....	34
Das Lesetraining.....	35
Die Eyetracking Untersuchung .....	37
Das Scanning Laser Ophthalmoskop .....	41
Der Impact of Vision Impairment Test (IVI) .....	45
Statistische Auswertung .....	45
3. Ergebnisse .....	47
Lesegeschwindigkeit (IREST) .....	48
Einzelverläufe der Profiteure .....	51

Subjektive Rückmeldung zum Training.....	52
Eyetracking .....	53
Schätzung makuläre Aussparung .....	57
SLO .....	58
Auswertung des häuslichen Lesetrainings .....	60
MoCA Test.....	64
Impact of Vision Impairment .....	64
Subjektive Rückmeldung .....	65
Zusammenfassung der Ergebnisse .....	66
4. Diskussion .....	67
Diskussion der Ergebnisse und Methoden .....	67
Lesegeschwindigkeit im IReST (gedruckter Text) .....	67
Eyetracking .....	69
Makuläre Aussparung .....	70
SKread.....	71
Lesetraining zuhause.....	72
MoCA.....	72
IVI.....	73
Subjektive Rückmeldung .....	73
Diskussion der Grundannahme der Arbeit:.....	73
5. Zusammenfassung.....	75
Instruktive Einzelverläufe .....	76
Das Kollektiv .....	78
Ausblick .....	79
6. Literaturverzeichnis.....	83
7. Erklärung zum Eigenanteil.....	89
8. Veröffentlichungen.....	90
9. Anhang .....	91
Untersuchungsplan .....	91
Checkliste Untersuchung T1 .....	92
Anleitung Lesetraining.....	94

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Copyright 1999 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg .....	8
Abbildung 2 Schematisch: Foveales Gesichtsfeld(schwarz), Fixationsort (+), erweitertes Perzeptionsareal beim gewandten Leser (unterbrochene Linie).....	10
Abbildung 3: Darstellung der vertikalen Textorientierung im Deutschen: marque links(Variante eins), rotiert rechts (Variante zwei). .....	18
Abbildung 4: Veranschaulichung Textrotation und resultierende Leserichtung: hier von oben nach unten, „abwärts“ .....	19
Abbildung 5: Veranschaulichung Textrotation und resultierende Leserichtung: hier von unten nach oben, „aufwärts“ .....	19
Abbildung 6 Schematische Darstellung der Probandengewinnung und des zeitlichen Ablaufes der vorliegenden Studie. ....	26
Abbildung 7: Alter, Lesegeschwindigkeit(IReST) und kognitiver Status (MoCA) zu Studienbeginn, aufgeteilt nach Studiengruppe. ....	29
Abbildung 8: Screenshot aus dem Verwendeten Lesetraining. Textzeile mit Textrotation von 0° und unterlegt mit schwarzem Balken zur vereinfachten Orientierung. ....	37
Abbildung 9: Vermessung des Monitors der bei der Eyetracking Untersuchung zur Anwendung kam. (NEC MultiSync FE991SB Röhrenbildschirm).....	38
Abbildung 10: Beispiel Lesekurve im Eyetracking, Screenshot aus JazzManager (Ober Consulting). Position des Auges auf der Y-Achse, aufgetragen über die Zeit. Vorwärtssakkaden (Pfeil von oben), Rückwärtssakkaden (Pfeil von Unten), Zeilenrücksprung (Kasten) AddToReturnSweep (Kreis). Fixation: Zeit zwischen zwei Augenbewegungen. ....	40
Abbildung 11: Fundusaufnahme aus SLO, ein Text aus der durchgeführten Leseuntersuchung ist auf den Fundus projiziert. Der Text erscheint für den Untersucher in der Horizontalen gespiegelt, für den Probanden damit aber regelrechte lesbar.....	42
Abbildung 12 Links: Bild aus laufender SLO-Mikroperimetrie: Fundus mit Fixationskreuz und Stimulus. Rechts: Fundus mit senkrechtem Text zur Leseuntersuchung.....	43
Abbildung 13: Lesegeschwindigkeit IReST senkrecht, Gruppe A zu T1-3, signifikante Verbesserung von T1 nach T2 ( $p = 0.007$ ), die bei T3 erhalten bleibt .....	48
Abbildung 14: IReST Lesegeschwindigkeit horizontal, Gesamtkollektiv zu T1-3, die mediane Lesegeschwindigkeit nimmt von 112 wpm auf 125 wpm statistisch signifikant zu ( $p = 0,014$ ). 49	
Abbildung 15: IReST Lesegeschwindigkeit horizontal zu T1-3, geteilt nach Trainingsgruppe. Gruppe B mit statistisch signifikanter Geschwindigkeitszunahme von T1 auf T2 ( $p = 0.014$ ) ....	50
Abbildung 16: Differenz der vertikalen und horizontalen Lesegeschwindigkeit zu den Untersuchungszeitpunkten T1-3, jeweils den einzelnen Probanden zugeordnet. Probanden 11, 20, 112 und 114	zeigen
die erhoffte zeitliche Entwicklung.	51
Abbildung 17: Die vertikale und horizontale Lesegeschwindigkeit der vier Probanden, aufgetragen nach Untersuchungszeitpunkt. Gleiche Farben stellen jeweils einen Probanden dar, die unterbrochene Linie dabei die horizontale, die durchgezogene die vertikale Lesegeschwindigkeit. Detaillierte Erläuterungen siehe „Instruktive Einzelverläufe“ .....	52

Abbildung 18: Lesekurve Ober Eyetracking: der Proband liest 4 Zeilen, in der zweiten Zeile sind dabei mehrere Regressionen nötig, bei den Zeilenrücksprüngen Nummer 1 und 3 zeigt der Proband einen „Add-to-Return-Sweep“ (Kreis) .....	53
Abbildung 19: Anzahl der Sakkaden in Leserichtung zu T1 und T2 bei horizontalem Lesen, aufgeteilt nach Seite des Gesichtsfeldausfalls. Der Unterschied bei den Probanden mit rechtsseitiger Hemianopsie zeigt keine statistische Signifikanz ( $p > 0.05$ ) .....	54
Abbildung 20: Sakkaden gegen die Leserichtung (Rückwärtssakkaden) zu T1 und T2 bei horizontalem Lesen, geteilt nach Trainingsgruppe. Kein signifikanter Unterschied ( $p > 0.05$ ) ..	55
Abbildung 21: Anzahl der „Add-to-Return-Sweeps“ zu T1 und T2 bei horizontalem Lesen, geteilt nach Seite des Gesichtsfeldausfalls. Kein signifikanter Unterschied. ( $p > 0.05$ ).....	56
Abbildung 22: Fixationszeit im Mittel zu T1 und T2 bei horizontalem Lesen, geteilt nach Seite des Gesichtsfeldausfalls. Fixationszeiten bei T2 reduziert, keine statistische Signifikanz ( $p > 0.05$ ) .....	57
Abbildung 23: Abbildung aus SLO Mikroperimetrie: Augenhintergrund mit Überlagerung des 1° Rasters der Mikroperimetrie.....	58
Abbildung 24: SLO-Mikroperimetrie, ½ Grad Raster, linke und rechte Seite desselben Probanden, Untersuchung der zentralen 5 Sehgrad in Richtung des Ausfalls und 2° zur Gegenseite. ....	59
Abbildung 25: Dargestellt ist die tatsächliche Trainingszeit der Probanden in % von einem Soll von 1200 Minuten. (Gruppe A Median: 92,21%, min-max: 70,7-163,6%; Gruppe B Median: 105,21% min-max: 60-133,5% kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p > 0.05$ ). .....	61
Abbildung 26: Lesegeschwindigkeit, Aufgezeichnet von den Trainingsprogrammen, gemittelt über die ersten und letzten drei Trainingstage. Dabei ist die Lesereichtung gruppenabhängig: Vertikal für A, horizontal für B. Steigerung der Lesegeschwindigkeit von 72,9wpm auf 103,35wpm in Gruppe A statistisch signifikant ( $p = 0,002$ ), in Gruppe B von 126,7wpm auf 148,7 knapp grenzwertig mit $p = 0,052$ . ....	62
Abbildung 27: Lesegeschwindigkeit vertikal der Gruppe A: im IReST, verglichen zur berechneten Lesegeschwindigkeit, gemittelt über die drei ersten und die drei letzten Trainingstage. Zur Illustration, keine weitere statist. Auswertung.....	63
Abbildung 28: Lesegeschwindigkeit horizontal der Gruppe B: im IReST, verglichen zur berechneten Lesegeschwindigkeit, gemittelt über die drei ersten und die drei letzten Trainingstage.....	63
Abbildung 29: Ergebnisse des MoCA Tests zu T1 bis T3 keine signifikante Änderung im Studienverlauf ( $p > 0.05$ ).....	64
Abbildung 30: IVI Score T1-T3, signifikante Verbesserung in der Gesamtgruppe von T1-T2 ( $p=0,006$ ). T1-T3 ( $p=0,000$ ).....	65

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Ergebnisse der „Pilotstudie senkrecht Lesen“ an Gesunden. Aufgetragen sind für jeden Probanden die präferierte Leserichtung beim vertikalen Lesen, so eine Präferenz besteht. Dann Mittelwert und Standardabweichung für die benötigte Lesezeit abwärts und aufwärts. Die schnellste vertikale Lesezeit, die horizontale Lesezeit sowie das Verhältnis dieser beiden. Schließlich die subjektive Verbesserung über den Studienverlauf und die Verminderung der benötigten Lesezeit nach Leserichtung. MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung, aufgeteilt nach Leserichtung. tmin: schnellste Lesezeit für 3 Buchseiten in horizontaler und vertikaler Orientierung. t(hor)/t(vert) Verhältnis der schnellsten Lesezeit in horizontaler und vertikaler Richtung; subjektiv: subjektiver Eindruck der Verbesserung der Leseleistung in senkrechter Richtung; $\Delta$ (rel): relative Verbesserung der Lesezeiten über den Trainingsverlauf. [mm:ss]: in Minuten und Sekunden. ....	24
Tabelle 2: demographische und klinische Daten der Probanden. Mittelwert (SD; min-max), $\Delta$ : Signifikanter Gruppenunterschied? IReST T1: Lesegeschwindigkeit von gedrucktem Text bei Erstuntersuchung. MoCA: Score im Montreal Cognitive Assessment Test. [a: Jahre. N: Anzahl. Wpm: Wörter pro Minute].....	28
Tabelle 3: Zusammenfassung der statistischen Daten. A/B: Gruppe A, vertikales Training. Gruppe B, horizontales Training. HH: Homonyme Hemianopsie mit Gesichtsfeldausfall nach rechts/links. Training zu Hause: mediane Lesegeschwindigkeit der ersten drei Trainingstage (unter T1) und der letzten drei Trainingstage (unter T2). $\Delta$ : Signifikanter Unterschied? W: post-hoc Wilcoxon Test. F: Friedmann Test. Sonst: T-Test, paarweise. Keine Bonferroni-Korrektur notwendig bei drei Untersuchungszeitpunkten.....	47
Tabelle 4: Korrelationstabelle nach Pearson. Buchst.hor_T1-T3: sichtbare Buchstaben in Richtung des Gesichtsfeldausfalls im Rahmen der klinischen Untersuchung. Buchst.SLOhor_T1-T3: wie vorheriges, allerdings im Rahmen der SLO-Untersuchung unter Funduskontrolle (Kontrolle der Fixationsgenauigkeit). Mikroperimetrie: Ergebnis der detaillierten SLO-Mikroperimetrie in Sehgrad. Starke Korrelation zwischen zusammenhängenden klinischen Ergebnissen. Keine Korrelation zu SLO-Mikroperimetrie. ....	59

## Abkürzungsverzeichnis

CGL	Corpus geniculatum laterale
HA	Hemianopsie
HH	Homonyme Hemianopsie
IR	Infrarot
IReST	International Reading Speed Test
IVI	Impact of Vision Impairment
LG	Lesegeschwindigkeit
MCI	Mild Cognitive Impairment
MoCA	Montreal Cognitive Assessment
OKN	Optokinetischer Nystagmus
Pt	Punkt, Schriftgröße.
RSVP	Rapid Serial Visual Presentation
SD	Standabweichung
SKread	Smith-Kettlewell Reading Test
SLO	Scanning-Laser Ophthalmoskop
T1-3	Untersuchungszeitpunkte 1-3
Wpm	Wörter pro Minute

## **1. Einleitung**

Gerade bei Patienten mit homonymer Hemianopsie und Ausfall der rechten Gesichtsfeldhälfte, behindert der Gesichtsfeldausfall beim Lesen ständig die Erfassung der kommenden Zeichen und damit auch die Planung der nächsten Augenbewegung. Durch Rotation des Textes kann dieser Effekt theoretisch umgangen werden. Da auf der vertikalen Achse keine Einschränkungen vorliegen, hat der Patient so ein größeres Gesichtsfeld in Leserichtung zur Verfügung und sollte damit komfortabler und schneller lesen können.

Zur Überprüfung dieser These wurde Probanden mit Hemianopsie ein Trainingsprogramm auferlegt, das aus täglichem Üben am Computer bestand, und der Vergleich zu einem Kontrolltraining gezogen.

Mit einigen zusätzlichen Untersuchungen sollte außerdem der vorherrschende Mechanismus, der einem eventuellen Trainingseffekt zugrunde liegt, genauer analysiert, sowie Lesebefunde aus früheren Studien dieser Abteilung überprüft werden. Zu diesem Zweck wurden die Leseaugenbewegungen der Probanden per Eyetracking mit einem Infrarot Limbus Eyetracker und einem Scanning-Laser-Ophthalmoskop untersucht. Durch einen Vergleich mit den apparativen Untersuchungen sollte zudem eine einfache, klinische Methode zur Abschätzung des Gesichtsfeldes überprüft werden.

Ziel der vorliegenden randomisierten, kontrollierten Studie ist es, ein computergestütztes Lesetraining für Patienten mit hemianoper Lesestörung zu erproben und die Wirksamkeit der Methode zu evaluieren.

Um Patienten mit persistierender homonymer Hemianopsie eine Verbesserung ihrer Lesefähigkeit zu ermöglichen, soll erstmals in einer randomisierten, kontrollierten Studie überprüft werden, ob durch Rotation des Textes um 90 Grad, mit oder entgegen dem Uhrzeigersinn, das Lesegesichtsfeld maximiert, und damit die Lesefähigkeit verbessert werden kann.

Erste Ergebnisse aus der vorliegenden Arbeit wurden bereits in „Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology“ publiziert [1].

## Grundlagen

### Die Sehbahn

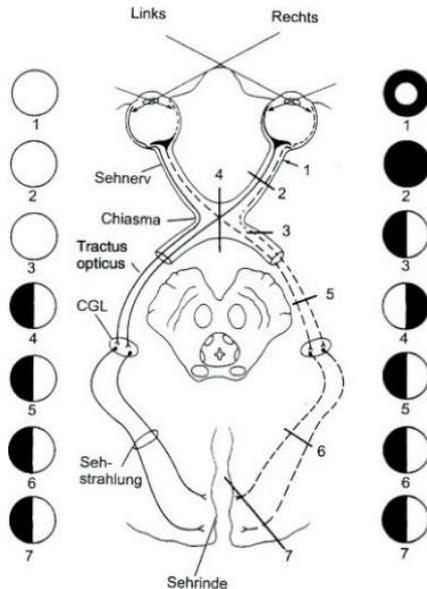


Abbildung 1 Copyright 1999 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Verlauf der Sehbahn und Darstellung der Gesichtsfeldeinschränkung in Abhängigkeit der Höhe der Schädigung, mit freundlicher Genehmigung von Spektrum Akademischer Verlag.

Die Sehbahn beginnt mit den Retinae, wo die Lichtreize aufgenommen und in Membranpotentiale umgewandelt und bereits in der Retina zweimal neuronal umgeschaltet werden. Die Signalweiterleitung besorgen die beiden Nervi optici, die sich im Chiasma opticum treffen. Hier kreuzen die Bahnen teilweise, die Informationen aus den nasalen Netzhautabschnitten, also den temporalen Gesichtsfeldanteilen, führen zur Gegenseite. Von dort erfolgt die Informationsweiterleitung in den Tracti optici, die nun jeweils die Sehinformation aus der nasalen kontralateralen, sowie dem temporalen ipsilateralen Netzhauthälfte zum Corpus geniculatum laterale (CGL, siehe Abb. 1) führen. Hier wird auf das vierte Neuron der Sehbahn umgeschaltet. Die Sehstrahlung projiziert nun weiter in die Area striata des visuellen Kortex, im ipsilateralen Okzipitallappen. Für einige unbewusste Vorgänge, die mit der Lichtwahrnehmung in Verbindung stehen, (circadiane Rhythmik, Steuerung der Augenbewegungen,

Pupillenbewegung, Akkommodation, Verbindung zu vestibulären Organen) zieht bereits vor Erreichen des Corpus geniculatum laterale ein kleiner Teil der Nervenbahnen in Richtung Hypothalamus und Hirnstamm.

### **Das Gesichtsfeld**

Das Gesichtsfeld eines Auges hat ungefähr querovale Form und reicht vom Zentrum  $100^\circ$  nach temporal und  $60^\circ$  nach nasal, sowie von der Mittellinie  $60^\circ$  nach oben und  $70^\circ$  nach unten. Das Zentrum des Gesichtsfeldes ist dabei definiert durch den Ort der Fixation, der beim Gesunden der Gesichtsfeldanteil mit dem größten räumlichen Auflösungsvermögen darstellt. Wie aus den Zahlenwerten für die Gesichtsfeldabmessungen hervorgeht, sitzt dieser Punkt allerdings leicht nasal-oberhalb des geometrischen Mittelpunktes desselben.

Jeweils temporal und leicht unterhalb des Zentrums liegt im Abstand von  $12^\circ$  der blinde Fleck, ein anatomisch bedingtes, physiologisches Skotom: Es entspricht dem Bereich der Netzhaut, in dem der Sehnerv das Auge verlässt und daher keine Fotorezeptoren sitzen. Die Sehschärfe nimmt von zentral nach peripher exponentiell ab [2]. Wie oben beschrieben, und in Abbildung 1 plastisch dargestellt, laufen die Informationen eines Auges zunächst im ipsilateralen Nervus opticus. Im Chiasma opticum kreuzt ein Teil der Bahnen des Nervus opticus zur Gegenseite. Ab diesem Punkt führt der Tractus opticus links die komplette Information des rechtsseitigen Gesamtgesichtsfeldes, während Information über die linke Hälfte des Gesichtsfeldes über den rechten Tractus opticus der Weiterverarbeitung entgegenläuft.

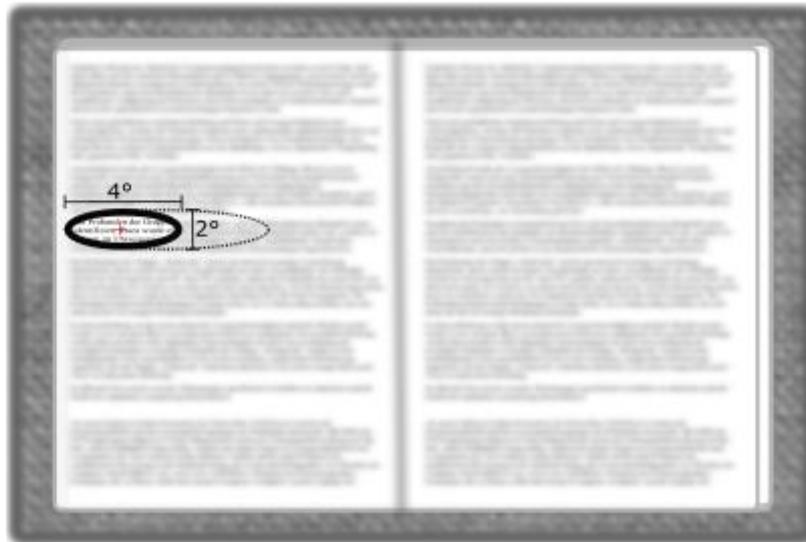


Abbildung 2 Schematisch: Foveales Gesichtsfeld(schwarz), Fixationsort (+), erweitertes Perzeptionsareal beim gewandten Leser (unterbrochene Linie).

Das Lesegesichtsfeld umfasst nach Aulhorn eine Region von ovaler Form mit einem Durchmesser von mindestens  $4^\circ$  in der Horizontalen und  $2^\circ$  in der Vertikalen und dem Fixationspunkt im Zentrum, in der die maximale räumliche Auflösung für Buchstabenerkennung erzielt werden kann[3]. Ähnlich ist auch der Buchstabenerkennungsbereich oder die „visual span“ bei Legge beschrieben[4].

Zusätzlich kann das Perzeptionsareal bei geübten Lesern in Leserichtung auf bis zu  $5^\circ$  oder 15 Buchstaben erweitert werden[5]. Die parafoveale Peripherie wird als Perzeptionsareal für Informationen zur Orientierung im Textblock genutzt, und kann ebenfalls schon einen Eindruck von den kommenden Zeichen vermitteln, auch wenn diese nicht scharf gesehen werden.

### **Die homonyme Hemianopsie:**

Durch vollständige oder teilweise Unterbrechung der Sehbahn entstehen unterschiedliche, für die Lokalisation der Schädigung spezifische, Störungsbilder (siehe Abbildung 1):

Eine vollständige Unterbrechung auf Höhe des Nervus opticus (prächiasmal) führt, wie ein Funktionsverlust der Photorezeptoren oder andere retinale Defekte auch, zur

Blindheit des betroffenen Auges (Abb.1; 1). Eine chiasmale Läsion wiederum betrifft die Signale aus den nasalen Netzhautbereichen beider Augen, was sich als heteronyme, bi-temporale Hemianopsie äußert (Abb.1; 4). Bei einer postchiasmalen Unterbrechung des Tractus opticus, der Radiatio optica oder einem Defekt des primären visuellen Kortex (Abb.1;5-7) kommt es zu einem Informationsverlust, sowohl aus dem ipsilateral temporalen, wie aus dem kontralateral nasalen Netzhautareal. Damit fehlt die Information aus dem gesamten kontralateralen Gesichtsfeld, es zeigt sich das Vollbild einer homonymen Hemianopsie zur Gegenseite.

All die genannten Schädigungen treten nicht nur in der beschriebenen Maximalform, sondern in allen möglichen Abstufungen, sowie kombiniert, auf. Gerade im primären visuellen Kortex können Ischämien und Blutungen sehr unterschiedliche Schädigungsmuster und damit entsprechend variable Symptome erzeugen. So kommen Quadrantenausfälle und Aussparungen bei größeren Gesichtsfelddefekten in verschiedensten Ausprägungen vor, oder bei partieller Sehnervenschädigung unterschiedlich große und konfigurierte Skotome. Eine solche, teilweise Schädigung stellt auch den pathophysiologischen Hintergrund einer Hemianopsie mit makularer Aussparung dar (s.u.), von der in dieser Arbeit noch die Rede sein wird:

Bei einigen Patienten mit vollständiger homonymer Hemianopsie, ist ein Bereich des zentralen Gesichtsfeldes von 2-5° [6], gelegentlich bis 10°[7] im blinden Halbfeld erhalten geblieben. Diese spezielle Situation ist nach aktueller Vorstellung dadurch möglich, dass die okzipitale Region, in die Informationen aus der Makula projizieren, teilweise eine doppelte Blutversorgung über die Arteria cerebri posterior sowie cerebri media aufweist. Eine alternative Erklärung, nach der das zentrale Sehen eines Auges jeweils in beiden Hemisphären repräsentiert sein könnte, scheint unzutreffend zu sein.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird „makulare Aussparung“ als Terminus für erhaltene Gesichtsfeldanteile genutzt, die auf der horizontalen Mittellinie vom Zentrum aus in das Halbseiten-Skotom hineinreichen. Wie unten beschrieben, wurden Aussparungen größer 5° als Ausschlusskriterium definiert.

Neben den rein sensorischen Defekten, können auch die sekundäre Sehrinde, die die primäre umgibt und für die Weiterverarbeitung der erhaltenen Signale zuständig ist,

oder in der Weiterverarbeitung noch höher liegende Zentren Schaden nehmen, wodurch sich Agnosien, Alexien und (Hemi-) Neglect entwickeln können. Agnosie beschreibt eine Gruppe von Störungen, bei denen Sinneswahrnehmungen in ihrer Weiterverarbeitung gestört sind und so beispielsweise gesehene Gegenstände nicht mehr benannt werden können. Eine Unterform ist die Alexie, eine Agnosie von geschriebener Sprache im Sinne einer Lesestörung, die die Erkennung und Entschlüsselung von Schrift unmöglich macht. Bei einem Neglect ist nicht nur die sensorische Verarbeitung gestört, zusätzlich erhält die betroffene Körperregion keinerlei Aufmerksamkeit, sodass zum Beispiel die gesamte linke Körperhälfte ignoriert und nicht mehr verwendet wird. Auch ohne Gesichtsfelddefekt wird dann in der linken Gesichtsfeldhälfte nichts mehr wahrgenommen. Auch kann beispielsweise der Arm funktionslos sein, obwohl die motorischen Bahnen und Muskeln unbeeinträchtigt sind.

Zu den alltagsrelevanten Problemen der Patienten mit vollständiger Hemianopsie gehören vor allem massive Einschränkungen der Orientierung, sowie die hier zu behandelnde hemianope Lesestörung. Das Verhältnis dieser Einschränkungen zueinander unterscheidet sich von Patient zu Patient: So kann eine große makuläre Aussparung ein nahezu problemloses Lesen ermöglichen, die visuelle Orientierung in der Umwelt aber massiv gestört sein. Ein kleiner, zentrumsnaher Gesichtsfeldausfall kann demgegenüber das Lesen geradezu unmöglich machen, bei vollständig erhaltenem peripherem Gesichtsfeld aber mit verhältnismäßig geringen Einschränkungen in der Orientierung einhergehen [8].

Erwähnt sei in diesem Zusammenhang noch, dass das Führen von Kraftfahrzeugen jeder Art an ein intaktes binokulares Gesichtsfeld von mindestens 120° und ein unauffälliges zentrales Gesichtsfeld (Vgl. 1.2.2 der Anlage 6 (zu §§12, 48 Absatz 4 und 5) der Fahrerlaubnis-Verordnung-FeV) gekoppelt ist. Die Mehrheit der Patienten erreicht dies nicht, sodass sie ihre Fahrerlaubnis und damit einen großen Teil ihrer Selbständigkeit verlieren.

Die Hauptursache für eine homonyme Hemianopsie stellen Schlaganfälle im Bereich der primären Sehrinde dar, gefolgt von der Sehstrahlung und dem Tractus opticus [9]. Auch Tumore und Traumata sind häufige Auslöser von Schäden in den beschriebenen Lokalisationen, insbesondere bei jüngeren Patienten. In den Monaten nach dem

auslösenden Ereignis kann es, durch nur temporär geschädigte Neurone, sowie neuronale Plastizität, noch zu einer Erholung des Gesichtsfeldes kommen, nach circa sechs Monaten sind diese Effekte jedoch erschöpft und das Gesichtsfeld bleibt von nun an in der Regel stabil[10]. Hier setzen daher auch in der Regel die Studien zu Rehabilitationstechniken an, um die Verfälschung der Studiendaten durch Spontanremission möglichst zu minimieren. Therapeutisch sollte die Rehabilitation allerdings - für maximalen Effekt - möglichst früh nach Diagnosestellung erfolgen. Wichtig zu bemerken ist zudem, dass bei 50-60% der Probanden mit homonymer Hemianopsie zusätzliche neurologische Funktionsstörungen vorliegen [9].

### **Der Lesevorgang**

Der physiologische Lesevorgang lässt sich - stark vereinfacht - in zwei Teilaspekte gliedern:

Zum einen müssen die Augen koordiniert über den Text bewegt und die enthaltene Information aufgenommen werden, zum anderen muss die aufgenommene Information weiterverarbeitet und zu einem sinnvollen Gesamtkonstrukt zusammengefügt werden. Beide Teile beeinflussen sich dabei auf komplexe Weise gegenseitig.

In der Folge soll zunächst ein theoretisch perfekter Lesevorgang beschrieben werden, wobei die, in der Abteilung des Autors übliche, starke Vereinfachung der komplexen Vorgänge rund um Lesen und Verstehen, zur Anwendung gebracht werden. Die Betrachtung des Lesevorgangs konzentriert sich dabei auf die Aufnahme des visuellen Eindrucks, als einem wichtigen Teil des Lesevorgangs. Außen vor bleiben dabei die höherliegenden, sinngebenden und konstruktiven Anteile des Lesevorgangs.

Die Augen wandern in möglichst wenigen, gezielten und schnellen Bewegungen in Leserichtung die Zeile entlang und vollführen am Zeilenende einen einzigen, schnellen Rücksprung zum Beginn der nächsten Zeile. Diese sehr schnellen Augenbewegungen hin zu einem Ziel werden als Sakkaden bezeichnet. Zwischen den Sakkaden liegt eine möglichst kurze Fixationszeit, die das Gehirn dazu benötigt, die „gesehenen“ Formen in Wörter zu übersetzen. Parallel zum „mechanischen“ Lesevorgang der reinen Worterkennung, muss der Leser zudem das Gelesene grammatikalisch und inhaltlich verarbeiten. Auch dieser Teil des Lesevorgangs läuft sicherlich nicht in völliger

Unabhängigkeit zu den Augenbewegungen und insbesondere auch zur Planung der weiteren Lese-Sakkaden ab und liefert damit sicherlich ebenfalls einen Beitrag zur absoluten Lesegeschwindigkeit. Da diese Vorgänge aber noch nicht hinreichend verstanden sind, wird zur Bearbeitung des Studiengegenstandes eine starke Vereinfachung notwendig:

Danach bestimmen folgende beiden, messbaren Anteile die Lesegeschwindigkeit: Möglichst wenige und gut gezielte Sakkaden in Verbindung mit einer möglichst schnellen Worterkennung und damit möglichst kurzen Haltezeiten zwischen den Sakkaden, ergeben die maximale Lesegeschwindigkeit. Als Maß für die Lesegeschwindigkeit, wird in der vorliegenden Studie die Anzahl der gelesenen Wörter pro Minute verwendet (wpm).

Wie viele Sakkaden ein Leser für einen Text benötigt, hängt entscheidend von dessen verfügbarem Perzeptionsareal während der Fixation ab [11]. Dabei hat sich gezeigt, dass zur effektiven Erkennung von Wörtern nicht jeder einzelne Buchstabe angeschaut und identifiziert werden muss[5]. Vielmehr kann der Leser alle Zeichen, die innerhalb dieses Perzeptionsareals liegen, gleichzeitig aufnehmen, ohne dass eine Augenbewegung nötig ist und so ganze Wörter oder sogar mehrere kurze Wörter auf einmal erfassen. Die Anzahl der Buchstaben, die so erkannt werden können, ist von der Schriftgröße und insbesondere von der Text-Kontrastierung abhängig und liegt bei gutem Kontrast im Bereich von bis zu 15 Buchstaben in Leserichtung [4, 5, 11, 12]. Mithilfe dieser parafovealen Informationsaufnahme kann dann die Planung der folgenden Lese-Sakkade optimiert werden. Die Peripherie, das Gesichtsfeld außerhalb der zentralen zehn Sehgrad, trägt zusätzlich zur Orientierung in einem Textblock oder auf der Seite bei und ermöglicht damit das Halten der Zeile sowie die zielgenaue Rückwärtssakkade zum nächsten Zeilenbeginn. Hier kommt nun freilich auch die Genauigkeit bei der Steuerung der Augenbewegungen ins Spiel: Die Augenmuskeln müssen gut koordiniert sein, um die notwendigen Sakkaden mit maximaler Geschwindigkeit und Zielgenauigkeit ausführen zu können. Hierin besteht dann auch ein wichtiger Ansatzpunkt zahlreicher Lesetrainingsversuche, von denen später noch die Rede sein wird. Andere Untersuchungen in der Literatur zielen auf eine Optimierung

der Worterkennung und damit eine Beschleunigung des Lesevorgangs durch Verkürzung der Fixation ab.

Die physiologische Lesegeschwindigkeit differiert beim Erwachsenen interindividuell stark und ist in hohem Maße von der Übung des jeweiligen Lesers sowie der Art des Lesematerials und der Motivation (Roman zum Vergnügen, amtliches Schreiben, Dissertation zur Korrektur) abhängig. So reichen 100 wpm für flüssiges Vorlesen aus [13], während ein geübter Schnell-Leser durchaus 400wpm erreichen kann[14]. Auf Lesegeschwindigkeiten, die darüber hinaus gehen, soll hier nicht weiter eingegangen werden, da diese mit spezieller Lesetechnik zustande kommen und sich deutlich von den hier beschriebenen Vorgängen unterscheiden. Der Text wird dabei nicht mehr im Detail, sondern lediglich im Groben erfasst. Im Rahmen der Validierung der International Reading Speed Texts, zeigte sich in der deutschen Kohorte eine mittlere Lesegeschwindigkeit von knapp 180 wpm[15]. Kershner beschrieb 1964 in englischer Sprache 180-200wpm [16], gab aber gleichzeitig zu bedenken, dass Wörter pro Minute ein sehr „elastisches“ Maß darstelle und stark von der Textschwierigkeit abhängen. Hier sollte zusätzlich der Unterschied zwischen deutscher und englischer Sprache beachtet werden, die Zahlenwerte sind nicht ohne Weiteres übertragbar [17], insbesondere wegen durchschnittlich längerer Wörter in der deutschen Sprache[15].

### **Die Auswirkung der homonymen Hemianopsie**

Erstmals von Mautner 1881[18] beschrieben und 1907 von Wilbrand als „hemianopische Lesestörung“ [19] bezeichnet, sollen die Auswirkungen einer homonymen Hemianopsie auf diese beiden Aspekte des Lesevorgangs nun näher beleuchtet werden:

Zunächst muss zwischen einer rechtsseitigen und einer linksseitigen Hemianopsie unterschieden werden. Während der rechtsseitige Gesichtsfeldverlust mit meist massiven Lesestörungen einhergeht, macht die linksseitige Hemianopsie hauptsächlich Probleme beim Auffinden des Zeilenbeginns im Rahmen des Zeilenrücksprungs, weniger jedoch beim Lesen innerhalb der Zeile.

Zur Beschreibung des Effektes wird deshalb von einer kompletten rechtsseitigen homonymen Hemianopsie ohne makuläre Aussparung ausgegangen. Der rechte

Außenrand des Gesichtsfeldes des Lesers befindet sich also genau in der Mittellinie des theoretischen, gesunden Gesichtsfeldes und verdeckt also auch die Hälfte des makularen Gesichtsfeldes („macular splitting“).

Das erste Problem ist nun, dass der Leser, wenn er einen Buchstaben fixiert, nicht wie zuvor beschrieben bis zu fünfzehn Buchstaben in Leserichtung gleichzeitig sehen kann, sondern im Extremfall nur noch den einen, den er gerade fixiert. Der Leser muss sich also Buchstabe für Buchstabe durch den Text arbeiten und die Einzelbuchstaben erst zu Wörtern zusammenfügen.

Davon abgesehen, dass physiologischer Weise die einzelnen Buchstaben kaum beachtet werden und der Fokus eher auf der gesamten Wortform liegt, bedeutet diese Einschränkung für den Leser, dass viele kleine Augenbewegungen notwendig sind, um eine Zeile Text lesen zu können. Zudem kann keine Information über den weiteren Textverlauf erfasst werden: die parafoveale Information fehlt zur effektiven Sakkaden-Planung. Stattdessen muss das Auge stets ins Blinde hinein bewegt werden. Dadurch entstehen ungenauere Sakkaden, die häufiger korrigiert werden müssen. Zudem kann der Verlauf der Zeile und die aktuelle Position im Textblock nicht mehr über das periphere Gesichtsfeld erfasst werden, sodass der Leser oft die aktuelle Zeile verliert und sie mühsam wieder aufsuchen muss.

Bei einem Hemianopsie-Patienten mit linksseitigem Ausfall, ist der Lesefluss in der aktuellen Zeile oft kaum gestört, der Zeilenrücksprung zum Beginn der nächsten erfolgt nun aber ins blinde Halbfeld. Dadurch sinkt einerseits auf der X-Achse die Treffgenauigkeit, zum anderen erschwert dies aber auch die Identifikation der korrekten Folgezeile.

Diese Patienten zeigen daher teils zusätzliche Sakkaden gegen die Leserichtung, um den nächsten Zeilenbeginn zu finden („Add-to-Return-Sweeps“). Eine Studie von Trauzettel-Klosinski und Brendler ergab 1998, dass Probanden mit linksseitiger homonymer Hemianopsie erst ab einer makularen Aussparung von  $>5^\circ$  einen regelrechten Zeilenrücksprung ohne zusätzliche Sakkaden zeigen[20].

Als Anpassungsvorgang kommen teils hypermetrische Sakkaden vor, die weit vor den Zeilenbeginn landen, der dann im zweiten Schritt, nun in der intakten rechten Gesichtsfeldhälfte, angesteuert wird[21, 22].

Manche Hemianopsie-Patienten zeigen nach einiger Zeit eine weitere Spontananpassung, indem sie eine leicht exzentrische Fixation anwenden[23]: Dabei fixieren die Patienten mit rechtsseitiger homonymer Hemianopsie einen Buchstaben nicht direkt, sondern eine Stelle minimal rechts desselben. Damit rückt der Buchstabe komplett ins sehende, linke Halbfeld, und die Patienten verschieben ihren Gesichtsfeldausfall funktionell um wenige Grad auf der horizontalen Achse zur kranken Seite. Die Patienten schaffen sich so funktionell einen schmalen Streifen zusätzlichen Perzeptionsareals entlang der vertikalen Mittellinie nach rechts.

Da das Auflösungsvermögen der Netzhaut mit steigender Exzentrizität rasch abnimmt, kommt dann den Empfehlungen zu maximalem Kontrast und guter Ausleuchtung des Lesematerials besondere Bedeutung zu.

Die vorliegende Studie verfolgt nun den Ansatz der optimalen Nutzung des verbleibenden Gesichtsfeldes weiter und führt ihn konsequent zu Ende: Da hier nicht die Informationen aus der Makula, sondern die einer ganzen Gesichtshälfte fehlen, gleichzeitig aber die nicht betroffene Gesichtsfeldhälfte unbeeinträchtigt ist, kann die gesamte zu lesende Zeile physikalisch in den sehenden Bereich verschoben werden. Dazu wird der Text um 90° mit oder entgegen dem Uhrzeigersinn rotiert. So wird eine ganze Zeile sichtbar, ohne dass durch den Gesichtsfelddefekt Teile derselben fehlen (siehe Abbildung 4).

### **Das Lesen in vertikaler Textorientierung**

Die Grundidee des untersuchten Trainings besteht nun darin, die gesamte Textzeile durch Rotation in die Vertikale am Rande des Gesichtsfeldausfalls zur Darstellung zu bringen und dem Probanden damit Vorteile für den Lesevorgang zu verschaffen. Bei gesunden Probanden ist die Lesegeschwindigkeit in der Vertikalen schon durch die unpassende, querovale Form des Lese-Gesichtsfeldes eingeschränkt: Die Ausdehnung in vertikaler Richtung liegt deutlich unter der horizontalen. Hemianope sind dieser Form sowieso beraubt, sodass für diese Probanden hier ein Vorteil zu erwarten ist.

Es gibt im Deutschen zwei grundsätzlich unterschiedliche Möglichkeiten der vertikalen Anordnung von Buchstaben zu einem Wort:



Abbildung 3: Darstellung der vertikalen Textorientierung im Deutschen: *marque links*(Variante eins), rotiert rechts (Variante zwei).

Aus obigem Beispiel wird unmittelbar erkennbar, was der Vorteil der zweiten Variante ist: Die Wortform bleibt bei der Rotation erhalten und kann ohne Weiteres auf einen Blick erkannt werden. Diese Art der Textdarstellung wird daher im Folgenden näher erläutert und schließlich in der vorliegenden Studie angewandt.

Aus den beiden möglichen Rotationsrichtungen ergeben sich unterschiedliche Leserichtungen: Bei der Drehung des Textes um 90° im Uhrzeigersinn, muss die Textseite von oben rechts nach unten links gelesen werden, im Folgenden wird dies auch als Leserichtung „abwärts“ bezeichnet.

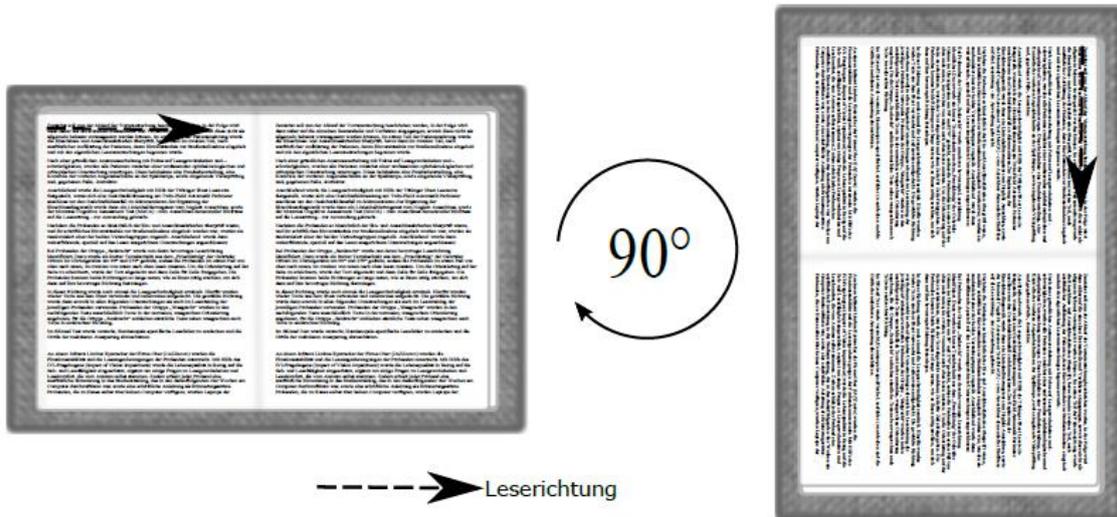


Abbildung 4: Veranschaulichung Textrotation und resultierende Leserichtung: hier von oben nach unten, „abwärts“.

Demgegenüber macht eine Drehung des Testes um 90° gegen den Uhrzeigersinn eine Lesebewegung von unten links, „aufwärts“, nach oben rechts notwendig.

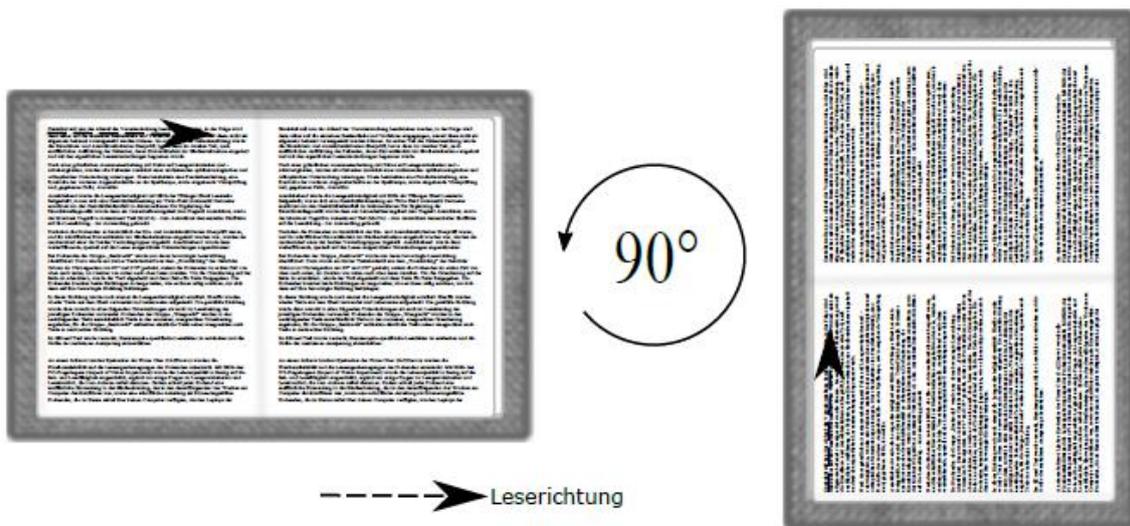


Abbildung 5: Veranschaulichung Textrotation und resultierende Leserichtung: hier von unten nach oben, „aufwärts“.

In einer Pilotstudie unter Mitarbeitern der Abteilung und Personen aus deren Umfeld (siehe Kapitel Pilotstudie „vertikal Lesen bei Gesunden“) zeigte sich hier bei der Mehrheit der Teilnehmer eine eindeutige Präferenz einer der beiden Rotationsrichtungen.

Der große Vorteil dieser Methode gegenüber früherer Lesetrainingsstudien besteht darin, dass sich das vertikale Lesen ganz einfach im täglichen Leben fortführen lässt

und die trainierte Technik damit direkt übernommen werden kann: Das Lesematerial muss lediglich physisch um 90° gedreht werden und gegebenenfalls ein Hilfsmittel zur Markierung der aktuellen Zeile (Lineal, Papierbogen oder Ähnliches) zur Hand genommen werden. Die Praktikabilität dessen wurde im Selbstversuch durch die gesamte Arbeitsgruppe überprüft (siehe Kapitel „Pilotstudie“).

### **Aktueller Stand der Forschung**

Bei gesteigener Lebenserwartung und hoher Inzidenz von cerebralen, ischämischen Ereignissen sowie verbessertem Überlebens derselben, wurde in den letzten Jahrzehnten die Wichtigkeit einer umfassenden Rehabilitation immer deutlicher. Auch die Hemianopsie als klassisches Symptom okzipitaler Insulte wurde als Gegenstand der Rehabilitationsbemühungen genauer untersucht. Die bisherige Forschung zum Thema lässt sich, analog zu den oben beschriebenen Einschränkungen der Patienten, aufteilen in:

Erstens Versuche, die hemianope Orientierungsstörung in ihrem Ausmaß und in ihrer Beeinträchtigung des täglichen Lebens der Patienten zu verringern [24-29].

Zweitens in Strategien, um die hemianope Lesestörung zu beheben oder zumindest zu mildern [30-33].

Während die beiden vorangegangenen Ansätze jeweils eine funktionelle Kompensation des fortbestehenden Gesichtsfeldausfalls zum Ziel haben, versucht eine dritte Forschungsrichtung das tatsächliche Gesichtsfeld mit ihrer Intervention zu erweitern [34-36].

Diese Bemühungen um Restitution des ausgefallenen Gesichtsfeldes sollen in diesem Rahmen lediglich Erwähnung finden, ebenso wie die Feststellung, dass es zwar Hinweise auf Plastizität und erhaltene zentralnervöse Strukturen aus dem „blinden“ Gesichtsfeld gibt, es aber nicht gelungen ist, einen Trainingseffekt auf das Gesichtsfeld in einer ausreichend genauen Untersuchung nachzuweisen. Beschriebene Gesichtsfelderholungen wurden am ehesten auf mangelnde Fixationskontrolle bei der Gesichtsfeldmessung zurückgeführt und konnten mit detaillierteren Untersuchungen nicht reproduziert werden [37, 38].

Neben der Hoffnung auf Erfolge in der Restitutionstherapie, erwähnen Grunda et al., dass die Therapie der hemianopen Orientierungs- und Lesestörung zwar mittlerweile durchaus Erfolge vorzeigen kann, diese aber bisher auf kein solides statistisches Fundament stellen konnte. Dazu soll mit der vorliegenden, randomisierten, kontrollierten prospektiven Studie, ein Beitrag geleistet werden.

Da es sich hierbei um einen Beitrag aus der zweiten Kategorie, der Rehabilitation der hemianopen Lesestörung, handelt, soll auch auf die erste nicht weiter eingegangen werden. Die trainierten Augenbewegungen unterscheiden sich wesentlich [39] und auch in vorangegangenen Studien aus der Arbeitsgruppe des Autors wurde bereits gezeigt, dass das spezifische Training zur Verbesserung der Orientierung keinerlei Einfluss auf die hemianope Lesestörung hat [26].

Daher soll nun der aktuelle Stand der Forschung zur Rehabilitation der hemianopen Lesestörung kurz dargestellt werden:

Bereits 1984 schlug Zihl ein Rehabilitationstraining zur Behandlung der hemianopen Lesestörung vor [40]. Dabei wurde Lauftext („scrolled text“) von rechts nach links abgespielt und Geschwindigkeit und Schwierigkeit des Textes langsam gesteigert. Die Probanden sollten so zu effektiveren Augenbewegungen ermuntert werden. Dazu erfolgte intensives und angeleitetes Training. Es konnte eine deutliche Verminderung der benötigten Lesezeit erreicht werden. Eine Kontrollgruppe wurde nicht eingesetzt. Zihl machte aber deutlich, dass er sein Training für den Anfang der Rehabilitation empfehlen würde, um so rasch eine Lesefähigkeit herzustellen, mit der dann selbständig durch konsequentes Lesen weiter trainiert werden könnte.

Kerkhoff et al. führten ebenfalls ein Training auf Basis von „scrolled text“ ein. Das Training erfolgte unter Aufsicht und so lange, bis für 5 Trainings keine Verbesserung mehr auftrat oder der Proband eine normale Lesegeschwindigkeit erreicht hatte. Es zeigte sich, neben der Verbesserung der Lesegeschwindigkeit, bei 34% der Probanden eine Vergrößerung des Gesichtsfeldes, im Durchschnitt um 5°. Allerdings waren einzelne Individuen bereits kurz nach dem auslösenden Ereignis eingeschlossen worden. Es wurde keine Kontrollgruppe eingesetzt und keine mikroperimetrische Gesichtsfeldvermessung unter Fixationskontrolle durchgeführt [31].

Ein erstes Training am heimischen Fernseher implementierten Spitzyna et al. 2007, als randomisiert-kontrollierte Studie und ohne direkte Supervision durch einen Therapeuten. Erneut wurde bei Probanden mit rechtsseitiger Hemianopsie ein „scrolled text“ angewandt, unter der Vorstellung damit einen optokinetischen Nystagmus (OKN) zu induzieren. Dies sollte sich dann durch vergrößerte Sakkaden positiv auf die Lesegeschwindigkeit auswirken. Evaluiert wurde das Lesetraining am Bildschirm gegen eine „Finde-den-Unterschied“- Suchaufgabe. Tatsächlich verbesserte sich die Lesegeschwindigkeit nach beiden Trainingsformen, in der genaueren Analyse konnte aber ein leichter Vorteil für das OKN-Lesetraining gefunden werden. Eine Verkürzung der Fixationszeiten wurde dabei nicht beobachtet, sodass die Autoren eine Rehabilitation der höheren Funktionen im Lesevorgang verneinten und von einer reinen Rehabilitation der Augenbewegungen ausgingen. Im Eyetracking zeigten sich im Mittel größere Sakkaden in Leserichtung, also zur rechten Seite [41].

Schütt et al widmeten sich der Frage, ob Wörter für ein Lesetraining überhaupt nötig wären, nachdem die bisher beschriebenen Trainingsmethoden sämtlich textbasiert funktioniert hatten. Es wurde Lesetraining an Texten mit Training an „Ziffernwörtern“ verglichen: statt Buchstabenfolgen, wurden Zahlenfolgen in unterschiedlichen Gruppengrößen verwendet. Als Trainingsmethode kam hier die Einzelwortpräsentation unter ständiger Betreuung durch einen Therapeuten zum Einsatz. Es zeigte sich eine Verbesserung der Lesegeschwindigkeit um im Mittel ca. 35%. Der Trainingseffekt beider Trainingsformen war vergleichbar, die Kontrollgruppe stellte hier die Trainingsgruppe mit textbasiertem Training dar. Per Eyetracking wurde eine Ökonomisierung der Leseaugenbewegungen gezeigt, wobei sich hier alle Parameter (Fixationszeiten, Sakkadenlänge, Rücksprünge...) besserten [42].

Von Aimola et al. stammt die zweite randomisiert, kontrollierte Studie mit Training zu Hause. Es wurde sowohl ein Explorationstraining, als auch ein Lesetraining durchgeführt und für die Kontrollgruppe ein eigenes Sham-Training verwendet. Die Intervention beim Lesetraining bestand in einer Suchaufgabe, bei der Nicht-Wort-Zeichen in verschiedenen Wörtern gefunden werden mussten. Besonderes Augenmerk wurde auf den Aufwand für Probanden und Studienteam mit dem Training zu Hause gelegt. Es erfolgten Untersuchungen einschließlich Fahrsimulator, Hinderniskurs,

Suchaufgaben. etc. zudem mit beeindruckenden Gruppengrößen. Die Verbesserung der Lesegeschwindigkeit betrug in der Interventionsgruppe knapp 20% [29].

Das Lesen in vertikaler Richtung (im weiteren Verlauf als vertikales Lesen bezeichnet) ist schon früher Gegenstand der Forschung gewesen und in den vergangenen Jahren auch mehrmals in Verbindung mit visueller Rehabilitation, insbesondere mit der hemianopen Lesestörung, erwähnt worden.

An Normalpersonen wurde dabei gezeigt, dass jede Textrotation sowohl in die Vertikale[43-46], als auch die Rotation um 180°[47], die Lesegeschwindigkeit deutlich vermindert. Es zeigte sich teils auch eine gute Trainierbarkeit der Lesefähigkeit unter diesen veränderten Umständen. Eine Trainingsstudie mit „Rapid Serial Visual Presentation“ (RSVP; die Wörter eines Textes werden einzeln nacheinander in schneller Folge, stets am selben Ort, dargeboten, sodass für den Lesevorgang keine größeren Augenbewegung notwendig werden), in der senkrechtes Lesen im peripheren Gesichtsfeld (10° exzentrisch) trainiert wurde, zeigte nach dem Training eine deutliche Verbesserung desselben [48].

An Probanden mit hemianoper Lesestörung untersuchten de Jong et al. 2016, welchen Einfluss die Seite des Gesichtsfeldausfalles auf die Lesegeschwindigkeit bei rotiertem Text hat und folgerten, dass insbesondere Probanden mit rechtsseitiger Hemianopsie von Textrotation um 90° profitieren könnten [49]. Auch Hepworth und Rowe untersuchten in einem Pilotversuch, ob Probanden mit hemianoper Lesestörung von senkrechtem Lesen profitieren könnten und verglichen insbesondere die beiden möglichen senkrechten Leserichtungen miteinander. Es fanden sich einzelne Probanden, deren Lesegeschwindigkeit in der Senkrechten nicht abnahm oder sogar stieg [50].

Ein Training des senkrechten Lesens an Probanden mit hemianoper Lesestörung wird mit der vorliegenden Arbeit zum ersten Mal durchgeführt.

Eine Evaluation eines spezifischen Lesetraining unter Einsatz konsequenten (horizontalen) Lesens als Vergleichstherapie, ist außerhalb der vorliegenden Studie nicht beschrieben. Damit liegen bisher zu keinem Trainingsregime Daten zu einer spezifischen Wirksamkeit, über den reinen Trainingseffekt des Tuns hinaus, vor.

## 2. Methode

### **Pilotstudie „Vertikal Lesen bei Gesunden“**

Um die Grundidee der geplanten Studie zu prüfen, wurde vor Studienbeginn an Mitarbeitern der Arbeitsgruppe und deren Angehörigen getestet, wie schwer der Umstieg auf vertikales Lesen fallen würde und wie gut man sich an selbiges gewöhnen könnte.

Die zehn Teilnehmer wurden dazu aufgefordert, drei Seiten eines Buches ihrer Wahl zu lesen und die dafür benötigte Zeit zu messen. Anschließend sollte dasselbe Buch erst im Uhrzeigersinn um 90° Grad gedreht werden, sodass die Textzeilen senkrecht zu liegen kamen und so von oben rechts nach unten links gelesen werden musste. Um das Halten der Zeile in der ungewohnten Orientierung zu erleichtern, wurden die folgenden Zeilen abgedeckt. Fünf Mal wurden so dreiseitige Abschnitte gelesen und die Lesezeiten miteinander verglichen. Schließlich wurde das Buch um 180° gedreht, sodass nun von unten links nach oben rechts zu lesen war, und wieder fünfmal die Lesedauer von dreiseitigen Abschnitten bestimmt. Es wurde dabei keine genaue Lesegeschwindigkeit in Wörtern pro Minute bestimmt, sondern lediglich verlangt, dass alle elf Versuchsteile an bisher ungelesenen Stellen desselben Textes absolviert wurden.

Abschließend wurden die Probanden befragt, welche der beiden vertikalen Leserichtungen sie bevorzugten, wie sie das Leseerlebnis insgesamt bewerten würden und ob subjektiv eine Verbesserung der Lesefähigkeit in der ungewohnten Orientierung bemerkt wurde.

*Tabelle 1 Ergebnisse der „Pilotstudie senkrecht Lesen“ an Gesunden. Aufgetragen sind für jeden Probanden die präferierte Leserichtung beim vertikalen Lesen, so eine Präferenz besteht. Dann Mittelwert und Standardabweichung für die benötigte Lesezeit abwärts und aufwärts. Die schnellste vertikale Lesezeit, die horizontale Lesezeit sowie das Verhältnis dieser beiden. Schließlich die subjektive Verbesserung über den Studienverlauf und die Verminderung der benötigten Lesezeit nach Leserichtung. MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung, aufgeteilt nach Leserichtung. t<sub>min</sub>: schnellste Lesezeit für 3 Buchseiten in horizontaler und vertikaler Orientierung. t(hor)/t(vert) Verhältnis der schnellsten Lesezeit in horizontaler und vertikaler Richtung; subjektiv: subjektiver Eindruck der Verbesserung der*

Leseleistung in senkrechter Richtung;  $\Delta(\text{rel})$ : relative Verbesserung der Lesezeiten über den Trainingsverlauf.

[mm:ss]: in Minuten und Sekunden.

Proband	Präferenz	MW ↓	↓ SD	MW ↑	SD ↑	tmin(vertikal)	t(horizontal)	t(hor)/t(vert)	Verbesserung		
		[mm:ss]	[s]	[mm:ss]	[s]	[mm:ss]	[mm:ss]		subjektiv	↓ $\Delta$ (rel)	↑ $\Delta$ (rel)
1	↓	17:22	116,31	13:06	44,43	05:08	03:38	0,71	0	-0,34	-0,09
2	↑	05:56	32,16	05:39	11,14	06:44	02:57	0,44	0	-0,21	-0,06
3	↑	06:52	18,02	06:04	15,17	05:55	04:21	0,74	+	-0,07	0,02
4	↑	08:39	54,67	07:12	15,83	12:00	06:25	0,53	+++	-0,17	-0,06
5	-	09:34	233,80	10:09	245,41	08:16	04:06	0,50	0	0,05	-0,07
6	↓	05:29	16,27	05:33	13,80	05:35	03:58	0,71	++	-0,11	0,03
7	↑	06:12	36,15	08:09	37,74	06:49	03:42	0,54	+	-0,22	-0,18
8	↑	08:38	55,04	07:52	46,87	07:05	05:12	0,73	+	-0,33	-0,20
9	-	07:58	24,59	07:48	57,29	05:15	02:50	0,54	0	0,06	-0,09
10	↓	03:06	26,44	03:04	37,23	02:14	02:28	1,10		-0,36	0,08

In der obenstehenden Tabelle (1) sind für die Probanden 1-10 jeweils ihre subjektiv präferierte Leserichtung beim Vertikallesen aufgeführt, sowie die Mittelwerte (in Minuten und Sekunden) und Standardabweichungen der Lesezeit (in Sekunden) nach Leserichtung und die kürzeste Zeit, in der ein Proband seine drei Seiten vertikal gelesen hat. Es schließen sich an: Die Zeit, die benötigt wurde, um drei Buchseiten in gewohnter, horizontaler Orientierung zu lesen, der Quotient dieser Zeit und der schnellsten vertikalen und schließlich die Veränderung der Lesezeit nach Richtung sowie der subjektive Eindruck der Probanden zur Verbesserung durch Übung. Eine Lesegeschwindigkeit in Wörtern pro Minute wurde nicht erhoben, dargestellt ist jeweils die Zeit, die für einen Abschnitt benötigt wurde. Abnehmende Zahlenwerte stellen hier also eine Steigerung der Lesegeschwindigkeit dar.

Mit Ausnahme von Proband 10, brauchten alle Probanden beim horizontalen Lesen 27-56% weniger Zeit als bei ihrem schnellsten vertikalen Durchgang. Die Entscheidung der Probanden für eine Leserichtung fiel allerdings nicht immer für die tatsächlich schnellere. Die Mehrzahl der Probanden zeigte eine deutliche Präferenz einer der beiden möglichen Textorientierungen, zwei der Probanden konnten überhaupt keinen Unterschied in Abhängigkeit von der Rotationsrichtung feststellen.

Keiner der Probanden hatte vorher Erfahrung mit vertikalem Lesen gesammelt. Es stellte sich heraus, dass intensiv darauf geachtet werden musste, auch tatsächlich vertikal zu lesen, und sich nicht, durch zunehmende Kopfschräghaltung, dem gewohnten Lesen immer mehr anzunähern.

Übereinstimmend berichteten die Probanden, dass das Leseverständnis unter der Konzentration auf die ungewohnte Leserichtung litt und das Lesen selbst mit vermehrter Anstrengung verbunden war. Die Handhabung von Buch und abgedeckter Seite zeigte sich unproblematisch und die Orientierung im Text war damit allen Probanden leicht möglich.

### Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine randomisiert-kontrollierte Studie mit einer Interventionsgruppe A und einer Kontrollgruppe B.

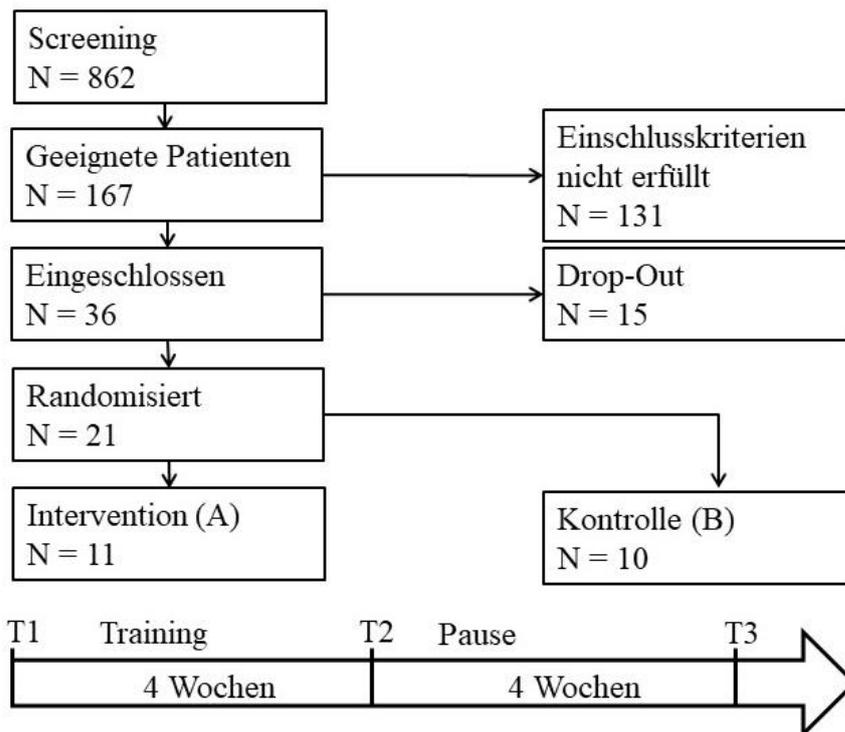


Abbildung 6 Schematische Darstellung der Probandengewinnung und des zeitlichen Ablaufes der vorliegenden Studie.

**Einschlusskriterien:**

- Homonymer Gesichtsfelddefekt
  - o zentrumnah
  - o makuläre Aussparung  $<5^\circ$
- Leseprobleme, Lesegeschwindigkeit  $<150$  wpm
- 18 bis 85 Jahre alt
- Visus mindestens 0,6
- Erkrankungsdauer mindestens 6 Monate [10]
- Arbeitsfähig
- Einwilligungsfähig

**Ausschlusskriterien:**

- Sonstige Augenerkrankungen, milde Katarakt ausgenommen
- Sonstige Gesichtsfeldeinschränkungen
- Motorische Störungen, die die Bedienung eines Computers unmöglich machen
- Hemineglect
- Wesentliche kognitive Einschränkung
- Vorbestehende Lese-Rechtschreibschwäche
- Schlechter Allgemeinzustand

**Das Studienkollektiv**

Aus einem Pool von 862 Patienten mit Hemianopsie, die für die vorliegende Studie zwischen Januar 2016 und Juni 2018 gesichtet wurden (hauptsächlich aus Akten der Universitätsaugenklinik sowie der Universitätsklinik für Neurologie in Tübingen, zudem aus umliegenden Kliniken und Einrichtungen mit relevantem Patientenstamm), wurden 167 Personen kontaktiert. Bei 51 Interessenten konnte eine Erstuntersuchung durchgeführt werden. 36 Probanden wurden in die Studie aufgenommen und randomisiert. Die häufigsten Gründe, die gegen einen Studieneinschluss sprachen, waren erhebliche kognitive Einschränkungen, der Nachweis eines zentral unbeeinträchtigten Gesichtsfeldes, eingeschränkter Visus, sowie Ablehnung durch die Probanden. Bis zum Abschluss der Studie reduzierte sich die Zahl der Teilnehmer auf schließlich 21 Probanden, deren Daten erhoben und ausgewertet werden konnten. (sechs

Abbrüche von Seiten der Probanden (aufgrund von zunehmenden gesundheitlichen Beschwerden), drei sekundäre Ausschlüsse aufgrund von unzureichender Trainingszeit, drei mit Verdacht auf Dys- oder Alexie, zwei mit aphasischen Symptomen).

Die demographischen Daten der Probanden sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: demographische und klinische Daten der Probanden. Mittelwert (SD; min-max),  $\Delta$ : Signifikanter Gruppenunterschied? IReST T1: Lesegeschwindigkeit von gedrucktem Text bei Erstuntersuchung. MoCA: Score im Montreal Cognitive Assessment Test. [a: Jahre. N: Anzahl. Wpm: Wörter pro Minute].

	Gruppe A	Gruppe B	$\Delta$
<u>Probanden [N]</u>	11	10	
<u>Alter [a]</u>	58,88 (12; 40,25-80,17)	65,95 (8,3; 57,25-81,17)	p > 0,05
<u>Ursache [N]</u>			
Apoplex	4	6	
Blutung	1	2	
Tumor	3	2	
Trauma	2	0	
<u>Zeit nach Ereignis[a]</u>	5,1 (7,75; 0,5-26)	5,9 (6,72; 1-19)	p > 0,05
<u>Ausfall [N]</u>			
HH rechts	6	4	
HH links	5	6	
<u>Makulare Aussp. [°]</u>	1 (1,55; 0-5)	0,90 (1,2; 0-4)	p > 0,05
<u>IReST T1 [wpm]</u>	95,57 (36,25; 31-144)	102 (32,27; 45-146)	p > 0,05
<u>MoCA</u>	24,55(3,39;20-30)	23,70(3,34;19-29)	p > 0,05

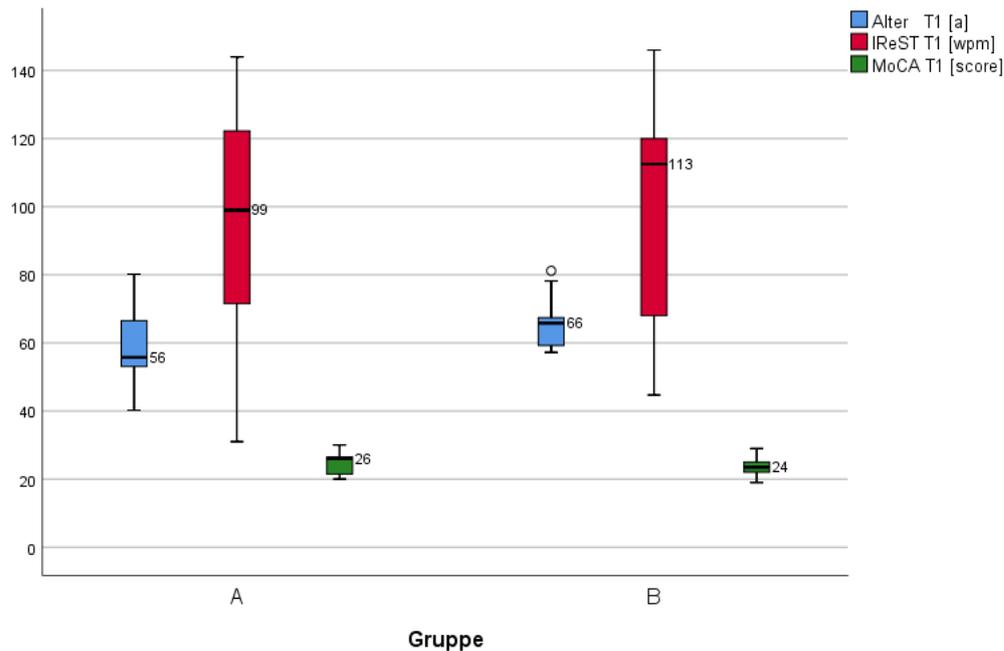


Abbildung 7: Alter, Lesegeschwindigkeit(IReST) und kognitiver Status (MoCA) zu Studienbeginn, aufgeteilt nach Studiengruppe.

Die Studiengruppen unterschieden sich weder in ihrem mittleren Alter, noch der initialen Lesegeschwindigkeit, noch im erzielten Score im MoCA Test, der Erkrankungsdauer oder der Größe der makularen Aussparung signifikant voneinander.

### Zeitlicher Ablauf der Studie

Der Ablauf der einzelnen Untersuchungen ist unter „Die Untersuchungen“ detailliert dargestellt. Hier soll nun lediglich eine kurze Übersicht über die zeitliche Abfolge und Organisation der Studie gegeben werden, in Ergänzung zu obiger Abbildung (Abb. 6). Nach Randomisierung und Abschluss der T<sub>1</sub>-Untersuchung, schloss sich die vierwöchige Trainingsphase an. Es sollte an fünf von sieben Tagen pro Woche trainiert werden. Vorgesehen waren zwei Trainingssitzungen täglich mit einer Dauer von jeweils 30 Minuten. Damit ergibt sich eine Gesamttrainingszeit von 20 Stunden über die vier Wochen bis zur nächsten Kontrolle, T<sub>2</sub>. Zu diesem Zeitpunkt wurden die USB-Sticks mit dem Lesetraining und die verliehenen Laptops wieder abgegeben und das Training somit beendet. Nach weiteren vier Wochen wurden alle Probanden erneut zur Untersuchung einbestellt (T<sub>3</sub>). Ursprünglich war im Anschluss noch ein „Cross-Over“ in die jeweils andere Trainingsgruppe vorgesehen. Es erklärten sich jedoch nur acht Probanden zu einem solchen Wechsel und den damit einhergehenden zusätzlichen

Vorstellungen in der Klinik bereit. (5 von Gruppe B nach A, 3 von Gruppe A nach B). Zudem mussten drei Probanden (2 aus Gruppe A, 1 aus Gruppe B) sekundär wieder ausgeschlossen werden, da sie in der zweiten Trainingsphase wenig bis überhaupt nicht trainiert hatten. Bei nunmehr fünf verbleibenden Probanden mit gültigen T<sub>4</sub>- und T<sub>5</sub>-Untersuchungen (3x A; 2xB), wurde auf eine Auswertung des Cross-Over Teils bei zu geringer Gruppengröße gänzlich verzichtet.

### **Die Untersuchungen**

Zunächst soll nun der Ablauf der Erstuntersuchung beschrieben werden, in der Folge wird dann näher auf die einzelnen Bestandteile und Verfahren eingegangen, soweit diese nicht als allgemein bekannt vorausgesetzt werden können. Eine Übersicht über die verwendeten Tests und den Untersuchungsumfang bei den jeweiligen Untersuchungsterminen ist im Anhang zu finden.

Im ersten Teil der Probandensitzung wurden die Einschluss- und Ausschlusskriterien überprüft, bevor dann im zweiten Teil, nach ausführlicher Aufklärung der Probanden, deren Einverständnis zur Studienteilnahme eingeholt und mit den eigentlichen, lesebezogenen, Untersuchungen begonnen wurde.

Nach einer gründlichen Anamneseerhebung mit Fokus auf Lesegewohnheiten und -schwierigkeiten, wurden alle Probanden zunächst einer umfassenden ophthalmologischen und orthoptischen Untersuchung unterzogen. Diese beinhaltete eine Fundusbeurteilung, eine Kontrolle der vorderen Augenabschnitte an der Spaltlampe, sowie eingehende Visusprüfung und, gegebenenfalls, -korrektur.

Anschließend wurde die Lesegeschwindigkeit mit Hilfe der IReST Lesetexte [15] gemessen, woran sich eine Gesichtsfeldvermessung im 30° Bereich am Twin-Field Automatik Perimeter anschloss, um den Gesichtsfeldausfall zu dokumentieren.

Zur Ergänzung der Einschluss-Diagnostik wurde schließlich ein Linienhalbierungstest zum Neglect Ausschluss, sowie der Montreal Cognitive Assessment Test (MoCA [51, 52]) - zum Ausschluss schwerer kognitiver Einschränkungen - zur Anwendung gebracht.

Nachdem die Probanden so hinsichtlich der Ein- und Ausschlusskriterien überprüft und ihr schriftliches Einverständnis zur Studienteilnahme eingeholt worden war, wurden sie randomisiert einer der beiden Versuchsgruppen zugeteilt. Anschließend wurden dann weiterführende, speziell auf das Lesen ausgerichtete Untersuchungen angeschlossen:

Bei Probanden der Gruppe A (Lesetraining in vertikaler Textorientierung) wurde nun deren bevorzugte Leserichtung bei vertikaler Text- Orientierung identifiziert (siehe Abbildung 3 und 4 und Kapitel „Lesen in vertikaler Orientierung“). Dazu wurde ein kurzer Textabschnitt aus dem „Froschkönig“ der Gebrüder Grimm im Uhrzeigersinn um  $90^\circ$  und  $270^\circ$  gedreht, sodass die Probanden im ersten Fall von oben nach unten, im zweiten von unten nach oben lesen mussten. Um die Orientierung auf der Seite zu erleichtern, wurde der Text abgedeckt und dann Zeile für Zeile freigelegt. Die Probanden konnten beide Richtungen so lange testen, wie es ihnen nötig erschien, um sich dann auf ihre bevorzugte Richtung festzulegen.

In dieser Richtung wurde dann noch einmal die Lesegeschwindigkeit ermittelt. Hierfür wurden wieder Texte aus dem IReST verwendet, rotiert und ebenfalls zeilenweise aufgedeckt.

Die gewählte Leserichtung wurde dann sowohl in den folgenden Untersuchungen als auch im Lesetraining der jeweiligen Probanden verwendet.

Probanden der Gruppe B (Lesetraining in horizontaler Textorientierung, Kontrollgruppe) wurden in den nachfolgenden Tests ausschließlich Texte in der üblichen, horizontalen Orientierung angeboten. Für Gruppe A enthielten sämtliche Tests neben horizontalen zusätzlich auch Texte in vertikaler Orientierung.

Per SKread Test wurde nach Hemianopsie-spezifischen Lesefehlern gefahndet und versucht, so die Größe der makularen Aussparung abzuschätzen. Dieser Test wurde entwickelt, um bei Patienten mit Zentralskotom eine unkomplizierte, klinische Einschätzung zur Lage der Skotome und deren Größe zu gewinnen. Festgestellt werden soll dies über typische Lesefehler, die mit einer bestimmten Skotomgröße und -lage assoziiert sind [53].

Zudem wurden die Probanden gebeten, einen Buchstaben am Wortanfang oder -ende einzelner Wörter zu fixieren und anzugeben, wie viele weitere Buchstaben des Wortes, ohne Augenbewegung, noch gesehen werden konnten. Ziel war hier, auf diese einfache Art eine Einschätzung des erhaltenen Lesegesichtsfeldes zu erhalten. Aus untersuchungspraktischen Gründen wurden hierzu Wörter aus den SKread verwendet, der Versuch und dessen Auswertung stehen aber sonst in keinerlei inhaltlicher Verbindung zum eigentlichen SKread Test.

Mit einem Infrarot Limbus Eyetracker der Firma Ober (JAZZnovo, Ober Consulting Sp.z o.o., Posen, Polen) wurden die Lese-Augenbewegungen der Probanden erfasst.

Mithilfe des IVI-Fragebogens (Impact of Vision Impairment [54, 55]) wurde die Lebensqualität in Bezug auf die Seh- und Lesefähigkeit eingeschätzt, ergänzt um einige Fragen zu Lesegewohnheiten und Lesekomfort, die vom Autor selbst stammen.

Zudem erhielt jeder Proband eine ausführliche Einweisung in das Studientraining, sowie eine schriftliche Anleitung als Erinnerungsstütze. Probanden, denen zu Hause kein Computer zur Verfügung stand, wurden Laptops der Forschungseinheit für Visuelle Rehabilitation leihweise zur Verfügung gestellt, und die Betroffenen mit der Handhabung vertraut gemacht.

Abschließend wurden noch einige Untersuchungen am Scanning Laser Ophthalmoskop durchgeführt. Zum einen eine, in der Abteilung entwickelte, Mikroperimetrie zur genaueren Vermessung des zentralen Gesichtsfelds, zum anderen eine detaillierte Untersuchung des Lesevorgangs der Probanden unter simultaner Fundusbeobachtung.

Bei den Post- und Follow-up-Untersuchungen nach jeweils vier Wochen, wurden erneut die Lesegeschwindigkeit gemessen, die Fragebögen und SKread bearbeitet, sowie Eyetracker und SLO-Untersuchungen durchgeführt. Die mikroperimetrische Untersuchung wurde bei den einzelnen Probanden je einmal durchgeführt.

### **Die Messung der Lesegeschwindigkeit**

Die Lesegeschwindigkeit stellt die primäre Zielgröße der vorliegenden Studie dar. Gemessen wurde sie mit den, ursprünglich in Tübingen entwickelten, International Reading Speed Texts (IReST). Es handelt sich dabei um eine Sammlung von zehn

Texten vergleichbarer Länge und ähnlicher inhaltlicher wie linguistischer Komplexität, die in insgesamt 17 Sprachen übersetzt und anschließend von Linguisten in ihrer Schwierigkeit und Textlänge der deutschen Vorlage angepasst wurden. Die einzelnen Texte sind im Mittel 132 Wörter lang ( $SD \pm 3.2$ ) und liegen gedruckt in Heftform vor. Die verwendete Darstellungsgröße entspricht der von üblichem Zeitungsdruck (1, 25M) in schwarzer Schrift auf weißem Grund. Bei jeder Messung der Lesegeschwindigkeit wurde dabei ein anderer IReST-Text verwendet und auf die Verwendung einer ähnlichen „Performance Category“ geachtet.

Zur störungsarmen Bestimmung der Lesegeschwindigkeit wurden die Sätze auf einem Lesepult in gleichbleibender Entfernung zum Probanden präsentiert und eine Tageslichtlampe (Eschenbach) zur optimalen Ausleuchtung des Textes verwendet. Der Abstand zwischen Probanden und Lesestoff betrug 40cm

Die Probanden wurden angewiesen, die Sätze zügig laut vor zu lesen und eventuelle Lesefehler zu ignorieren und nicht zu korrigieren.

Der Text wurde abgedeckt und während der Untersuchung durch den Untersucher zeilenweise freigegeben.

Die Lesedauer für einen ganzen Text wurde mit Hilfe einer Stoppuhr gemessen. Lesefehler wurden notiert, und die falsch oder nicht gelesenen Wörter von der Gesamtzahl der Wörter des verwendeten Textes abgezogen.

Durch Division der Anzahl richtig Gelesener Wörter durch die Lesezeit in Sekunden und anschließender Multiplikation mit 60, wurde die Lesegeschwindigkeit in Wörtern pro Minute bestimmt.

Bei Probanden der „Vertikal“ Gruppe, wurde die Lesegeschwindigkeiten mit zwei unterschiedlichen Texten in horizontaler und vertikaler Richtung bestimmt.

### **Die Radner Lesetafeln**

Entstanden im Rahmen einer Studie 1998, stellen die RADNER-Lesetafeln zum einen eine Sammlung hoch standardisierter Texte zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit dar. Zum anderen wurden sie entwickelt, um die herkömmliche Visus-Messung anhand von Landolt-Ringen oder Einzelzeichen um eine Bestimmung des Visus, bei dem noch

flüssiges Lesen als wirklichkeitsnaher Aufgabe möglich ist, zu erweitern. Mit diesen beiden Werten, der Lesegeschwindigkeit und dem Lese-Visus, am selben Text gleichzeitig erhoben, ist eine verfeinerte Messung der Alltagseinschränkung eines Patienten mit Sehbehinderung möglich [56, 57].

Da bei jeder der drei Untersuchungstermine T1-3 der Lesevorgang jedes Probanden sowohl am Infrarot Eyetracker als auch am Scanning Laser Ophthalmoskop untersucht wurde, waren mindestens 24 kurze Texte, von möglichst gleicher Schwierigkeit und Länge, von Nöten. Eine Messung der Lesegeschwindigkeit erfolgte hier nicht. Mit den Lesetafeln nach Radner standen insgesamt 38 unterschiedliche Texte, bestehend aus jeweils einem Hauptsatz mit Relativsatz, zur Verfügung. Die Texte sind nach sehr strikten Anforderungen an die äußere Form eines jeden Satzes konstruiert und wurden im Anschluss an 160 Probanden auf ihre Homogenität, vor Allem hinsichtlich der Lesegeschwindigkeit, überprüft [56]. Aus dieser Gesamtheit wurden dann 24 Sätze ausgewählt, die für die Studie herangezogen wurden. Die Wahl fiel dabei auf die, nach Dafürhalten des Autors, schönsten und plastischsten Sätze der Sammlung.

### **Der Montreal Cognitive Assessment Test: MoCA**

Der Montreal Cognitive Assessment Test (kurz MoCA [51]), ist ein wenig aufwändiges Instrument zur Einschätzung der kognitiven Leistungsfähigkeit von Patienten, insbesondere auch zum Screening auf leichte kognitive Einbußen (Mild Cognitive Impairment, MCI). Er besteht aus einem Fragebogen, der zwölf Aufgaben zu unterschiedlichen kognitiven Domänen umfasst:

Neben Aufmerksamkeits-, Orientierungs-, und Gedächtnisprüfung, werden auch visuo-konstruktive Fähigkeiten, Alternate-Trail-Making, Verbal Fluency, Rechenvermögen, sowie Abstraktionsfähigkeit getestet.

Die Aufgaben werden durch unterschiedliche Maximalpunktzahlen gewichtet und die Punkte zur Auswertung schließlich addiert. Die im Test erreichbare Maximalpunktzahl beträgt 30 Punkte, hinzu kommt ein Zusatzpunkt für Patienten, die weniger als 12 Jahre schulische sowie berufliche Ausbildung absolviert haben.

Ergebnisse von 26 Punkten und darüber werden vom Verfasser als „bestanden“ oder normal gewertet [51]. Freitas et al. schlagen allerdings etwas andere Grenzwerte vor

und legen zudem besonderen Wert auf die Differenzierung des MCI von einer „ausgewachsenen“ Demenz [58]. Wir haben diese Einteilung übernommen, wonach weniger als 17 Punkte im Test für eine Demenz sprechen, während ab 22 von einem normalen Testergebnis gesprochen wird. Der Bereich dazwischen wird dem Bild der MCI zugeordnet.

MCI zeichnet sich dabei durch beginnende kognitive Funktionseinschränkungen aus, die die Grenzen des physiologischen Alterns überschreiten, gleichzeitig aber das alltägliche Leben der Betroffenen nicht maßgeblich beeinträchtigen.

Ein MoCA Ergebnis von 16 Punkten und weniger wurde für die vorliegende Studie als Ausschlusskriterium verwendet, im Bereich des MCI (bis einschließlich 22 Punkte) wurden die Probanden eingeschlossen, wenn davon ausgegangen werden konnte, dass sie die an sie gestellten Anforderungen im Umgang mit dem Computer und dem regelmäßigen Training, erfüllen können würden.

### **Das Lesetraining**

Die Intervention bestand für alle Probanden aus einem Training, mit dem über vier Wochen an jeweils 5 Tagen pro Woche 2x30 Minuten lang trainiert werden sollte. Das Training wurde am heimischen Computer durchgeführt. Probanden ohne eigenen Computer erhielten leihweise ein Laptop unserer Forschungseinheit zur Verfügung gestellt.

Das Trainingsprogramm wurde von unserem Mitarbeiter Herrn Dr. Küster (Forschungseinheit für Visuelle Rehabilitation, Tübingen) eigens für diese Untersuchung programmiert und laufend verbessert. Es ermöglichte in seiner endgültigen Form die Darstellung eines beliebigen Textes in einer einzelnen Zeile in schwarzer Schrift auf weißem Bildschirmhintergrund. Zur besseren Orientierung, vor allem beim vertikalen Lesen, wurde die Zeile mit einem kräftigen schwarzen Balken unterstrichen. Diese Idee entstand aus der Praxis der Sehbehindertenambulanz, wo Menschen mit Leseproblemen stets geraten wurde, sich die aktuelle Zeile durch Unterlegen eines Lineals oder Ähnlichem zu markieren.

Die Orientierung der Textzeile auf dem Bildschirm war frei wählbar und konnte in Grad Abweichung von der Horizontalen (im Uhrzeigersinn) eingestellt werden. Diese Option

war im Rahmen der Studie nicht für den Benutzer, sondern nur über den Quellcode zugänglich. Den Probanden wurde im Vorfeld die Wahl überlassen, welche Leserichtung sie präferierten (s. Kapitel „Vertikal Lesen“). Diese Textorientierung wurde dann für das Training zu Hause verwendet.

Für die Kontrollgruppe wurde dasselbe Trainingsprogramm ohne Textrotation verwendet.

Das Programm wurde den Probanden auf einem USB-Speichermedium ausgehändigt, oder direkt auf einem Leih-Laptop übertragen. Der Betrieb des Trainingsprogrammes konnte direkt vom Speichermedium aus erfolgen, sodass keinerlei Installationen oder weiteren Computerkenntnisse vonnöten waren, um mit dem Training zu beginnen. Im Rahmen der Erstuntersuchung fand eine ausführliche Einführung statt und jeder Proband erhielt eine detaillierte, schriftliche Schritt-für-Schritt Anleitung (Siehe Anhang).

Für das Training konnte jeder beliebige Text verwendet werden, sofern dieser digital und in einem gängigen Format vorlag (.epub, .pdf, .txt). Sobald das Training gestartet wurde, erschien eine Maske, die die Auswahl des Lesestoffes erlaubt (s. Anhang: „Anleitung Lesetraining“). Für Probanden, die kein eigenes digitales Lesematerial besaßen, oder denen die ausführlicheren Einstellungsmöglichkeiten zu komplex erschienen, wurde eine Auswahl an Texten aus verschiedenen Themenfeldern zur Verfügung gestellt.

Für das eigentliche Training wurde der Text nun in einzelnen Zeilen auf dem Bildschirm präsentiert, wie in Abbildung 8 dargestellt. Mit den Maustasten oder Pfeiltasten der Tastatur, konnten die Probanden in die nächste Zeile weiterspringen, oder, wenn nötig eine vorangegangene Zeile wiederholen. Anhand einer Stoppuhr, die in der oberen linken Bildschirmecke mitlief, konnten die Probanden die Dauer ihres Trainings überprüfen. Nach Ende der Trainingssitzung setzte das Programm ein

digitales Lesezeichen, sodass beim nächsten Training an derselben Stelle im Text weitergelesen werden konnte.

Protokollfunktion:



Abbildung 8: Screenshot aus dem Verwendeten Lesetraining. Textzeile mit Textrotation von 0° und unterlegt mit schwarzem Balken zur vereinfachten Orientierung.

Zur Überprüfung der Regelmäßigkeit sowie des Trainingserfolges, erstellte das Programm eine Log-Datei, in der erfasst wurde, wann - wie lange - trainiert wurde und welcher Text Verwendung fand. Zudem wurde protokolliert, wie lange ein Proband bei einer Zeile verweilte, um so eine ungefähre Vorstellung vom Verlauf der Lesegeschwindigkeit über die Trainingsdauer zu erhalten. Auch wurden Rücksprünge auf bereits gelesene Zeilen erfasst, um das Konzentrationsniveau und das Textverständnis im Rahmen des Trainings beurteilen zu können.

### **Die Eyetracking Untersuchung**

Die Eyetracking Untersuchung wurde mit einem JAZZ-novo Eyetracker der Firma Ober Consulting durchgeführt. Der Proband saß dabei vor einem Computerbildschirm, auf dem die entsprechenden Stimuli dargeboten wurden. Um Kopfbewegungen zu minimieren und die Entfernung der Augen zum Bildschirm zwischen 25 und 30 cm konstant zu halten, wurde eine Kinnstütze verwendet und der Patient angewiesen,

während der Untersuchung möglichst nur durch die weitgehend geschlossenen Zähne zu sprechen. Die Untersuchung selbst bestand dann zunächst aus einer Kalibrierung, für die der Proband abwechselnd Punkte in den vier Ecken des Bildschirms anvisieren musste. Beginnend mit dem Punkt oben links ging es zweimal im Uhrzeigersinn über die vier Punkte. Bei 25 cm Abstand des Probanden vom Bildschirm und den unten dargestellten Abmessungen der Darstellung, ergeben sich damit Blicksprünge von  $46,6^\circ$  in der Horizontalen und  $32,3^\circ$  in der Vertikalen. Es schloss sich eine Prüfung der Fixationsstabilität an, indem der Patient zwanzig Sekunden lang, möglichst ruhig, ein mittig im auf dem Bildschirm präsentiertes Kreuz (Durchmesser am Bildschirm 5mm) fixieren sollte.

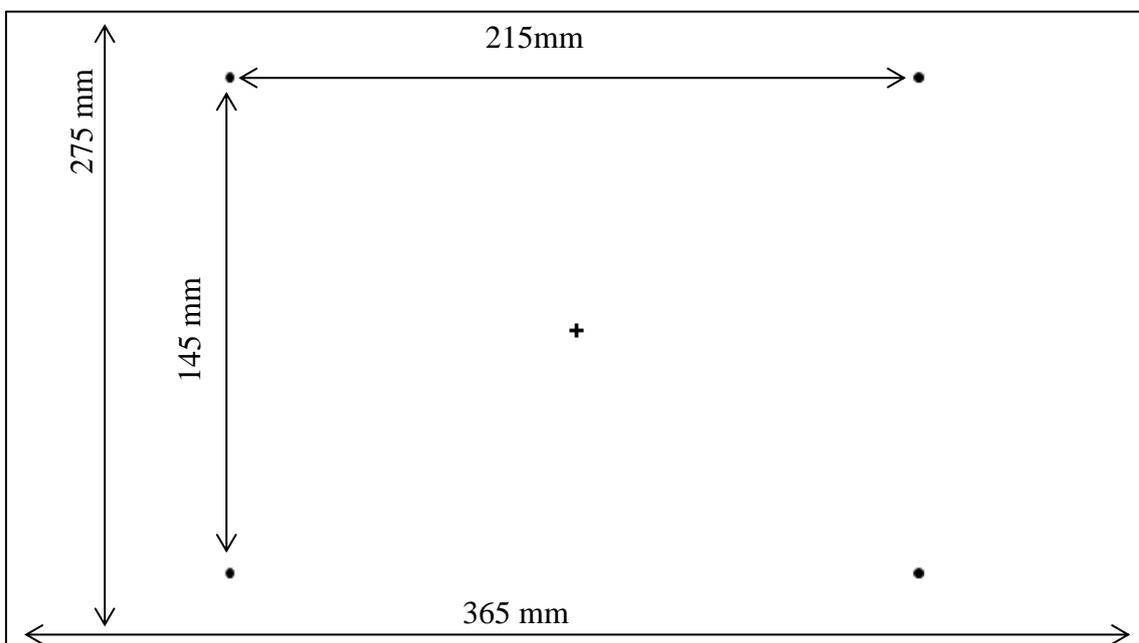


Abbildung 9: Vermessung des Monitors der bei der Eye-tracking Untersuchung zur Anwendung kam. (NEC MultiSync FE991SB Röhrenbildschirm)

Für die eigentliche Leseuntersuchung wurden dann ausgewählte Texte aus den Radner Lesetafeln präsentiert, die die Probanden laut vorlesen mussten. Probanden, die während des Lesetrainings vertikal lesen sollten, wurde dabei sowohl ein vertikaler Text in ihrer bevorzugten Leserichtung, als auch ein Text in gewohnter, horizontaler Orientierung vorgelegt. Probanden aus der Kontrollgruppe erhielten die gleichen Texte, jedoch beide in horizontaler Orientierung. Als Schriftart wurde Times New Roman in 12 Pt verwendet, was auf dem verwendeten Bildschirm (NEC MultiSync FE991<sup>SB</sup>

Röhrenbildschirm) einer Versalhöhe von 4 mm entspricht. Zusammen mit dem Bildschirmabstand ergab sich daraus ein Verhältnis von ca. 0,4 Sehgrad auf eine „n“-Breite. Zum Vergleich: Zeitungsdruck hat, mit einer Versalhöhe von ca. 2,5mm eine um Faktor 1,6 kleinere Schriftgröße. Die leichte Vergrößerung wurde gewählt um die Lesbarkeit am Bildschirm und im SLO (s. dort) zu optimieren.

Das Gerät:

Das JAZZ-novo System besteht aus einem Infrarot Eyetracker, der je nach Einsatzzweck um unterschiedliche Applikationen erweitert werden kann. Das in dieser Studie verwendete Gerät verfügt neben dem Eyetracker noch über Gyroskope zur Messung der Kopfbewegung, sowie ein Mikrofon zur Aufzeichnung der Untersuchung bzw. des Leseflusses der Probanden.

Das gesamte Messsystem liegt dem Probanden mit einem Nasensteg auf und wird über ein Stirnband am Kopf befestigt.

Im Unterschied zu herkömmlichen Infrarot Eyetrackern kommt das Ober-Gerät mit Infrarot-Lichtquellen in den nasalen Augenwinkeln aus. Damit ist kein das Auge umschließendes Gerüst nötig und das Gesichtsfeld des Probanden wird durch die Messung kaum eingeschränkt. Zudem kann der Patient seine normale Lesebrille über dem System tragen.

JAZZ-novo misst die Bewegung beider Augen in X- und Y-Achse und gibt für die Achsen jeweils ein, über beide Augen gemitteltes, Signal aus. Dabei beträgt der Messbereich in horizontaler Richtung circa 35° nach rechts und links, in der vertikalen je 20° auf- und abwärts ([http://www.ober-consulting.com/page/spec\\_jazz/](http://www.ober-consulting.com/page/spec_jazz/)).

Aufgezeichnet werden die Daten über die Software JAZZrecorder, die Ober ebenso zur Verfügung stellt wie das Auswertungs- und Datenverwaltungsprogramm „JazzManager“. Die Augenbewegungen werden dabei mit einer Aufnahmefrequenz von 1000 Hz erfasst und zunächst im Ober-eigenen Format .jazz gespeichert. Die Auswertung kann direkt im „JazzManager“ erfolgen, es stehen aber auch diverse Exportfunktionen zur Verfügung, womit die Datenreihen in .txt Format gebracht und anschließend beliebig weiterverarbeitet werden können. Die Tonaufnahmen lassen sich

entweder im „JazzManager“ live mit den Augenbewegungen abspielen, oder in ein .wav Format exportieren.

Zusätzlich verfügt der „JazzManager“ über Funktionen zur Detektion und Zählung von Sakkaden, sodass sich hiermit der Lesevorgang sehr einfach und genau untersuchen lässt.

Die Auswertung:

Als Determinanten der Lesegeschwindigkeit kommen (bei Anwendung der eingangs erwähnten Vereinfachung) von okulomotorischer Seite zwei wesentliche Aspekte in Betracht: Die Anzahl der Sakkaden sowie die Dauer der dazwischenliegenden Fixationen.



Abbildung 10: Beispiel Lesekurve im Eyetracking, Screenshot aus JazzManager (Ober Consulting). Position des Auges auf der Y-Achse, aufgetragen über die Zeit. Vorwärtssakkaden (Pfeil von oben), Rückwärtssakkaden (Pfeil von Unten), Zeilenrücksprung (Kasten) AddToReturnSweep (Kreis). Fixation: Zeit zwischen zwei Augenbewegungen.

Als Vorwärtssakkade wird dabei hier jede schnelle Augenbewegung in Leserichtung (nach rechts, in Abbildung 10 nach oben, nahezu senkrechter Anstieg) definiert, die sich über mindestens 0,5 Sehgrad erstreckt. Eine Rückwärtssakkade hat dieselben Eigenschaften, erfolgt aber entgegen der Leserichtung (nach links, in Abbildung 10 nach unten). Zeilenrücksprünge zeigen sich deutlich, da die Anzahl der Zeilen im gelesenen Text bekannt ist und sie die größte Amplitude von allen Augenbewegungen beim Lesen innehaben. Wenn eine Rückwärtssakkade direkt auf eine Rückwärtssakkade folgt, wird die zweite als Add-To-Return-Sweep definiert. Die Fixationsdauer wird durch Division der Gesamtlesezeit durch die Anzahl der Sakkaden bestimmt.

Für die Auswertung der Eyetracker-Daten kann der „Saccade Browser“ der firmeneigenen Software „JAZZmanager“ verwendet werden. Die Sakkaden wurden im Anschluss von Hand ausgezählt.

## **Das Scanning Laser Ophthalmoskop**

Das Scanning Laser Ophthalmoskop (SLO, Rodenstock 101, München, Deutschland) stellt im Prinzip eine Evolutionsstufe des herkömmlichen Augenspiegels in größerer Ausführung dar. Statt die ganze Netzhaut auf einmal zu beleuchten und das gestreute Licht in seiner Gesamtheit zu beurteilen, wird bei einem SLO nur ein kleiner Teil der Netzhaut mit einem feinen Laserstrahl beleuchtet und das gestreute Licht von diesem Punkt registriert. Es entsteht ein Pixel. Dieses eine Pixel wird auf einem Bildschirm dargestellt und der Laserstrahl wandert zum nächsten Punkt auf der Netzhaut. Wenn der Laser eine komplette Zeile auf diese Weise gescannt hat, wird die nächste Zeile in Angriff genommen. So baut das Scanning Laser Ophthalmoskop Zeile für Zeile ein Bild des Augenhintergrundes auf.

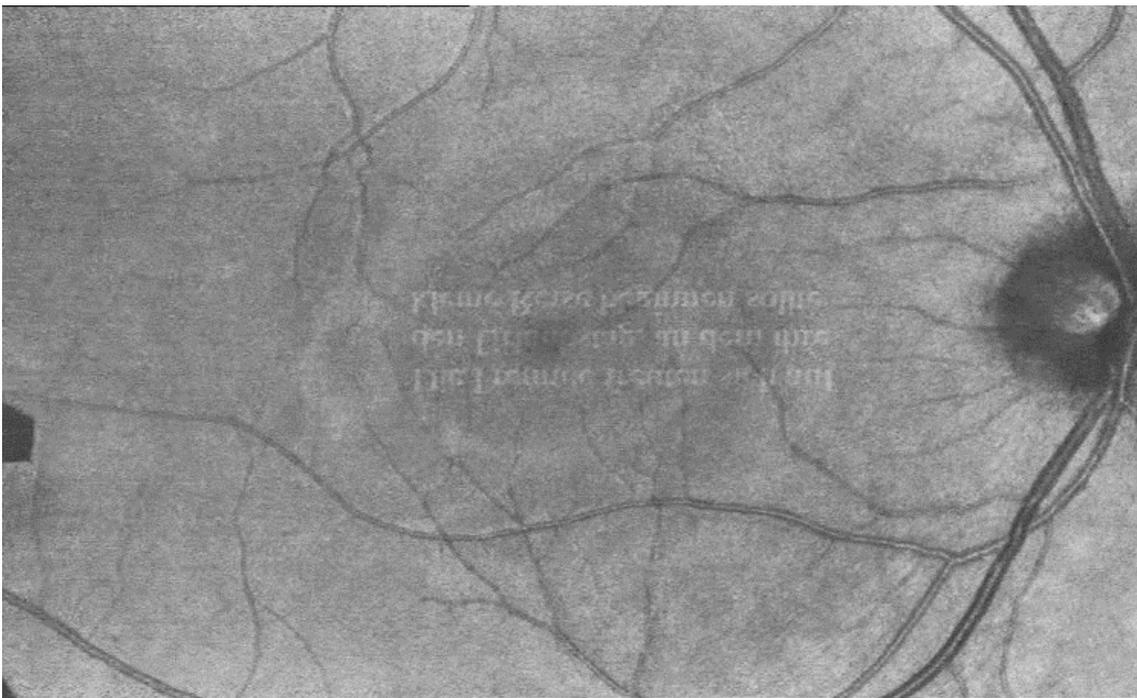
Der große Vorteil dieser Technik besteht nun darin, dass jeder einzelne Punkt viel kürzer beleuchtet wird, sodass sich die Gesamtlichtbelastung für das Auge drastisch reduziert. Dies erlaubt längere und für den Patienten weniger ermüdende Untersuchungen. Für den Untersucher besteht der besondere Vorzug der Methode in der simultanen Erfassung von Stimulus und Fundus, sodass die Position der Foveola in Bezug auf den Stimulus unmittelbar beobachtet werden kann und keine weitere Kalibrierung oder Berechnung notwendig ist.

Zur Bilddarstellung verwendet das SLO zwei verschiedene Lasersysteme. Zum einen verfügt es über einen Infrarot Laser mit einer Wellenlänge 780nm, der damit für das menschliche Auge nicht sichtbar ist und hauptsächlich für die Erzeugung des Fundusbildes zuständig ist.

Ein zweiter Laser, ein Helium-Neon-Laser erzeugt ein, mit 633nm sichtbares, rotes Licht. In den Strahlengang dieses Lasers ist ein akusto-optischer Modulator integriert. Dieser ermöglicht es, die Strahlungsintensität des Lasers sehr schnell zu verändern und damit ein für den Patienten sichtbares Bild auf dessen Netzhaut zu projizieren. Wie bei der Hintergrundbeleuchtung oben schon beschrieben, rastern dabei beide Laser gemeinsam das Auge ab. An jeder Position wird die Helligkeit des He-Ne-Lasers so moduliert, dass insgesamt ein vollständiges, wenn auch nicht allzu fein aufgelöstes, Bild auf der Netzhaut des Patienten entsteht. Statt wie auf einem Schwarzweißbild in Grautönen, wird hier das Bild in unterschiedlich hellem Rot dargestellt.

Durch eine spezielle Anwendung kann der gesamte Bildschirminhalt eines Computers zur Stimulus-Präsentation direkt auf die Netzhaut des Patienten projiziert werden.

Das gestreute Licht von beiden Lasern wird gemeinsam in Graustufen auf einem Monitor angezeigt, dessen Bildaufbaugeschwindigkeit genau der Abtastrate des SLO entsprechen und mit dieser synchronisiert sein muss. Dadurch entsteht ein scharfes und stabiles Bild des Augenhintergrundes des Patienten, auf dem die dargebotenen Stimuli, je nach Einstellung, deutlich sichtbar sind. Dabei gilt: je stärker der Helium-Neon-Laser eingestellt wird, desto deutlicher erscheint der Stimulus auch auf der Aufnahme des Fundus. Überwiegt der Infrarot-Laser deutlich, kann der Fundus weitgehend ohne Überlagerung durch den Stimulus beobachtet werden. Durch Verwendung eines Mydriatikums vor der Untersuchung kann die Lichtausbeute und damit die Abbildungsqualität deutlich gesteigert werden. Um die Belastung für die Probanden zu minimieren, wurde darauf aber in der vorliegenden Studie verzichtet.



*Abbildung 11: Fundusaufnahme aus SLO, ein Text aus der durchgeführten Leseuntersuchung ist auf den Fundus projiziert. Der Text erscheint für den Untersucher in der Horizontalen gespiegelt, für den Probanden damit aber regelrechte lesbar.*

Die Untersuchungen:

In der vorliegenden Studie wurde das SLO für zweierlei Untersuchungen verwendet. Zum einen für eine genaue Untersuchung des zentralen Gesichtsfeldes unter direkter Funduskontrolle, zum anderen für eine funktionelle Untersuchung des Lesevorgangs bei den Probanden. Beides soll nun kurz dargestellt werden.

Die SLO Mikroperimetrie

Bei herkömmlicher Perimetrie steht der Untersucher stets vor dem Problem, dass kontrolliert werden muss, ob der Patient auch wirklich genau das Fixationsobjekt anschaut und bei dieser Fixation bleibt. Bei der Mikroperimetrie wird nun zunächst festgestellt, wo der Patient fixiert, in dem ihm ein Fixationskreuz angeboten wird. Wenn der Patient dieses ruhig fixiert, wird ein Bild seines Fundus aufgenommen, bei dem die Fixationsstelle genau in der Mitte des Bildes liegt. Dieses „Referenzbild“ wird anschließend kontinuierlich mit dem Live-Bild aus dem SLO verglichen. Nur wenn Referenzbild und Livebild exakt übereinstimmen, wird dem Patienten ein Stimulus angeboten. Damit wird sichergestellt, dass der Stimulus auch wirklich auf den zu untersuchenden Netzhautabschnitt auftrifft, sodass die Genauigkeit der Untersuchung im Vergleich zur herkömmlichen Perimetrie, deutlich steigt. So ließ sich im Verlauf der Studie die Größe der makularen Aussparung des Gesichtsfelddefektes sehr genau bestimmen und damit festlegen, ob Probanden für das Studientraining geeignet sind.

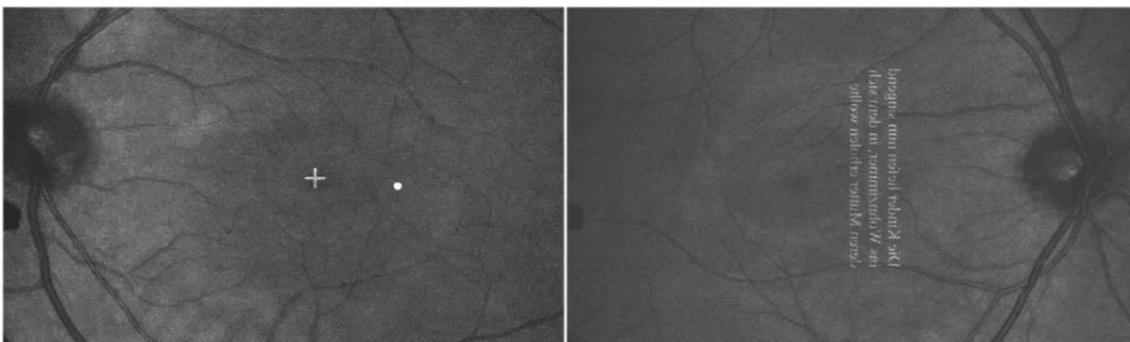


Abbildung 12 Links: Bild aus laufender SLO-Mikroperimetrie: Fundus mit Fixationskreuz und Stimulus. Rechts: Fundus mit senkrechtem Text zur Leseuntersuchung.

Die eigentliche Leseuntersuchung am SLO, die bei jedem Besuch der einzelnen Probanden durchgeführt wurde, besteht aus einer PowerPoint Präsentation, die den Probanden direkt im Gerät dargeboten wurde.

Um die Blendung der Probanden zu minimieren, wurde auf weiße Schrift auf schwarzem Bildschirmhintergrund zurückgegriffen. Da das SLO mit einem Helium-Neon-Laser arbeitet, erscheint diese Schrift für den Probanden im SLO leuchtend rot auf schwarzen Hintergrund.

Die Präsentation bestand zunächst aus einem Fixationskreuz, wie es auch am Infrarot-Eyetracker genutzt wurde, das die Probanden 20 Sekunden lang fixieren sollten, um auch hier noch einmal die Fixation zu beurteilen und sich über die Position der Fovea im Klaren zu sein.

Anschließend wurden den Probanden fünf Einzelwörter mit vier bis sechs Buchstaben dargeboten. Diese sollten zunächst vorgelesen werden. Dann wurde der Proband gebeten, je nach Seite seines Gesichtsfelddefektes, den ersten oder den letzten Buchstaben eines Wortes anzuschauen und dann Auskunft darüber zu geben, wie viele Buchstaben er in Richtung des blinden Halbfeldes neben dem fixierten Buchstaben noch sehen konnte.

Bei Probanden der Gruppe „Vertikal“ schlossen sich daran fünf Wörter in vertikaler Orientierung an, bei denen immer auf den ersten Buchstaben geschaut wurde und dann die gesehenen Buchstaben in Leserichtung abgefragt wurden.

Die zweite Aufgabe bestand darin, kurze Texte aus den Radner Lesetafeln laut vorzulesen. Pro Leserichtung (horizontal und vertikal) wurden zwei unterschiedliche Texte angeboten, wobei beim jeweils ersten die Lasereinstellungen so gewählt wurden, dass der Text sich deutlich auf der Netzhaut abzeichnete, während beim zweiten Text der Fokus auf einer optimalen Darstellung des Fundus lag und möglichst keine Textüberlagerung das Bild stören sollte. Die Darstellungsgröße wurde, analog zum Infrarot Eyetracking, 1,6-fach so groß wie Zeitungsdruck gewählt.

Um dies zu erreichen wurde im ersten Fall der Helium-Neon-Laser, der für die Projektion der Schrift verantwortlich war, möglichst hell eingestellt, und diesem dann

so viel Infrarotlaser wie nötig zugemischt wurde. Für die Fundusaufnahmen wurde dann der Anteil des Helium-Neon-Lasers stark verringert, sodass die Schrift im Bild nicht mehr zu sehen war, der Proband sie aber trotzdem noch gut lesen konnte.

### **Der Impact of Vision Impairment Test (IVI)**

Zur Erfassung der sehbezogenen Lebensqualität, wurde mit dem IVI ein etablierter Fragebogen, insbesondere für die Evaluation von Rehabilitationsbemühungen, gewählt. In der ersten Version noch mit 32 Items [59], untersuchen nun 28 Items unterschiedliche Situationen, die Probanden durch ihre eingeschränkte Sehkraft im Alltag behindern könnten. Die Antwortmöglichkeiten für jedes Item sind in vier Stufen von „überhaupt nicht“ (beeinträchtigt) bis „sehr oft“ unterteilt und es wird nach der Häufigkeit gefragt, mit der Aufgaben des täglichen Lebens durch die Sehbehinderung erschwert oder behindert werden, sowie nach emotionaler Belastung durch selbige. Als fünfte Antwortmöglichkeit gibt es bei Fragen nach alltäglichen Verrichtungen noch die Antwort „Das tue ich aus anderen Gründen nicht“.

Ursprünglich war geplant, den Fragebogen durch die Probanden selbst ausfüllen zu lassen, da Weih et al. [54] eine gute Übereinstimmung zwischen Selbsttest und Tests durch eingewiesene Untersucher berichtet. In unserem Kollektiv wurde aber rasch klar, dass die Probanden die Fragen oft missverstanden und aufgrund der stark eingeschränkten Lesefähigkeit der Zeitaufwand für den Selbsttest ausgesprochen hoch war. Im Rahmen der Studie wurden die Fragen daher durch den Untersucher vorgelesen, den Probanden aber nicht weiter erläutert.

### **Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit IBM SPSS Statistics 26. Es wurde stets unter listenweisem Fallausschluss gearbeitet und ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  verlangt. (vgl.: <https://libguides.library.kent.edu/SPSS/Explore>).

Deskriptiv erfolgte die Datendarstellung jeweils mit Median und Interquartilenabstand, zumeist als Boxplot und nach den drei Untersuchungszeitpunkten T1-3 aufgeteilt.

Zusätzlich erfolgte die Auswertung in Gruppen nach Seite des Gesichtsfeldausfalles sowie Zugehörigkeit zu Interventionsgruppe (Gruppe A) oder der Kontrollgruppe (Gruppe B).

Eine Testung auf Normalverteilung erfolgte per Shapiro-Wilk- und Kolmogorov-Smirnov-Test unter Zuhilfenahme von grafischen Hinweisen (Quantil-Quantil-Diagramme und Histogramme).

Im Falle normalverteilter Daten wurde als parametrischer Bestätigungstest ein T-Test durchgeführt, andernfalls kamen nichtparametrische Tests zum Einsatz (Friedmann mit post-hoc Bestätigung per Wilcoxon signed-rank-Test.)

Bei drei Testpunkten (T1-3) greift laut Hochberg [60] der Sonderfall einer „closed testing procedure“, sodass keine zusätzliche Korrektur für multiple Tests notwendig war und auf eine Bonferroni-Korrektur verzichtet wurde.

Auf allzu kleinteilige Gruppenaufteilung, beispielsweise nach Gesichtsfeldausfall und Gruppenzugehörigkeit gleichzeitig, wurde bei der geringen Probandenzahl zumeist verzichtet.

Die Lesekurven aus den Eyetracking-Untersuchungen (siehe dort) wurden von Hand ausgezählt und die erhobenen Daten nach oben beschriebenen Methoden beurteilt.

Zur Beurteilung des postulierten, linearen Zusammenhangs zwischen unterschiedlichen Methoden der Messung und Abschätzung der makularen Aussparung, wurden Korrelationen nach Pearson berechnet.

Die unten berichteten Ergebnisse des häuslichen Lesetrainings bestehen aus den Medianen der Lesegeschwindigkeit jeweils der ersten 3 Trainingstage (nahe an T1) und der letzten 3 Trainingstage (kurz vor T2). Der Median wurde gewählt, um die Verfälschung der Daten durch Fehlmessung aufgrund von fehlerhafter Programmbedienung zu minimieren: Durch zu langes gedrückt halten der „weiter“ oder „zurück“-Taste war es möglich, viele Zeilen Text innerhalb von Sekundenbruchteilen zu durchlaufen, was die Trainingssoftware veranlasste, für alle betroffenen Zeilen eine gigantische Lesegeschwindigkeit zu berechnen (sehr viele Zeilen pro Zeiteinheit). Auf der anderen Seite kam es vor, dass Probanden bei einzelnen Zeilen über Stunden verweilten, da eine ordnungsgemäße Beendigung des Trainingsprogrammes unterblieben war. Mithilfe des Medians als Maß für die Lesegeschwindigkeit, konnten beide Effekte weitgehend unterdrückt werden.

Der MoCA-Test arbeitet mit einem Summscore und Parallelversionen für die drei Untersuchungszeitpunkte T1-3. Die statistische Beschreibung und Beurteilung erfolgten wie oben beschrieben.

Bei der Auswertung des IVI-Questionnaires für sehbezogene Lebensqualität wurden einzelne fehlende Datenpunkte, sowie die Auswahlmöglichkeit „ich mache das aus anderen Gründen nicht“ (8 Punkte) bei der Berechnung der Mittelwerte außen vor gelassen [61]. Für die 8-Punkte Antwort ist dies durch die Autoren so vorgesehen, bei wenigen fehlenden Werten und geringen Effekten auf den Mittelwert aus 28 Items, erschien ein analoges Vorgehen angemessen.

### 3. Ergebnisse

Zunächst sollen die statistischen Daten der Hauptparameter der vorliegenden Studie tabellarisch dargestellt werden. In der Folge werden dann die einzelnen Untersuchungen und Ergebnisse näher beschrieben und graphisch dargestellt.

*Tabelle 3: Zusammenfassung der statistischen Daten. A/B: Gruppe A, vertikales Training. Gruppe B, horizontales Training. HH: Homonyme Hemianopsie mit Gesichtsfeldausfall nach rechts/links. Training zu Hause: mediane Lesegeschwindigkeit der ersten drei Trainingstage (unter T1) und der letzten drei Trainingstage (unter T2). Δ: Signifikanter Unterschied? W: post-hoc Wilcoxon Test. F: Friedmann Test. Sonst: T-Test, paarweise. Keine Bonferroni-Korrektur notwendig bei drei Untersuchungszeitpunkten.*

	N	T1	T2 Median (Interquartilenabstand)	T3	Δ T-Test wenn nicht anders beschrieben
<u>Lesegeschwindigkeit</u>					
IReST vertikal	11	90 (44.56–112.00)	104 (56.50–116.40)	104 (58.20–111.00)	T1-T2: p = 0.007 T1-T3: p = 0.006
HH rechts	6	93.85 (46.66–102.04)	104.50 (47.44–110.25)	104.70 (49.21–116.25)	T1-T2: p = 0.035 T1-T3: p = 0.030
HH links	5	70 (43.03–116.00)	77 (57.51–130.70)	73 (58.80–121.20)	p > 0.05
IReST horizontal gesamt	21	112.00 (66.75–124.00)	125.00 (87.25–143.39)	123.00 (73.80–138.50)	F: T1-T2-T3: p = 0,013 W: T1-T2: p = 0,014 W: T1-T3: p = 0,009
Gruppe A	11	99.00 (63.00–128.00)	99.28 (77.00–143.00)	115.00 (73.60–131.40)	p > 0.05
Gruppe B	10	112.5 (67.38–123.00)	127.40 (104.00–144.78)	124.5 (71.50–144.56)	F: T1-T2-T3: p = 0.007 W: T1-T2: p = 0.014 W: T1-T3: p = 0.004
HH rechts	10	104.50 (47.78–129.00)	109.75 (57.23–143.20)	119.00 (59.00–130.35)	T1-T2 p > 0.05 T1-T3 p = 0.02
HH links	11	113.00 (80.00–120.00)	129.80 (99.28–144.00)	126.00 (82.50–141.00)	T1-T2 p = 0.07 T1-T3 p > 0.05
Training zu Hause					
Gruppe A	11	72.93 (39.19–103.55)	103.35 (48.30–118.20)	-	p = 0.002
Gruppe B	10	126.72 (74.69–142.69)	148.70 (82.69–165.79)	-	p = 0.052
<u>Sonstiges</u>					
Montreal Cognitive Assessment	21	24(21.50-26.50)	25(21.50-27.50)	25(21.50-28.50)	p > 0.05
Impact of Vision Impairment	21	1,25 (1,24)	0,95 (1,14)	0,68 (0,95)	T1-T2 p = 0,006 T1-T3 p = 0,000

## Lesegeschwindigkeit (IREST)

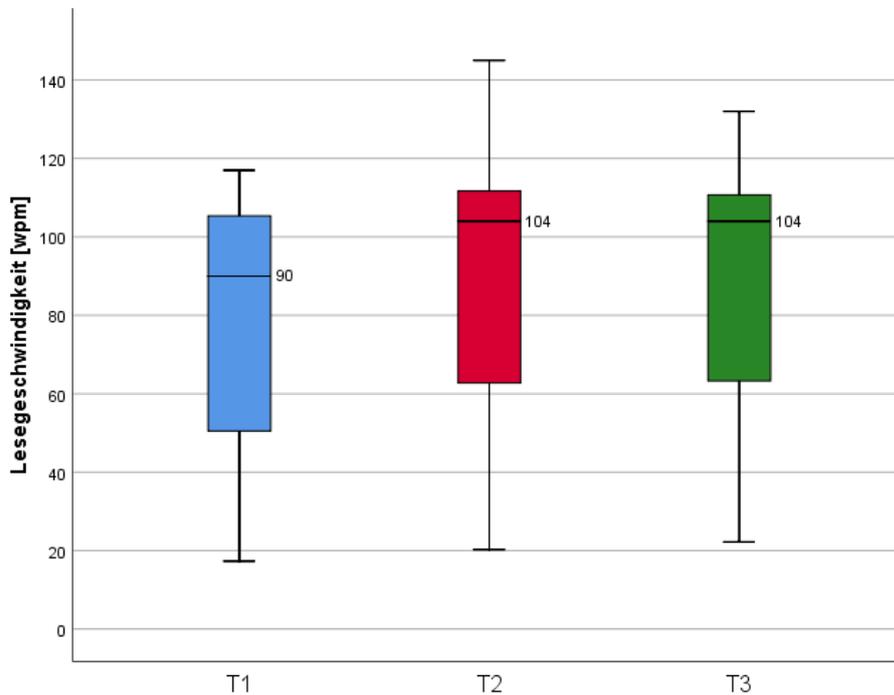


Abbildung 13: Lesegeschwindigkeit IReST senkrecht, Gruppe A zu T1-3, signifikante Verbesserung von T1 nach T2 ( $p = 0.007$ ), die bei T3 erhalten bleibt

Die Interventionsgruppe verbesserte sich beim vertikalen Lesen signifikant ( $p = 0.007$ ), und mit 14 Wörtern pro Minute auch klinisch relevant. Dieses Geschwindigkeitsniveau blieb bei der Kontrolluntersuchung nach 4 Wochen erhalten.

Eine Gruppierung nach der Seite des Gesichtsfeldausfalles, zeigte für beide Gruppen eine Zunahme der Lesegeschwindigkeit von T1 nach T2, die für die Probanden mit rechtsseitiger Hemianopsie statistisch signifikant war und zu T3 stabil blieb, für die Probanden mit linksseitiger Hemianopsie zeigte sich kein signifikanter Anstieg und die mediane Lesegeschwindigkeit sank zu T3 leicht.

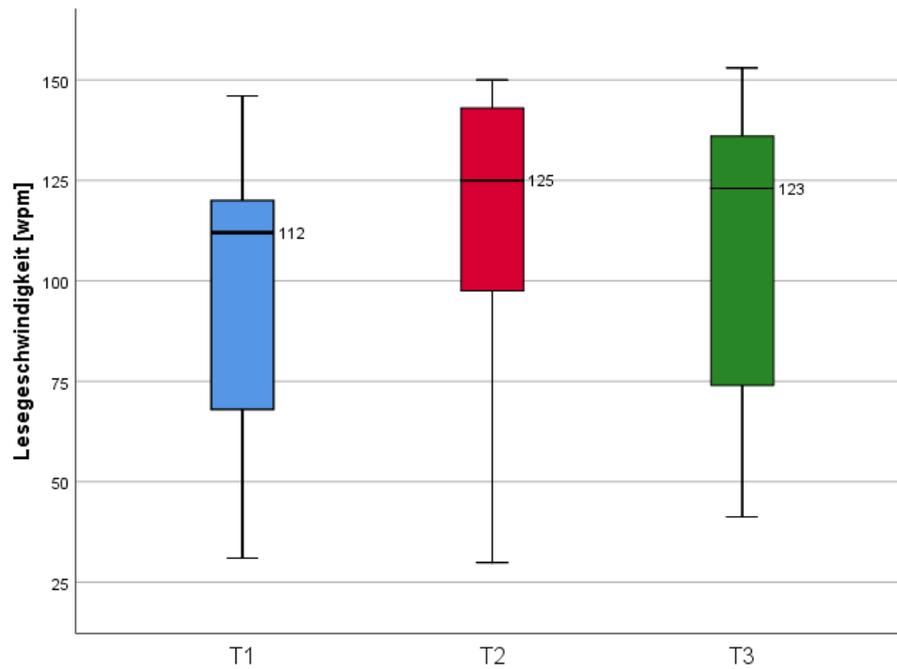


Abbildung 14: IReST Lesegeschwindigkeit horizontal, Gesamtkollektiv zu T1-3, die mediane Lesegeschwindigkeit nimmt von 112 wpm auf 125 wpm statistisch signifikant zu ( $p = 0,014$ ).

Die horizontale Lesegeschwindigkeit verbesserte sich im gesamten Teilnehmerfeld statistisch signifikant und klinisch relevant von T1 zu T2 und blieb auf diesem Niveau zu T3 erhalten.

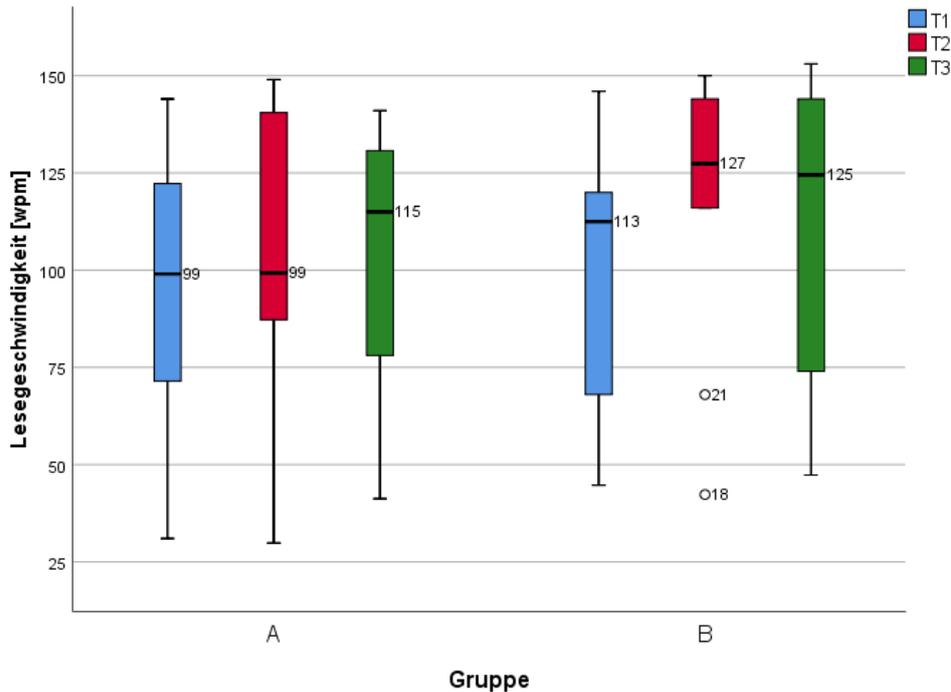


Abbildung 15: IReST Lesegeschwindigkeit horizontal zu T1-3, geteilt nach Trainingsgruppe. Gruppe B mit statistisch signifikanter Geschwindigkeitszunahme von T1 auf T2 ( $p = 0.014$ )

Geteilt nach Trainingsgruppe zeigte die Kontrollgruppe (Gruppe B) zunächst eine deutliche Verbesserung von T1 auf T2, die Interventionsgruppe (Gruppe A) zeigte in dieser Zeit keine signifikante Veränderung der Lesegeschwindigkeit. Von T2 auf T3 erreichte die Interventionsgruppe dann aber eine vergleichbare, allerdings nicht statistisch signifikante, Verbesserung der Lesegeschwindigkeit bei horizontalem Text. Der Geschwindigkeitszugewinn im Vergleich zum Ausgangswert fiel über die gesamte Studiendauer damit bei der Interventionsgruppe minimal höher aus (16wpm/12wpm).

Eine Aufteilung aller Probanden nach Seite des Gesichtsfeldausfalls zeigte eine deutliche initiale Geschwindigkeitszunahme bei den linksseitig Hemianopen. Zu T3 erreichten dann auch die rechtsseitig Hemianopen eine vergleichbare Steigerung der Lesegeschwindigkeit. Von weiteren Aufteilungen wurde aufgrund der geringen Gruppengrößen abgesehen.

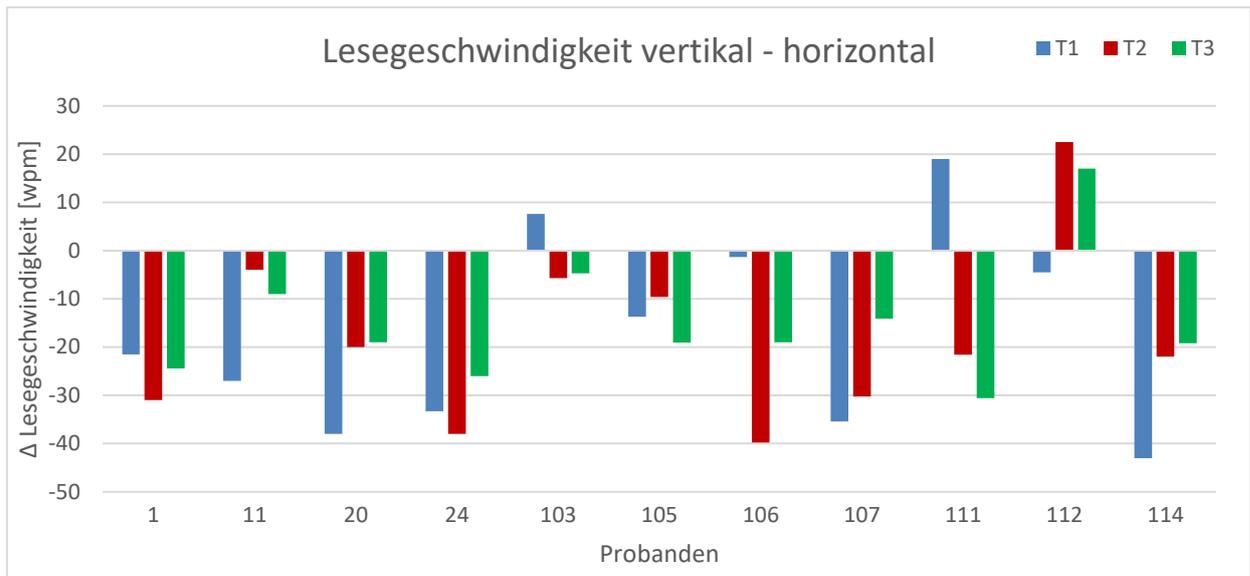


Abbildung 16: Differenz der vertikalen und horizontalen Lesegeschwindigkeit zu den Untersuchungszeitpunkten T1-3, jeweils den einzelnen Probanden zugeordnet. Probanden 11, 20, 112 und 114 zeigen die erhoffte zeitliche Entwicklung.

Dargestellt ist, für jeden Probanden der Interventionsgruppe einzeln, die Differenz zwischen vertikaler und horizontaler Lesegeschwindigkeit über die drei Untersuchungszeitpunkte, sodass der individuelle Verlauf dieser Differenz verfolgt werden kann. Ein negativer Wert steht dabei für eine – absolut – schnellere Lesegeschwindigkeit bei horizontalem Text, während ein positiver Wert eine höhere Lesegeschwindigkeit in der Vertikalen anzeigt. Vier Probanden (11, 20, 112, 114) zeigten von T1 auf T2 eine deutliche Verlagerung dieser Differenz hin zu positiveren Werten. Ein Proband davon erreichte in senkrechter Leserichtung höhere Lesegeschwindigkeiten zu T2 und T3 als in waagrechter. Die Einzelverläufe dieser vier Probanden sollen im nächsten Abschnitt noch einmal genauer beleuchtet werden. Die überwiegende Mehrheit der Probanden las zu jedem Zeitpunkt in horizontaler Leserichtung schneller als in vertikaler.

### **Einzelverläufe der Profiteure**

In der Folge sollen die oben erwähnten Probanden, die schließlich einen Geschwindigkeitsvorteil durch Lesen in vertikaler Textorientierung hatten oder zumindest im vertikalen Lesen deutlich näher an ihre horizontale Lesegeschwindigkeit heranrückten, noch einmal genauer beleuchtet werden.

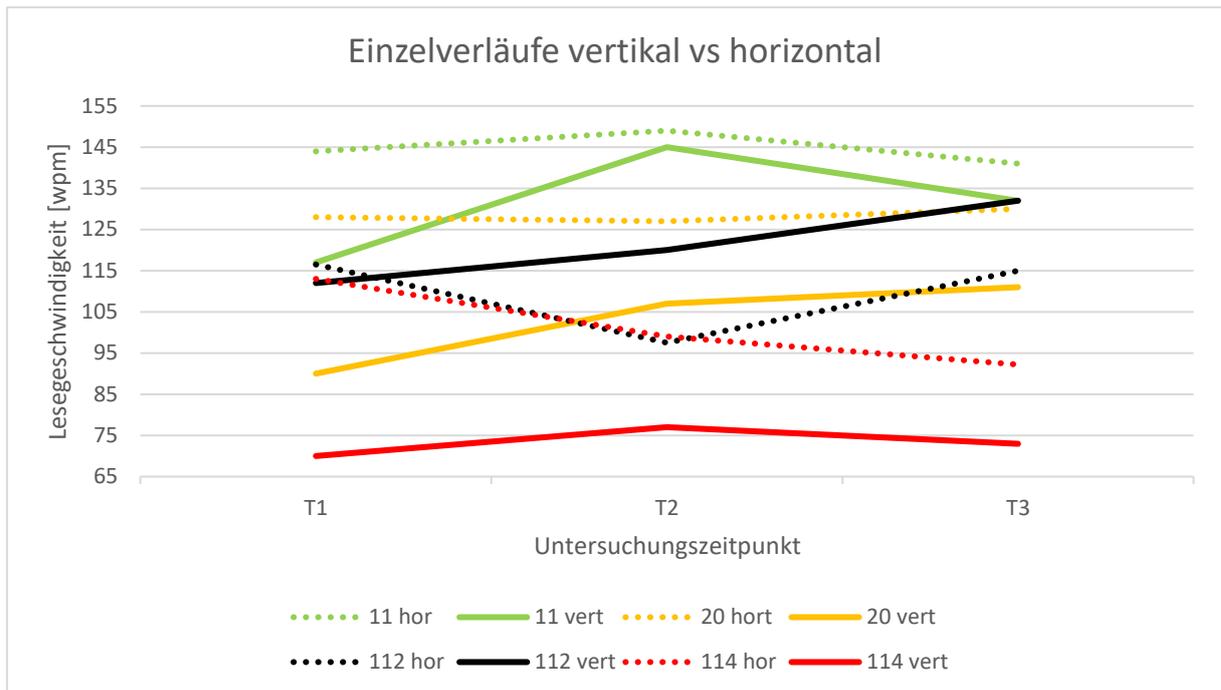


Abbildung 17: Die vertikale und horizontale Lesegeschwindigkeit der vier Probanden, aufgetragen nach Untersuchungszeitpunkt. Gleiche Farben stellen jeweils einen Probanden dar, die unterbrochene Linie dabei die horizontale, die durchgezogene die vertikale Lesegeschwindigkeit. Detaillierte Erläuterungen siehe „Instruktive Einzelverläufe“

Es zeigt sich, dass der Vorteil der vertikalen Leserichtung bei Proband 114 nicht auf eine Verbesserung der zugehörigen, vertikalen, Lesegeschwindigkeit, sondern auf eine Abnahme der horizontalen Lesegeschwindigkeit über den Verlauf der Untersuchung, zurückzuführen ist. Die Probanden 11 und 20 änderten ihre horizontale Lesegeschwindigkeit kaum und kamen mit der vertikalen rasch in ähnliche Geschwindigkeitsdimensionen. Lediglich Proband 112 übertraf mit der vertikalen Lesegeschwindigkeit zu T2 die horizontale deutlich. Das Verhältnis blieb hier auch zu T3 auf Seiten der vertikalen Lesegeschwindigkeit.

Die vier Probanden werden im Rahmen der Diskussion noch einmal genauer beschrieben und diskutiert.

### Subjektive Rückmeldung zum Training

Im Rahmen der nicht standardisierten Rückmeldung der Teilnehmer zu Vor- und Nachteilen des Trainings und ihrem persönlichen Eindruck wurde mehrfach die Verwunderung zum Ausdruck gebracht, wie gut das senkrechte Lesen funktionieren

kann. Allerdings gaben alle Probanden an, dass die zusätzliche Anstrengung und Umstellung in keinem Verhältnis zum Zugewinn an Lesegesichtsfeld standen. Mehrere Probanden vermuteten, dass dieses Verhältnis zu Beginn der Rehabilitation ihrer Lesefähigkeit ein anderes gewesen wäre und sie gerne bereits zu diesem Zeitpunkt die nun durchgeführte Studie versucht hätten. Diese wertvollen Hinweise finden in der Diskussion Aufnahme.

## **Eyetracking**

Die Untersuchungen mit dem Infrarot-Limbus-Eyetracker JAZZnovo:



*Abbildung 18: Lesekurve Ober Eyetracking: der Proband liest 4 Zeilen, in der zweiten Zeile sind dabei mehrere Regressionen nötig, bei den Zeilenrücksprüngen Nummer 1 und 3 zeigt der Proband einen „Add-to-Return-Sweep“ (Kreis)*

Abbildung 18 zeigt zunächst einen Datensatz aus der JazzManager-Auswertung von sehr guter Qualität. Dargestellt ist der Lesevorgang eines Probanden mit linksseitiger Hemianopsie. Dabei ist die horizontale Limbusposition auf der Ordinate über die Zeit aufgetragen. Der Proband liest hier vier Zeilen und zeigt beim Zeilenrücksprung wiederholt Add-to-Return-Sweeps.

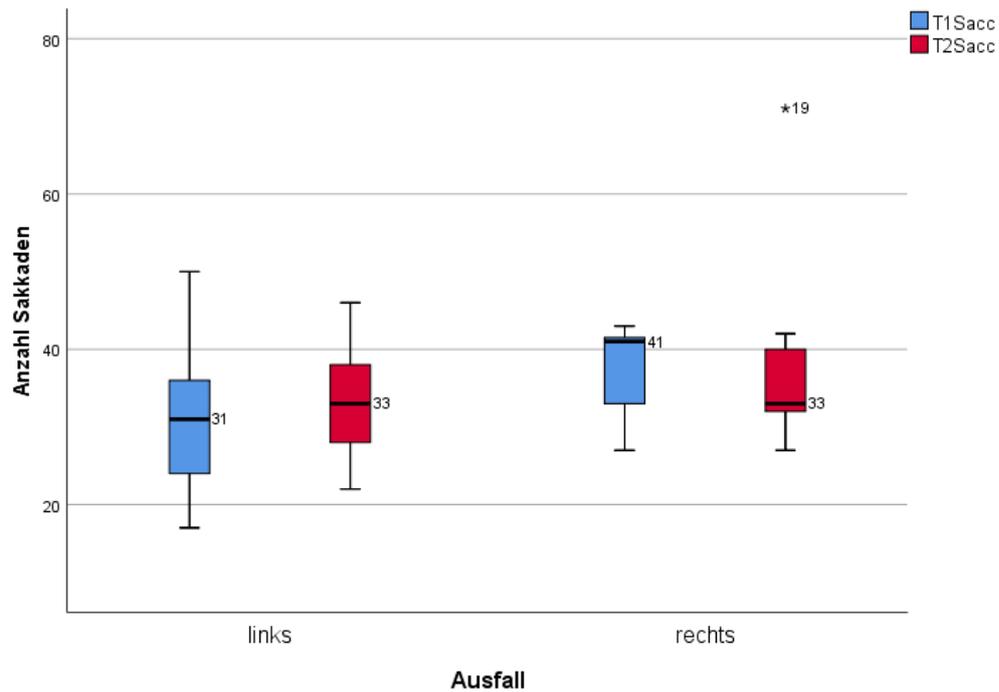


Abbildung 19: Anzahl der Sakkaden in Leserichtung zu T1 und T2 bei horizontalem Lesen, aufgeteilt nach Seite des Gesichtsfeldausfalls. Der Unterschied bei den Probanden mit rechtsseitiger Hemianopsie zeigt keine statistische Signifikanz ( $p > 0.05$ )

Bei den rechtsseitig Hemianopen zeigte sich eine Abnahme der Sakkadenzahl, die allerdings nicht statistisch signifikant war.

Die Aufteilung nach Trainingsgruppe erbrachte keine signifikanten Resultate.

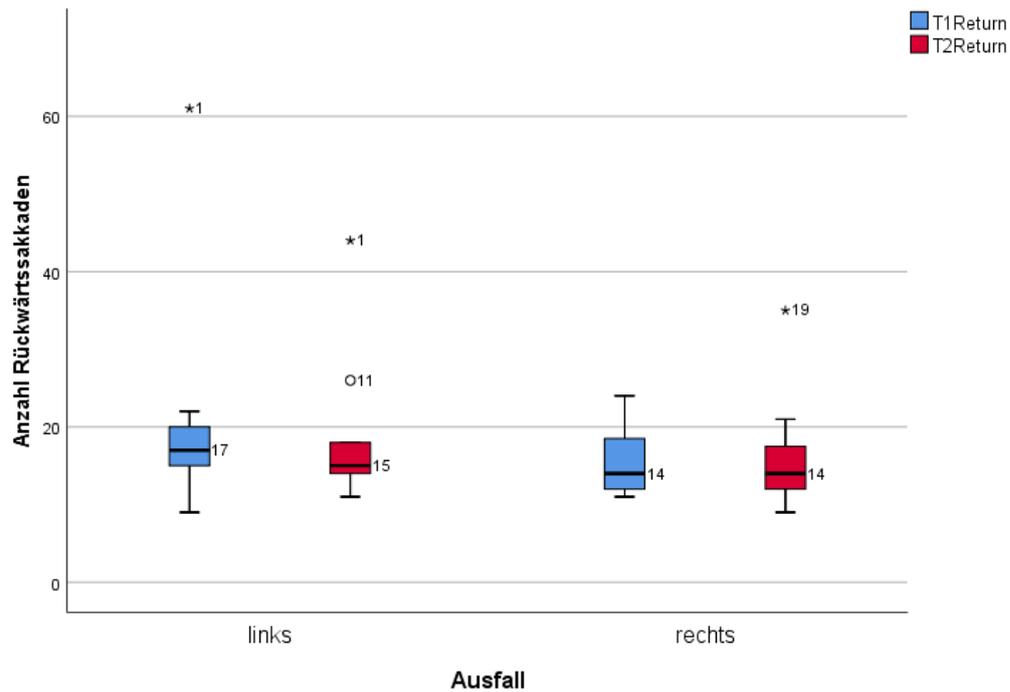


Abbildung 20: Sakkaden gegen die Leserichtung (Rückwärtssakkaden) zu T1 und T2 bei horizontalem Lesen, geteilt nach Trainingsgruppe. Kein signifikanter Unterschied ( $p > 0.05$ )

Die Anzahl der erfolgten Rückwärtssakkaden nimmt bei den linksseitig Hemianopen ab, bei den rechtsseitigen zeigt sich kein Unterschied. Der beschriebene Unterschied ist nicht statistisch signifikant.

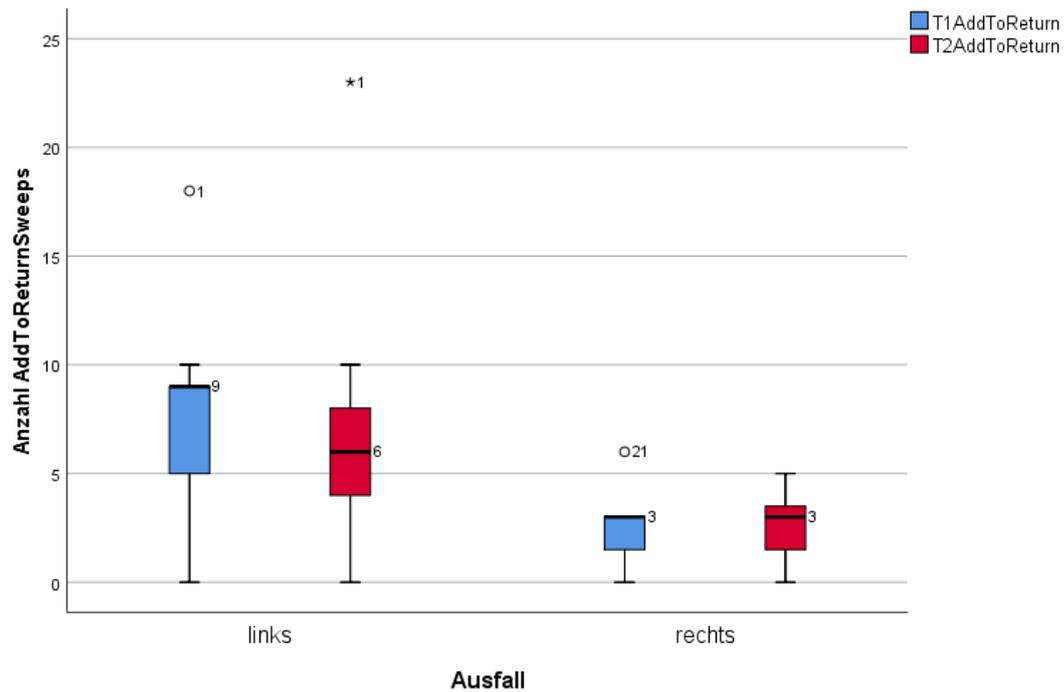


Abbildung 21: Anzahl der „Add-to-Return-Sweeps“ zu T1 und T2 bei horizontalem Lesen, geteilt nach Seite des Gesichtsfeldausfalls. Kein signifikanter Unterschied. ( $p > 0.05$ )

Bei den linksseitig Hemianopen zeigt sich eine Abnahme der Add-to-Return-Sweeps, das Ergebnis ist nicht statistisch signifikant. Bei rechtsseitigem Gesichtsfeldausfall zeigt sich kein Unterschied.

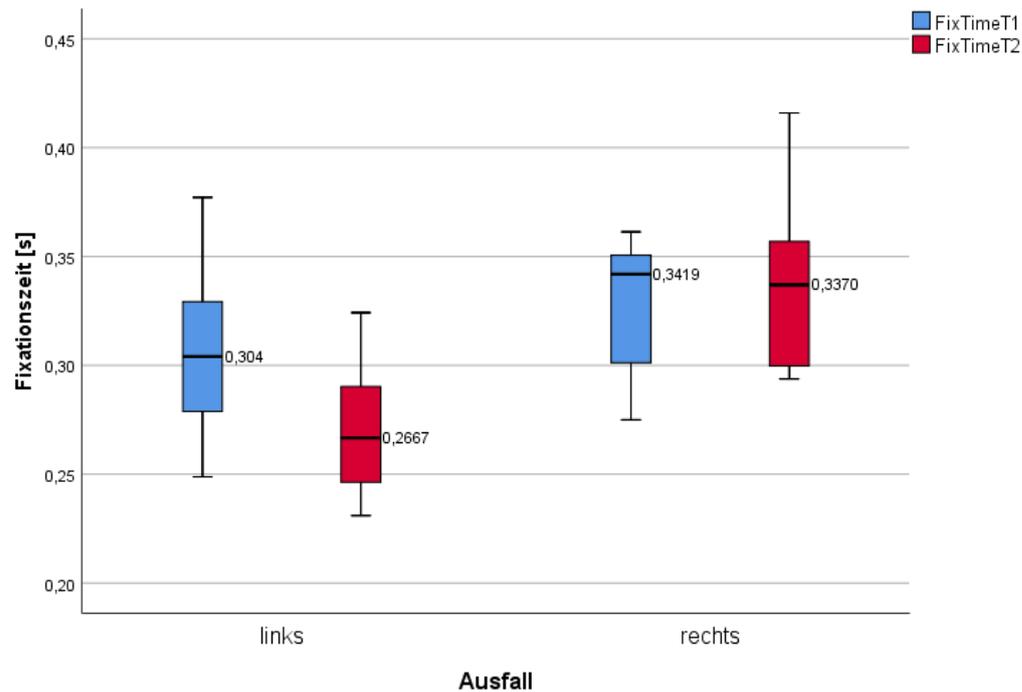


Abbildung 22: Fixationszeit im Mittel zu T1 und T2 bei horizontalem Lesen, geteilt nach Seite des Gesichtsfeldausfalls. Fixationszeiten bei T2 reduziert, keine statistische Signifikanz ( $p > 0,05$ )

Die durchschnittlichen Fixationszeiten nehmen von T1 nach T2 ab, der Effekt ist jedoch nicht statistisch signifikant. Er zeigt sich bei den linksseitig Hemianopen ausgeprägter als bei den rechtsseitigen.

Es erfolgte keine statistische Auswertung der vertikalen Augenbewegungen, da die Qualität der aufgezeichneten Lesekurven für eine Beurteilung nicht ausreichte.

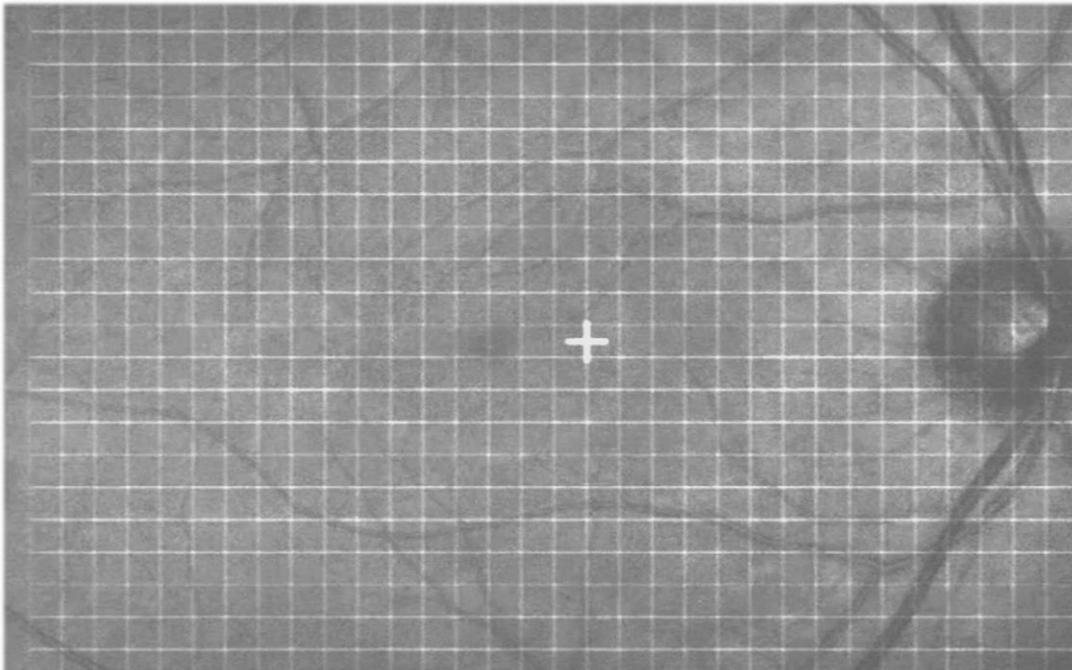
### Schätzung makuläre Aussparung

Sowohl in der Testung der Lesegeschwindigkeit an gedrucktem Text, als auch in der Untersuchung am Scanning-Laser-Ophthalmoskop, wurden die Probanden gebeten, einen Buchstaben zu fixieren und die Anzahl der noch sichtbaren Buchstaben in Richtung ihres Gesichtsfeldausfalls zu nennen. Damit sollte dann die makuläre Aussparung grob abgeschätzt werden.

Im Rahmen der Leseuntersuchungen bei den drei Vorstellungsterminen, wurde zudem jeweils ein SKread Test durchgeführt, von einer detaillierten Auswertung wurde aber abgesehen, da die beschriebenen „typischen Lesefehler“ in der untersuchten Kohorte nicht auftraten.

## SLO

Einen Unsicherheitsfaktor der oben beschriebenen Methode stellt die Fixation des Probanden dar. Im Scanning-Laser-Ophthalmoskop lässt sich die Stelle im Wort, die der Proband fixiert, eindeutig identifizieren. In Abbildung 12 ist ein Bild aus dem SLO dargestellt: Zu sehen ist der Augenhintergrund eines Probanden mit der Makula als kreisförmiger dunkler Struktur mittig im Bild. Der Proband fixiert das Kreuz, das direkt auf seine Netzhaut projiziert wird. Ebenso direkt auf der Netzhaut kann das 1-Grad dichte Netz der Mikroperimetrie sichtbar gemacht werden:



*Abbildung 23: Abbildung aus SLO Mikroperimetrie: Augenhintergrund mit Überlagerung des 1° Rasters der Mikroperimetrie*

Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen der Anzahl der gesehenen Buchstaben der klinischen Testung und derer unter Fixationskontrolle per SLO (Tabelle 4). Die Korrelation zwischen den Untersuchungen mit unterschiedlichen Methoden, aber zum gleichen Zeitpunkt, zeigen stets einen statistisch signifikanten, starken Effekt (Korrelation nach Pearson stets  $r > 0,5$  mit  $p < 0,03$ ).

Eine Korrelation dieser klinisch erhobenen Daten mit den mikroperimetrischen Ergebnissen, zeigte sich in den dargestellten Daten nicht (Korrelation nach Pearson stets  $r < 0,4$ ).

Tabelle 4: Korrelationstabelle nach Pearson. Buchst.hor\_T1-T3: sichtbare Buchstaben in Richtung des Gesichtsfeldausfalls im Rahmen der klinischen Untersuchung. Buchst.SLOhor\_T1-T3: wie vorheriges, allerdings im Rahmen der SLO-Untersuchung unter Funduskontrolle (Kontrolle der Fixationsgenauigkeit). Mikroperimetrie: Ergebnis der detaillierten SLO-Mikroperimetrie in Sehgrad. Starke Korrelation zwischen zusammenhängenden klinischen Ergebnissen. Keine Korrelation zu SLO-Mikroperimetrie.

		Korrelationen						
		Buchst. hor_T1	Buchst. hor_T2	Buchst. hor_T3	Buchst. SLOhor_T1	Buchst. SLOhor_T2	Buchst. SLOhor_T3	Mikro- perimetrie
Buchst.hor_T1	Korrelation nach Pearson	1	,600**	,379	,524*	,380	,526*	,219
	Signifikanz (2-seitig)		,004	,090	,021	,109	,021	,340
	N	21	21	21	19	19	19	21
Buchst.hor_T2	Korrelation nach Pearson	,600**	1	,417	,416	,632**	,303	,286
	Signifikanz (2-seitig)	,004		,060	,076	,004	,208	,208
	N	21	21	21	19	19	19	21
Buchst.hor_T3	Korrelation nach Pearson	,379	,417	1	,477*	,443	,504*	,093
	Signifikanz (2-seitig)	,090	,060		,039	,058	,028	,690
	N	21	21	21	19	19	19	21
Buchst.SLOhor_T1	Korrelation nach Pearson	,524*	,416	,477*	1	,610**	,809**	-,039
	Signifikanz (2-seitig)	,021	,076	,039		,007	,000	,873
	N	19	19	19	19	18	18	19
Buchst.SLOhor_T2	Korrelation nach Pearson	,380	,632**	,443	,610**	1	,652**	,309
	Signifikanz (2-seitig)	,109	,004	,058	,007		,002	,197
	N	19	19	19	18	19	19	19
Buchst.SLOhor_T3	Korrelation nach Pearson	,526*	,303	,504*	,809**	,652**	1	,197
	Signifikanz (2-seitig)	,021	,208	,028	,000	,002		,419
	N	19	19	19	18	19	19	19
Mikroperimetrie	Korrelation nach Pearson	,219	,286	,093	-,039	,309	,197	1
	Signifikanz (2-seitig)	,340	,208	,690	,873	,197	,419	
	N	21	21	21	19	19	19	21

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

## Mikroperimetrie:

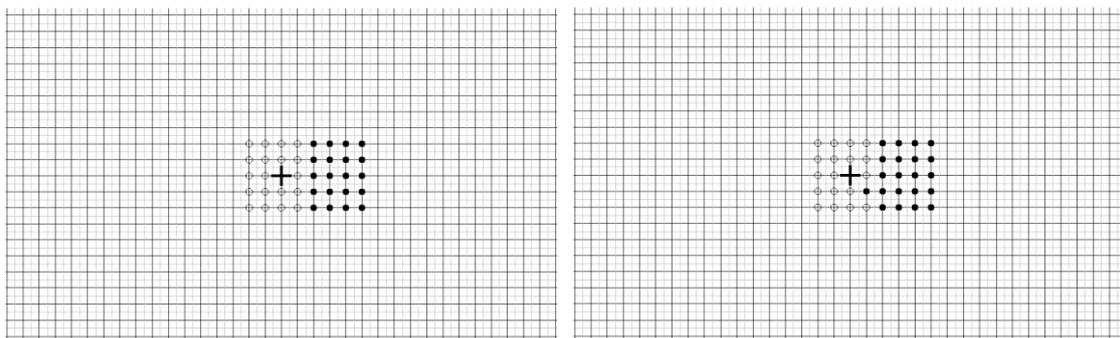


Abbildung 24: SLO-Mikroperimetrie, ½ Grad Raster, linke und rechte Seite desselben Probanden, Untersuchung der zentralen 5 Sehgrad in Richtung des Ausfalls und 2° zur Gegenseite.

Dargestellt ist beispielhaft das Ergebnis der Mikroperimetrie eines Probanden mit rechtsseitiger Hemianopsie. Ausgefüllte Punkte symbolisieren nicht erkannte Stimuli,

während ungefüllte Kreise die gesehene anzeigen. Links ist das Gesichtsfeld des linken Auges, rechts das des rechten abgebildet. Um nun das resultierende homonyme zentrale Gesichtsfeld zu erhalten, müssen beide Messungen überlagert werden. Nur Punkte, die von beiden Augen nicht gesehen wurden, stellen einen Teil des homonymen Gesichtsfeldausfalles dar. Bei diesem Probanden handelt es sich damit um eine vollständige homonyme Hemianopsie nach rechts, mit einer makularen Aussparung von einem Sehgrad. Die Verteilung der makularen Aussparung ist im Kapitel „Das Studienkollektiv“ aufgeführt und unterschied sich zwischen den Behandlungsgruppen nicht signifikant (Gruppe A:  $1,5^\circ$  IQR  $0-5^\circ$ ; Gruppe B  $0,9^\circ$  IQR  $0-4^\circ$  Gruppenvergleich:  $p > 0,05$ )

### **Auswertung des häuslichen Lesetrainings**

Um die Nutzung des Lesetrainings zu überwachen und gleichzeitig Daten über den Fortschritt der Probanden zu sammeln, erhob das verwendete Trainingsprogramm die Trainingsdauer sowie eine aktuelle Lesegeschwindigkeit. Das Soll der Trainingsdauer ergab sich aus den Studienvorgaben: Über die Zeit des Lesetrainings sollte an fünf Tagen in der Woche für je mindestens eine Stunde trainiert werden. Daraus ergaben sich 1200 Minuten bzw. 20 Stunden Gesamttrainingszeit. In der folgenden Graphik sind die tatsächlichen Trainingszeiten der Probanden als Anteil an der Vorgabe aufgeführt.

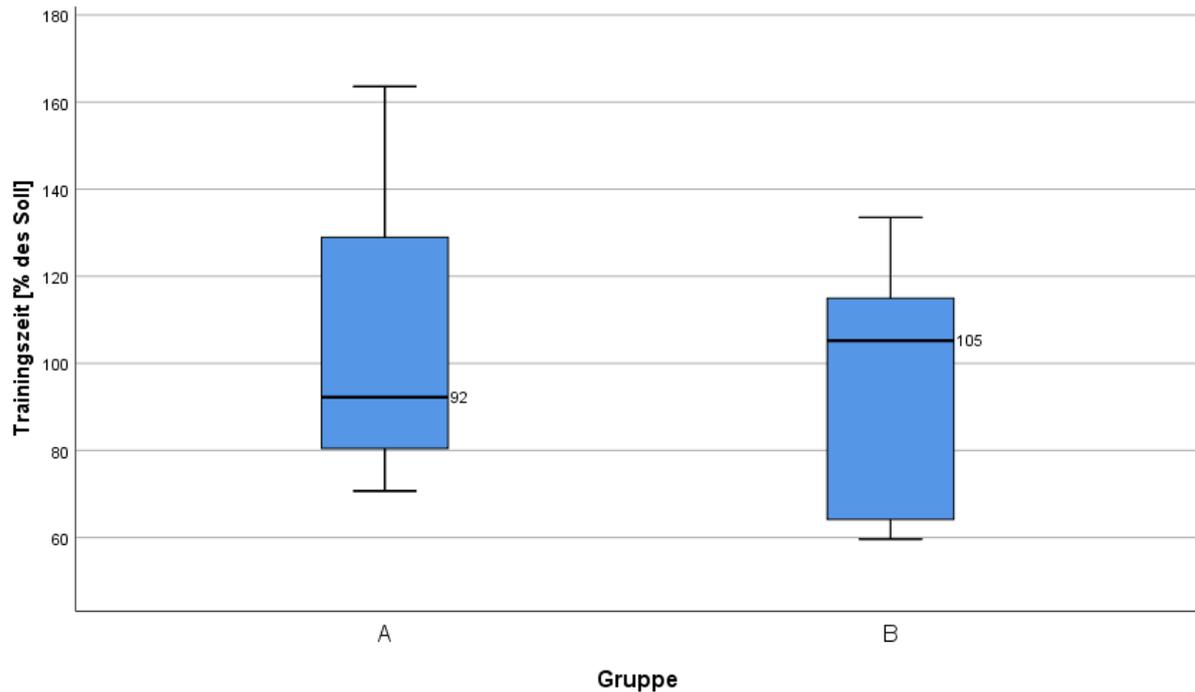


Abbildung 25: Dargestellt ist die tatsächliche Trainingszeit der Probanden in % von einem Soll von 1200 Minuten. (Gruppe A Median: 92,21%, min-max: 70,7-163,6%; Gruppe B Median: 105,21% min-max: 60-133,5% kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p > 0.05$ )).

Es bestand bezüglich der Trainingsintensität kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p > 0.05$ ). Die Compliance der einzelnen Patienten variierte jedoch stark (60% des Soll bis zu 163% des Soll). Drei Probanden wurden, wie eingangs erwähnt, nach T2 aufgrund von zu geringer Trainingszeit ausgeschlossen (60% der geplanten Trainingszeit war zuvor als Minimum definiert worden). Die mittlere Trainingsintensität zeigte sich insgesamt zufriedenstellend, einzelne Probanden entwickelten, insbesondere in der Gruppe A, besonderen Ehrgeiz (Maximum von 163% des Soll).

Die Lesegeschwindigkeiten wurden anhand der protokollierten Zeit und den ebenfalls erfassten Wörtern, die in dieser Zeit vom Trainingsprogramm angezeigt worden waren, ermittelt. Um die Daten etwas weniger fehleranfällig zu machen, wurden die ersten drei mit den letzten drei Tagen des Trainings verglichen. Die Aufteilung erfolgte in Abbildung 26 erneut nach Gruppe, da die beiden Gruppen in unterschiedlicher Orientierung trainiert hatten und sich damit ihre Lesegeschwindigkeiten erwartungsgemäß stark unterschieden.

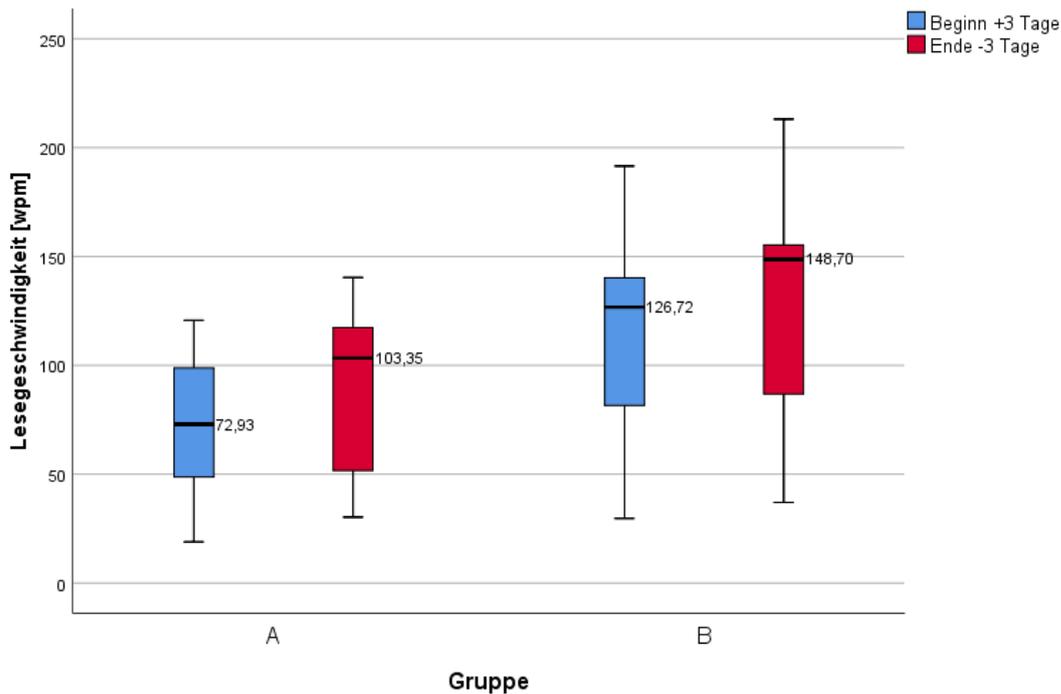


Abbildung 26: Lesegeschwindigkeit, Aufgezeichnet von den Trainingsprogrammen, gemittelt über die ersten und letzten drei Trainingstage. Dabei ist die Lesereichtung gruppenabhängig: Vertikal für A, horizontal für B. Steigerung der Lesegeschwindigkeit von 72,9wpm auf 103,35wpm in Gruppe A statistisch signifikant ( $p = 0,002$ ), in Gruppe B von 126,7wpm auf 148,7 knapp grenzwertig mit  $p = 0,052$ .

Beide Gruppen zeigen einen deutlichen und Gruppe A auch einen statistisch signifikanten Anstieg der Lesegeschwindigkeit über die Dauer des Trainings. Der Anstieg bei Gruppe B konnte das geforderte Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  mit  $p = 0,052$  nicht ganz erreichen. Dabei zeigten die Probanden der Gruppe B insgesamt höhere Lesegeschwindigkeiten als im IReST im Rahmen der Untersuchungstage, die Gruppe A deutlich langsamere Geschwindigkeiten, die sich dem IReST bis zur T2 Untersuchung aber deutlich annäherten (s.u.).

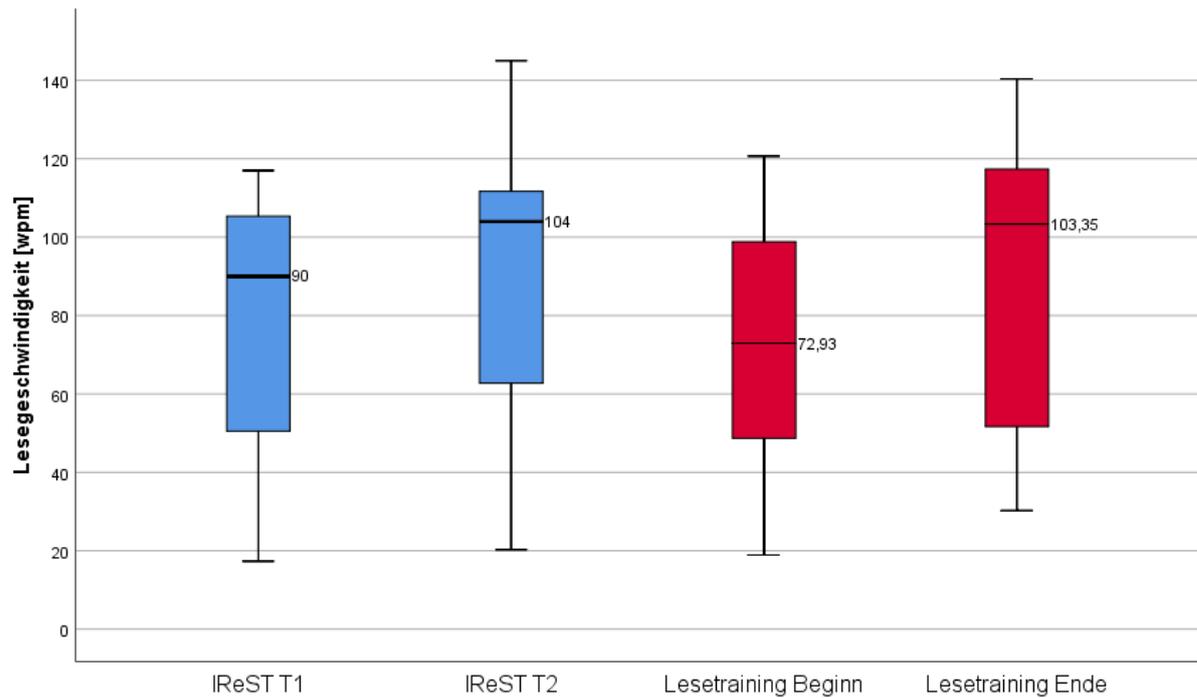


Abbildung 27: Lesegeschwindigkeit vertikal der Gruppe A: im IReST, verglichen zur berechneten Lesegeschwindigkeit, gemittelt über die drei ersten und die drei letzten Trainingstage. Zur Illustration, keine weitere statist. Auswertung.

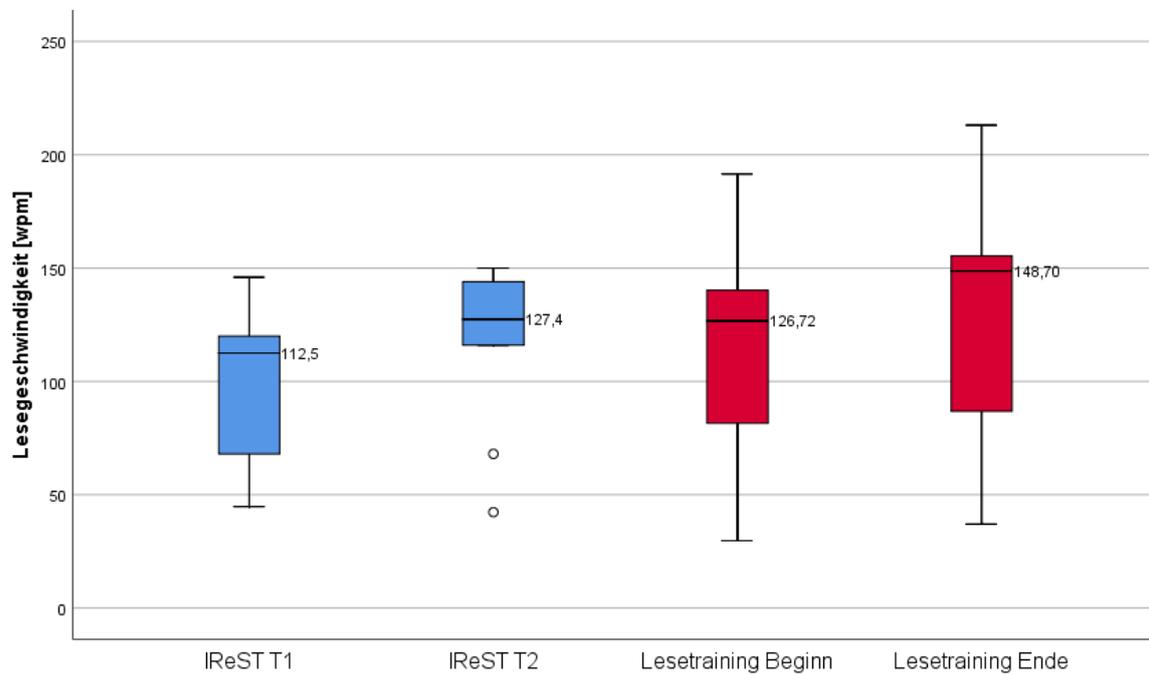


Abbildung 28: Lesegeschwindigkeit horizontal der Gruppe B: im IReST, verglichen zur berechneten Lesegeschwindigkeit, gemittelt über die drei ersten und die drei letzten Trainingstage.

## MoCA Test

Der Montreal Cognitive Assessment Test war als Einschlusstest in die Untersuchungen eingeführt worden. Um eventuelle, größere Änderungen der kognitiven Leistungsfähigkeit, beispielsweise im Rahmen von Komorbidität, auszuschließen, wurden bei T2 und T3 jeweils Retest-Versionen durchgeführt.

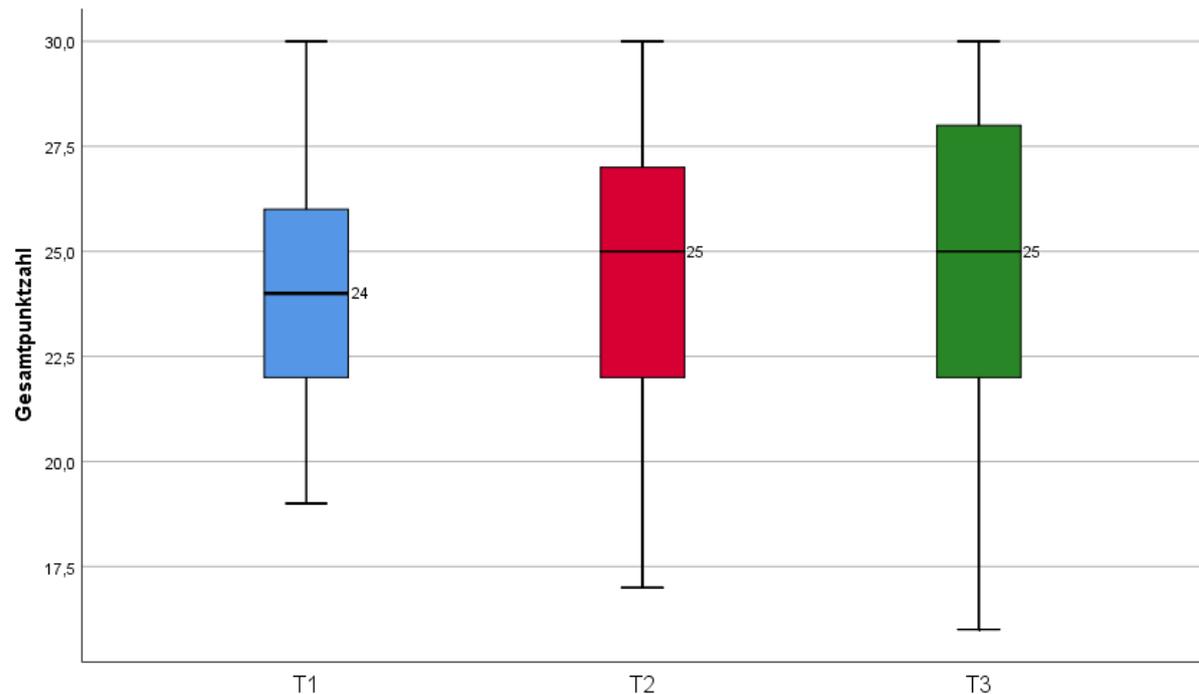


Abbildung 29: Ergebnisse des MoCA Tests zu T1 bis T3 keine signifikante Änderung im Studienverlauf ( $p > 0.05$ )

Über den gesamten Studienverlauf zeigten sich allerdings keine signifikanten Änderungen des Montreal Cognitive Assessment Tests (MoCA).

## Impact of Vision Impairment

Die Gesamtgruppe verbesserte sich im IVI-Score von T1 nach T2 ( $p=0,006$ ) und von T1 nach T3( $p=0,000$ ) signifikant. Die einzelnen Scores ergeben sich aus den Mittelwerten aller Antworten eines Probanden, wobei die Antwort „Das mache ich aus anderen Gründen nicht“ aus der Berechnung ausgeschlossen wurden (siehe [61]).

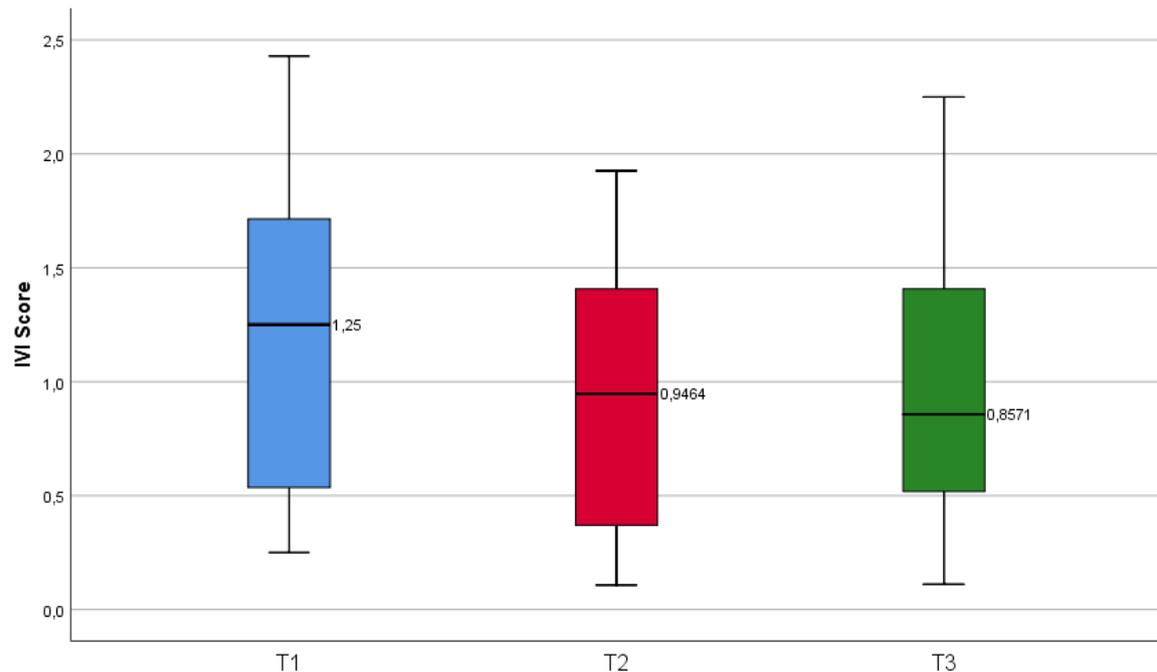


Abbildung 30: IVI Score T1-T3, signifikante Verbesserung in der Gesamtgruppe von T1-T2 ( $p=0,006$ ). T1-T3 ( $p=0,000$ )

### Subjektive Rückmeldung

Insgesamt berichteten alle Probanden über deutliche Anstrengung beim Training unabhängig von der Leserichtung. Bei den meisten Probanden nahm die Anstrengung im Verlauf des Trainings ab und die subjektive Lesegeschwindigkeit zu.

Die Hälfte der Probanden hatte relevante Probleme mit der Einstellung des Programmes. Insbesondere die Möglichkeit, eigene Texte auszuwählen und in das Trainingsprogramm einzuspeisen, konnten die meisten Probanden nicht nutzen. Viele der älteren Probanden hatten zuvor keine Erfahrung mit Computern.

Die subjektive Lesefähigkeit im „echten Leben“ erlebten die Probanden zumeist unverändert. Hier berichteten zwei Probanden von einer deutlichen Verbesserung, mehrere von einer neugefundenen Lust am Lesen.

Mehrere Patienten erlebten die spezielle Darstellung des Lesestoffes im Trainingsprogramm als Erleichterung, ebenso viele beschrieben sie jedoch auch als hauptsächlich störend.

## **Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die Interventionsgruppe (Gruppe A) konnte ihre Lesegeschwindigkeit im Verlauf der Studie signifikant, und mit 14 Wörtern pro Minute auch klinisch relevant, verbessern. Dieser Trainingseffekt zeigte sich bis zur Untersuchung T<sub>3</sub> stabil. Eine besonders drastische Verbesserung zeigten dabei die Probanden mit rechtsseitiger Hemianopsie.

Im horizontalen Lesen konnten sich beide Gruppen von T<sub>1</sub> auf T<sub>3</sub> ebenfalls signifikant und klinisch relevant verbessern, die Zunahme der Lesegeschwindigkeit trat in dieser Orientierung aber bei Gruppe B zwischen T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub> auf, während sich Gruppe A erst von T<sub>2</sub> auf T<sub>3</sub> (in gleichem Maße) verbesserte.

Somit konnte mit dem Lesetraining die jeweils trainierte Leserichtung signifikant verbessert werden.

Es zeigte sich aber auch, dass lediglich drei Probanden überhaupt in der vertikalen Orientierung eine höhere Lesegeschwindigkeit als in der horizontalen erreichten. Bei näherer Betrachtung der Einzelverläufe wurde dann deutlich, dass bei Proband 112 als einzigem diese Konstellation durch eine starke Zunahme der vertikalen Lesegeschwindigkeit, bei gleichzeitig kaum veränderter horizontaler Lesegeschwindigkeit, zustande gekommen war.

Wie bereits oben beschrieben, stellt dies den eigentlichen Hauptendpunkt und Gegenstand der vorliegenden Studie dar, sodass Proband 112, wie auch die Tatsache, dass lediglich ein Proband diese Konstellation gezeigt hat, im Diskussionsteil noch einmal ausführlicher aufgegriffen werden soll.

In den Eyetracking Untersuchungen zeigte sich demgegenüber die erwartete Konstellation: während sich bei Probanden mit rechtsseitiger Hemianopsie die Anzahl der Sakkaden im Verlauf der Studie deutlich reduzierte, erzielten die Probanden mit linksseitigem Gesichtsfeldausfall ihre Geschwindigkeitszunahme über eine Reduktion von Rücksprüngen in der Zeile und insbesondere Add-to-return Sweeps. Aufgrund der geringen Probandenanzahl, konnten in den Eyetracking Untersuchungen keine statistisch signifikanten Ergebnisse erzielt werden, alle Ergebnisse zeigten aber in die erwartete Richtung. Auch hier sollen die postulierten Strategien im Diskussionsteil noch einmal detailliert mit den Ergebnissen verglichen werden.

Die klinische Schätzung der makularen Aussparung gelang nicht in zufriedenstellendem Maße. Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung der sehbezogenen Lebensqualität über den Trainingsverlauf. Die kognitive Leistungsfähigkeit der Probanden blieb über den Zeitraum der Studie unverändert.

#### **4. Diskussion**

Es sollen zunächst die Ergebnisse der durchgeführten Studie und die angewandten Methoden kurz diskutiert werden, bevor zu einer umfassenden Betrachtung der Fragestellung und Bewertung der Gesamtuntersuchung übergegangen wird.

##### **Diskussion der Ergebnisse und Methoden**

###### **Lesegeschwindigkeit im IReST (gedruckter Text)**

Die IReST-Lesegeschwindigkeiten der Interventionsgruppe (Gruppe A, vertikales Training) verbesserten sich statistisch signifikant und klinisch relevant, sodass die effektive Trainierbarkeit des vertikalen Lesens auch bei Probanden mit homonymer Hemianopsie gezeigt wurde, ebenso wie die Stabilität des Trainingserfolges über mindestens 4 Wochen nach Abschluss des Trainings. Eine Unterteilung nach Seite des Gesichtsfeldausfalls erbrachte ein weniger klares Bild: Probanden mit linksseitiger HH verbesserten sich von T1 auf T2 signifikant, Probanden mit rechtsseitiger von T1 auf T3. Es erscheint keine plausible physiologische Erklärung für diesen Unterschied zu geben, er war nicht erwartet und es muss davon ausgegangen werden, dass dies Ausdruck des kleinen Gesamtkollektives ist. Hierbei handelt es sich um eine der zentralen Einschränkungen der vorliegenden Studie, die, wie in der Folge wiederholt sichtbar wird, eine statistische Auswertung teils beinahe unsinnig erscheinen lässt.

Auch die horizontale Lesegeschwindigkeit nahm signifikant zu: Sowohl in der Kontrollgruppe (Gruppe B, horizontales Training) als auch in Gruppe A. Das vermehrte Lesen scheint also unabhängig von der Orientierung im Training eine Verbesserung der Lesegeschwindigkeit nach Wegnahme der zusätzlichen Hindernisse (der Textrotation) zu verursachen. Diese Ergebnisse waren nicht überraschend, allerdings war in Kenntnis der Studienlage ein insgesamt größerer Trainingseffekt erwartet worden: Die vorangegangenen Untersuchungen der Kollegen zeigten, teils sehr viel beeindruckendere relative und absolute Verbesserungen der Lesegeschwindigkeit im

jeweiligen Studienkollektiv. So betrug die relative Verbesserung der Lesegeschwindigkeit bei Aimola [29] und Spitzyna [41] (Scrolled-Text) nach dem Training circa 20%. Schütt [39] erzielte über 30% und bei der ältesten Studie von Kerkhoff [31] ergaben sich sogar deutlich über 50% (bei sehr grober Schätzung anhand der Abbildungen in der Veröffentlichung, keine Angabe in der Studie). Im letzten Falle erfolgte allerdings Training mit persönlichem Therapeuten und das Training wurde erst nach Erreichen eines Leistungsplateaus oder bei normalisierter Lesegeschwindigkeit beendet.

Die Differenz könnte selbstverständlich auf eine weniger effektive Trainingsmethode im vorliegenden Training hinweisen. Der Autor legt aber auch Wert auf die Feststellung, dass in der vorliegenden Studie sehr scharfe Einschlusskriterien, insbesondere hinsichtlich des Gesichtsfeldes (mit mikroperimetrischer Untersuchung des zentralen Gesichtsfeldes zum Ausschluss von größeren makularen Aussparungen) und dem Abstand zum Erkrankungsbeginn gewählt worden waren. In den vorangegangenen Studien sind eine teilweise Restitution des Gesichtsfeldes ebenso wie anderweitige, allgemeine Befundverbesserung kurz nach dem verursachenden Ereignis, nicht ausgeschlossen. Es muss davon ausgegangen werden, dass solcherlei Effekte die Verbesserung der Lesegeschwindigkeit maximiert haben. Ein eins-zu-eins Vergleich ist damit, auch aufgrund der fehlenden Kontrolle gegen unspezifisches Lesen, nicht möglich. Diese Frage soll im Rahmen des abschließenden Kapitels „Zusammenfassung und Ausblick“ noch einmal ausdrücklich besprochen werden.

Eine Aufteilung der horizontalen Lesegeschwindigkeiten nach Trainingsgruppe zeigte, dass die Probanden der Gruppe B ihre signifikante Verbesserung bereits nach dem Training (zu T2) maximiert zu haben schienen, während die Gruppe A erst zu T3 eine ähnliche Verbesserung erreichte. Das Lesen in gewohnter, horizontaler Orientierung zu trainieren, scheint also im untersuchten Kollektiv den rascheren Erfolg zu bringen. Erneut sei hier aber die Streuung und daher auch die geringe Teilnehmerzahl als Argument für eine vorsichtige Interpretation genannt. Eine Aufteilung nach Seite des Gesichtsfeldausfalles zeigte keine signifikanten Unterschiede.

Im Verlauf der Auswertung zeigte sich rasch, dass der erhoffte Verlauf, indem die Probanden der Interventionsgruppe nach dem Training ihre jeweilige horizontale

Lesegeschwindigkeit in der Vertikalen übertreffen würden, kaum aufzutreten schien. Der Plan war gewesen, diese Verbesserung dann mit der maximalen Verbesserung in der horizontalen zu vergleichen und so eine Aussage darüber zu erhalten, ob eine Umstellung der Leserichtung ein valides Trainingsziel darstellen könnte. Bei lediglich einem Fall dieser Art erschien eine statistische Auswertung an dieser Stelle nun gänzlich unsinnig, sodass davon Abstand genommen wurde und der Fokus nunmehr auf die Suche nach der Ursache dieser Konstellation gelegt wurde. Dazu wurden nun, zur Identifikation von Individuen, die einen erfolgversprechenden Verlauf genommen hatten, die Abbildung 19 erstellt: Aufgetragen ist die Differenz zwischen vertikaler und horizontaler Lesegeschwindigkeit, unter der Vorstellung, dass dieses Verhältnis sich von T1 auf T2 ins positive wandeln sollte, oder doch zumindest weniger negativ werden könnte. Einen solchen Verlauf zeigten die beschriebenen Probanden 11, 20, 112 und 114. Ihre Verläufe werden unten, im Kapitel „Instruktive Einzelverläufe“ genauer beschrieben und diskutiert. Es sei an dieser Stelle vorweggenommen: Nur Proband 112 zeigt nach eingehender Prüfung tatsächlich einen Verlauf, wie ihn sich das Studienteam zu Beginn als Regelfall (oder zumindest regelmäßigen Erfolgsfall) vorstellte.

Es zeigten sich aber auch zwei Probanden mit initial positiver Differenz (103 und 111), die sich bei genauerer Betrachtung ursächlich als unplausibel niedrige initiale IReST-Lesegeschwindigkeiten zu T1 identifizieren ließen. Dies war leider bei der Untersuchung selbst nicht aufgefallen und fällt aufgrund der bereits beschriebenen, kleinen Kohorte, deutlich ins Gewicht. Ein vorsichtiger Umgang mit den statistischen Auswertungen empfiehlt sich erneut nachdrücklich.

### **Eyetracking**

Es schließen sich im Ergebnisteil hier die Untersuchungen per Infrarot-Eyetracker an, die erneut, der Leser ahnt es schon, unter der geringen Teilnehmerzahl und großen Streubreite der Ergebnisse leiden, in Kombination mit kleinen Effektgrößen. Dabei wurde der Limbus-IR-Eyetracker gegenüber den im SLO erhobenen Daten bevorzugt, da die Datenmenge und -art eine deutlich erleichterte Bearbeitung versprach. Bei der überwiegenden Mehrzahl der Probanden konnten so qualitativ hochwertige Lesekurven in horizontalen Lesen aufgezeichnet werden, sodass eine quantifizierende Auswertung von Sakkaden und Fixationsdauern gelang. In der Vertikalen reichte die

durchschnittliche Ableitungsqualität allerdings nicht aus, sodass auf eine Auswertung für diese Studie verzichtet werden musste. Die Problematik wurde auf eine ungünstigere Position von Infrarotdioden und Sensoren in Relation zur Bewegungsrichtung einerseits, sowie auf vermehrte Störung der Messung durch die Augenlider der Probanden andererseits zurückgeführt. Es zeigte sich auch bei der horizontalen Messung deutlich, dass die Messqualität maßgeblich von der Qualität der Leseaugenbewegung des einzelnen Probanden abhängig war. Bei sehr unruhiger Fixation und zahlreichen, teils chaotischen Augenbewegungen, zeigte sich meist auch die Qualität der Messung eingeschränkt. Bei vermutlich weniger ökonomischen Augenbewegungen beim vertikalen Lesen, kann hierin ein weiterer Grund für die unzulängliche Datenqualität liegen.

Die erhobenen Befunde erbrachten hier das erwartete Ergebnis: die Probanden mit rechtsseitiger HH zeigten im Verlauf eine Abnahme der Sakkadenzahl, was Ausdruck der größeren und damit effektiveren Sakkaden in Leserichtung ist. Auch die Fixationszeit sank tendenziell, was als Ausdruck eines Trainingseffektes auf das zentrale Lesen zu sehen ist: eine beschleunigte Worterkennung. Dieser Effekt war bei den Probanden mit linksseitiger HH noch etwas ausgeprägter. Bei den Augenbewegungen selbst zeigte sich eine Reduktion der Rücksprünge und insbesondere der „Add-to-Return-Sweeps“. Dabei handelt es sich um lange Zeilenrücksprünge, die ein linksseitig Hemianoper in sein blindes Halbfeld ausführen muss. Deshalb geraten die Rücksprünge („Returns“) oft zu kurz, sodass zusätzliche („Add-to-Return“) Rückwärtssakkaden notwendig sind. (Siehe Abbildung 33) Wie oben bereits angedeutet erreichte keines dieser Ergebnisse ein Signifikanzniveau von  $\leq 0,05$ . Erfreulich ist immerhin festzustellen, dass hier alle Ergebnisse in die erwartete Richtung zeigten.

### **Makulare Aussparung**

Der Versuch, die Größe der makularen Aussparung durch einen einfachen klinischen Test zu eruieren, war mäßig erfolgreich: Die Probanden gaben im Mittel an, in der Vertikalen mehr Buchstaben sehen zu können als in Richtung ihres Gesichtsfeldausfall auf der Horizontalen. Die Werte im Einzelnen erschienen allerdings teils unplausibel, sodass davon ausgegangen werden muss, dass einzelne Probanden die Anweisungen hier missverstanden. So berichtete ein Proband, neben dem Fixationsort weitere 14

Buchstaben in horizontaler Richtung sehen zu können, was bei seiner gemessenen makularen Aussparung von  $1^\circ$  unmöglich ist. Es muss also von einer erheblichen Ungenauigkeit der absoluten Werte ausgegangen werden. Intraindividuell, relativ zueinander, waren die Angaben der Probanden aber zumeist plausibel. So konnte die Frage nach zu sehenden Buchstaben zur Eingrenzung der Lage des Gesichtsfelddefektes verwendet werden und dem Probanden demonstrieren, was der Vorteil einer eventuell vorgeschlagenen Änderung der Textorientierung sein könnte.

Zwischen den Tests auf Papier und den Fundus-kontrollierten Aufnahmen aus dem SLO bestand eine gewisse Korrelation, eine Abschätzung des Ausmaßes der makularen Aussparung erscheint aber ohne exakte Fixationskontrolle unmöglich. In der SLO Untersuchung zeigte sich auch, dass die Probanden in aller Regel zunächst das ganze Wort lasen, bevor sie sich der Fixationsaufgabe und der Frage nach den noch sichtbaren Buchstaben zuwandten.

Im Vergleich zur SLO-Mikroperimetrie zeigte sich der Test an Buchstaben als ungenau und unsensibel insbesondere für größere makulare Aussparungen, sodass auf Basis der hier erhobenen Daten keine Empfehlung für die Einschätzung der Größe der makularen Aussparung anhand der „gesehenen Buchstaben“ gegeben werden kann. Die genaue Vermessung erscheint nur mit unserer Fixations-kontrollierter Perimetrie des zentralen Gesichtsfeld möglich.

### **SKread**

Das im Smith-Kettlewell Eye Research Institute entwickelte Text-System SKread [53] war zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit von randomisierten Wortfolgen und der Erfassung von typischen Fehlern in Abhängigkeit von der Skotom-Lokalisation bei Makulopathien entwickelt worden. Nun sollte im Rahmen der vorliegenden Studie als Nebenparameter getestet werden, ob sich der Test auch für die Untersuchung der Gesichtsfeldgrenze bei homonymer Hemianopsie eignet, die im Gegensatz zum Zentralskotom bei Makuladegeneration scharf und ohne umgebendes Relativskotom konfiguriert ist. Die Hoffnung dabei war, dass sich die Ausfall-Seite sowie die Ausdehnung der makularen Aussparung mit diesem Test ermitteln ließen. In der hier verwendeten Schriftgröße, die absichtlich im für die Probanden entspannt lesbaren

Bereich lag, zeigten sich im Rahmen der Studie allerdings keinerlei typische Lesefehler, sodass hier keine weiteren Auswertungen möglich waren.

### **Lesetraining zuhause**

Die Adhärenz zum Lesetraining war insgesamt zufriedenstellend, es wurden lediglich 3 Probanden aufgrund unzureichender Trainingszeit von der Auswertung ausgeschlossen. In der zuhause während der Trainingssitzungen aufgezeichneten Lesegeschwindigkeit zeigten sich für beide Gruppen signifikante Zunahmen in der Lesegeschwindigkeit, wobei bei der Betrachtung der absoluten Zahlenwerte die unterschiedliche Leserichtung zu beachten ist. Gruppe B erreichte dabei im Training deutlich höhere Lesegeschwindigkeiten als bei den IReST Testungen in der Klinik. Dies ist sicherlich größtenteils auf das „Leiselesen“ zuhause im Gegensatz zum lauten Vorlesen in der Klinik zurückzuführen. Weiter könnten dabei die interessanteren Texte und die längere Dauer der einzelnen Lesesitzungen eine Rolle gespielt haben. Gruppe A zeigte zu Beginn des Trainings deutlich langsamere Lesegeschwindigkeiten als im IReST, die Werte zum Ende des Trainings näherten sich denen im IReST bei T2 dann wieder deutlich an. Dies lässt sich sicherlich teilweise mit der insgesamt sehr ungewohnten Lesesituation erklären, die insbesondere in den ersten Tagen, gerade am Computer, noch deutlichere Geschwindigkeitseinbußen bedingt haben könnte. Hier scheinen die deutlich längeren Trainingssitzungen sich negativ auf die absolute Lesegeschwindigkeit auszuwirken, vermutlich da ein erhöhtes Konzentrationsniveau für das vertikale Lesen benötigt wird, das über längere Zeit nur schwer aufrecht zu erhalten ist. Zudem wird bei den absolut niedrigeren Lesegeschwindigkeiten das laute Vorlesen deutlich weniger Effekt haben.

### **MoCA**

Die wiederholten Untersuchungen der kognitiven Leistungsfähigkeit mittels der drei MoCA Parallelversionen, zeigten erfreulicher Weise keinerlei Veränderung über den Verlauf der Studie. Die Untersuchung erschien angezeigt, um bei den bereits milde kognitiv eingeschränkten Probanden (MCI, siehe „Der MoCA Test“) einen möglichen Progress in Richtung Demenz nicht zu übersehen.

## **IVI**

Erfreulicherweise zeigte die Auswertung des IVI zur Messung der sehbedingten Beeinträchtigung der Lebensqualität eine signifikante Verbesserung von T1 auf T2, die sich im Verlauf stabil zeigte. Auch im persönlichen Kontakt mit den Probanden entstand oft der Eindruck, dass die Studienteilnahme eine erfreuliche Abwechslung im Alltag darstellte und mit einer deutlichen Aktivierung der Probanden, die zumeist im Seniorenalter waren, einherging.

### **Subjektive Rückmeldung**

Auch bei den offenen Rückmeldungen zu Training und Studie berichteten einige Probanden von dieser Aktivierung, anderen war der strikte Trainingsplan aber auch hauptsächlich lästig. Ebenso unterschiedlich waren die Rückmeldungen zum Training selbst: während einige Probanden unbedingt weiter trainieren oder mit dem Programm waagrecht lesen wollten, waren andere nur schwer mit dem Computer zurechtgekommen und erleichtert, das Gerät wieder los zu sein.

Bei aller Euphorie über die angeregte Rückmeldung darf nicht unerwähnt bleiben, dass sich keiner der Probanden vorstellen konnte, das vertikale Lesen im Alltag regelmäßig einzusetzen. Lediglich einige wenige Probanden gaben an, dass sie den Versuch gerne bereits zu Beginn ihrer Erkrankung unternommen hätten.

### **Diskussion der Grundannahme der Arbeit:**

In einer Studie von 1998 beschrieben Frau Prof. Trauzettel-Klosinski und Herr Dr. Brendler die Lesestörung als „Das Hauptproblem von Patienten mit hemianopen Gesichtsfelddefekten“ [20]. Unter dieser Voraussetzung wurde nun auch die vorliegende Untersuchung initiiert.

Da ohne Lesefähigkeit keine Teilnahme am öffentlichen und kulturellen Leben möglich wäre, müsste der Leidensdruck bei Patienten mit Hemianopsie hauptsächlich von der Lesestörung herrühren.

Es stellte sich in der Folge aber heraus, dass nicht nur nicht alle, sondern nicht einmal die Mehrheit der Probanden, ihre verminderte Lesefähigkeit als Hauptproblem angaben.

Die obige Annahme bestätigte sich in der vorliegenden Untersuchung nicht. Dazu tragen maßgeblich drei sehr verschiedene Gründe bei:

Erstens handelt es sich bei dem überwiegenden Teil der Bevölkerung nicht um Akademiker und zahlreiche Probanden gaben an, in ihrem Alltag, auch vor Erkrankungsbeginn, immer schon wenig bis gar nicht gelesen zu haben. Diesen Menschen, aber auch vielen der ehemaligen „Vielleser“, machten zweitens hauptsächlich die erschwerte Orientierung in unbekannter Umgebung, und – ganz direkt – das mit der Diagnose einhergehende Fahrverbot zu schaffen.

Es erschienen wiederholt Probanden zur Erstvorstellung und durchliefen interessiert die Einschlussuntersuchungen, um ihre Zustimmung zum Einschluss dann von der Frage abhängig zu machen, ob durch das Training auch die Fahreignung wiederhergestellt, beziehungsweise vor Allem die Fahrerlaubnis wieder erteilt werden würde.

Drittens war die Lesefähigkeit bei keinem der Probanden jemals völlig verloren gegangen, sodass alltäglich notwendige Leseaufgaben, wenngleich langsamer, so doch bei fast allen bewältigt wurden.

Zu diesen drei Punkten hinzu kommt noch der Umstand, dass die Hauptursache einer homonymen Hemianopsie in ischämischen oder hämorrhagischen Insulten besteht, gefolgt von Traumata und Tumoren. Die ersten beiden Ursachen treten hauptsächlich im Seniorenalter auf, sodass viele potentielle Probanden Komorbiditäten, insbesondere im neurokognitiven Bereich, aufwiesen.

Gerade kognitive Defizite stellten in der Probandengewinnung für die vorliegende Studie ein Hauptproblem dar.

Unter diesen Gesichtspunkten wird klar, dass die Anzahl der Patienten, die von der vorliegenden Studie theoretisch profitieren könnten, deutlich geringer ist als die Prävalenz der homonymen Hemianopsie und damit auch geringer, als das Studienteam bei Planung der Untersuchung annahm.

Schon zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts, beschrieb Hermann Wilbrand die hemianope Lesestörung am Beispiel kleiner, parafovealer Defekte, und stellte fest, dass nur die rechtsseitige Variante eine wirklich starke Störung des Leseflusses mit sich

brachte [19]. Das deckt sich mit den Beobachtungen aus dieser Studie, wie auch den Angaben zahlreicher weitere Untersuchungen zur hemianopen Lesestörung und halbiert die Anzahl der erfolgsversprechenden Kandidaten erneut.

Wie zu Beginn bereits beschrieben, setzte die vorliegende Studie außerdem mit ihren Rehabilitationsbemühungen erst spät ein, um eine Ergebnisverfälschung durch Spontanremission zu vermeiden. Aus therapeutischer Sicht wäre allerdings ein Beginn möglichst bald nach dem auslösenden Ereignis wünschenswert, sodass gleich eine optimale Lesetechnik für die vorliegende Einschränkung eingeübt werden kann. Allerdings dann, nach aktuellem Kenntnisstand, mit der nicht unerheblichen Gefahr, eine Technik einzuüben, die dann nachher nie wieder genutzt wird, wenn der Ausfall sich doch spontan verkleinert.

## **5. Zusammenfassung**

Um das „Ziel der Studie“ von Seite 7 zu zitieren:

„Ziel [...] ist es, ein Lesetraining für Patienten mit hemianoper Lesestörung zu erproben und die Wirksamkeit der Methode zu evaluieren“.

Damit lautete die erste grundlegende Frage: ist das vertikale Lesen mit dem vorliegenden Training trainierbar? Darauf gibt die vorliegende Studie eine eindeutige, positive Antwort.

Die zweite Frage aber, die ebenfalls in dieser Zielsetzung steckt, ist letztlich: Bringt das vertikale Lesen einen Vorteil gegenüber dem gewohnten horizontalen Lesen? Darauf ließ sich im Rahmen der Studie lediglich ein „eher nein“ als Antwort finden.

Die vorliegende randomisiert kontrollierte Studie zeigte eine Verbesserung der Lesegeschwindigkeit bei Probanden mit homonymer Hemianopsie nach Durchführung eines computergestützten Lesetrainings über vier Wochen. Der postulierte Vorteil, der Probanden durch die Rotation des Textes in die Senkrechte entstehen könnte, ließ sich lediglich bei einem Probanden beobachten. Damit konnte kein Vorteil des spezifischen, vertikalen Trainings in der Gesamtgruppe nachgewiesen werden. Einzelne Individuen zeigten allerdings durchaus den erhofften Verlauf und profitierten deutlich von der getesteten Methode.

In der Folge sollen nun Gründe für dieses Ergebnis diskutiert und Nebenbefunde der Studie erläutert werden. Dabei werden zunächst die Ergebnisse der vier Individuen, die vielversprechende Ergebnisse erzielt haben, mit Verlauf und Besonderheiten beschrieben. Anschließend erfolgt ein Abgleich mit der Studienpopulation und Diskussion der Studie insgesamt einschließlich einer Einordnung in den aktuellen Stand der Forschung zur hemianopen Lesestörung.

### **Instruktive Einzelverläufe**

Zunächst soll die zu Studienbeginn erwartete Konstellation skizziert werden: Bei der Aufnahmeuntersuchung übertrafe, bei der Mehrzahl der Probanden, die Lesegeschwindigkeit horizontal die vertikale. Die Idee, vertikal zu lesen, leuchtete den Probanden aber sofort ein, da sie nun ihrer Gesichtsfeld-bedingten Einschränkung entledigt wären. Nach dem Training würde sich das Verhältnis umgekehrt haben und die - trainierte - vertikale Leserichtung brächte eine schnellere absolute Lesegeschwindigkeit hervor.

Diesen Verlauf zeigte, wie im Ergebnisteil beschrieben, lediglich ein Proband.

Es sollen daher nun hier auch drei weitere Probanden näher beleuchtet werden, deren vertikale Lesegeschwindigkeit zwar die horizontale nicht erreichte, sich dieser aber über die Trainingszeit hinweg deutlich annäherte. Die Verläufe sind in Abbildung 19 noch einmal dargestellt. Eine unterbrochene Linie stellt dabei jeweils den Verlauf der horizontalen, eine durchgezogene Linie den der vertikalen Lesegeschwindigkeit über die drei Untersuchungszeitpunkte dar.

Bei Proband 114 handelt es sich bei Betrachtung des von Abbildung 19 (siehe „Einzelverläufe der Profiteure“) um eine leichte Verbesserung der vertikalen Lesegeschwindigkeit, gemischt mit einer Verschlechterung in horizontaler Orientierung. Der Proband mit Zustand nach mehreren ischämischen Ereignissen und linksseitiger Hemianopsie gab bei Befragung initial wie im Verlauf wenig Freude am Lesen insgesamt an und zeigte sich mit seiner Lesegeschwindigkeit insgesamt zufrieden. Hauptsächliches Problem des Probanden waren fortbestehende Orientierungsschwierigkeiten und mit einem MoCA Score von 20 befand sich der Proband im Bereich eines Mild-Cognitive-Impairment (MCI, leichte kognitive

Einschränkung, ca. 10-15% zeigen Progress zur Demenz [58]). Die Lesegeschwindigkeit von rund 110 wpm erscheint damit Alter und Trainingszustand angemessen und, insbesondere bei damit völlig zufriedenen Probanden, ausreichend.

Auch Proband 11 gab insgesamt wenig Leseinteresse an. Seine Lesegeschwindigkeit gehörte mit 140 Wörtern pro Minute zu den schnellsten der Studie, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die linksseitige Hemianopsie dem Probanden kaum Probleme beim Lesen bescherte. Nach dem Training erreichte der Proband seine horizontale Lesegeschwindigkeit in der Vertikalen fast, was bei uneingeschränkter mentaler Leistungsfähigkeit mit MoCA Scores von 27-30 nicht verwundert. Die horizontale Lesegeschwindigkeit war vermutlich schon so gut adaptiert, wie es die aktuellen Bedürfnisse verlangten, sodass hier bereits ein Ceiling-Effekt eingesetzt hatte.

Die Allgemeinsituation bei Proband 20 stellte sich grundsätzlich anders dar: Der vergleichsweise junge (55 Jahre), studierte Vielleser mit rechtsseitiger Hemianopsie ohne makuläre Aussparung, hatte unter der hemianopen Lesestörung zu Krankheitsbeginn sehr gelitten, sich mittlerweile aber gut adaptiert, sodass bei Studieneinschluss subjektiv keine Einschränkung mehr bestand. Dies zeigte sich in einer ebenfalls hohen horizontalen Lesegeschwindigkeit, die über den Studienverlauf ausgesprochen stabil blieb. Der Proband berichtete, selbständig im Alltag Bücher teils etwas schief zu halten, um sich ein größeres Gesichtsfeld zur Verfügung zu stellen. Bei vertikalem Lesen im Rahmen des Trainings, bestanden insbesondere Probleme mit der Erkennung unbekannter oder langer Wörter. Die Lesegeschwindigkeit in der Vertikalen näherte sich der in der Horizontalen bis auf 20 wpm an und der Proband bedauerte, diese Technik nicht bereits unmittelbar nach Auftreten der Hemianopsie versucht zu haben. Trotzdem verblieb die beschriebene Differenz in der Lesegeschwindigkeit und die subjektive Anstrengung war in gewohnter, horizontaler Leserichtung wesentlich geringer, sodass auch Proband 20 das vertikale Lesen im Alltag nicht zum Einsatz brachte.

Schließlich war auch bei Proband 112 die herabgesetzte Lesegeschwindigkeit eine relevante Einschränkung der Lebensqualität. Der ebenfalls junge (53 Jahre), studierte Proband mit rechtsseitiger Hemianopsie und makularer Aussparung von 1°, wurde anderthalb Jahre nach dem auslösenden Apoplex in die Trainingsstudie eingeschlossen.

Der Proband hatte keinerlei Probleme mit der technischen Umsetzung des Lesetrainings und las auch im täglichen Leben üblicherweise an einem E-Book-Reader, um den Lesekomfort zu optimieren. Es zeigte sich auch hier eine recht konstante Lesegeschwindigkeit in horizontaler Text- Orientierung. Wie bei Proband 20, ist dies am ehesten auf eine erschöpfende Ausnutzung der Strategien zur Umgehung der Hemianopsie zurückzuführen, sodass es sich hier bereits die maximale horizontale Lesegeschwindigkeit handelt, die der Proband mit seiner Gesichtsfeldeinschränkung erreichen kann. Dafür spricht insbesondere auch, dass die vertikale Lesegeschwindigkeit die horizontale rasch übertreffen, und im Verlauf sogar weiter zunehmen konnte, sobald der Einfluss der Gesichtsfeldeinschränkung minimiert war. Der Proband stellt damit den einzigen Studienteilnehmer dar, dessen Verlauf der Lesegeschwindigkeiten den erhofften Studieneffekt zeigte.

Patienten mit in dieser Form ausgereizter Verbesserung beim horizontalen Lesen wären damit die erste Gruppe, die vom Training profitieren kann: diejenigen die sich weiter verbessern möchten, deren Rehabilitation des horizontalen Lesens aber ausgeschöpft ist.

Eine zweite Gruppe setzt sich, wie einige Probanden im Rahmen ihrer freien Rückmeldung zum Lesetraining anmerkten, aus Patienten zusammen, deren Ereignis, das zur Hemianopsie und damit zur Lesestörung führte, erst kurz zurück liegt und die am Anfang der Rehabilitation ihrer Lesestörung stehen.

### **Das Kollektiv**

Insgesamt gestaltete sich die Rekrutierung passender Probanden ausgesprochen schwierig. So schwierig in der Tat, dass Zweifel daran angebracht sind, ob es das Patientengut, das vom Training profitieren soll, tatsächlich gibt. Mindestens aber drängt sich die Frage auf, wie groß es denn nun wirklich ist und um wen es sich genau handelt.

Profitieren werden, wie eben beschrieben, am ehesten Patienten mit rechtsseitigem Totalausfall, die gerne lesen möchten, deren Lesegeschwindigkeit aber deutlich abgenommen hat, sodass es eine relevante Einschränkung ihrer Lebensqualität darstellt. Die Definition einer Grenze ist dabei, wie auch die Orientierung an Perzentilen, nur bedingt hilfreich, da Lesegeschwindigkeiten sehr stark unterschiedlich sind und das individuelle Empfinden einer „ausreichenden Lesegeschwindigkeit“ eben dies ist: sehr

individuell. Zudem sollten die Patienten wenig andere Einschränkungen, insbesondere kognitiver Art haben, um sich dem nötigen Training überhaupt konsequent unterziehen zu können. Dann kann eine gute Lesegeschwindigkeit vertikal erreicht werden. Wenn dieser Wert merklich über dem fürs horizontale Lesen liegt, könnten sich einzelne Patienten dazu entschließen, das Lesen in der Vertikalen auch im täglichen Leben zu verwenden und hiervon auch tatsächlich profitieren.

In der vorliegenden Studie zeigte sich auch eine Verbesserung der Lesegeschwindigkeit, unabhängig von der Orientierung des Textes, die hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass die Probanden über einen Monat hinweg mit Nachdruck (wieder) ans Lesen herangeführt wurden, das Lesen ihnen vereinfacht wurde und eine gewisse Kontrolle durch das Studienteam bestand. Die Probanden lesen besser durch Lesen.

Auch hatten viele Probanden sich inzwischen schon mit ihrer eingeschränkten Lesefähigkeit arrangiert und waren durch den Entzug der Fahrerlaubnis oder der Unfähigkeit, sich außerhalb der vertrauten Umgebung zurecht zu finden, wesentlich stärker in ihrem Alltag beeinträchtigt.

Das steht der These von Trauzettel-Klosinski und Brendler von 1998 ([20]) entgegen, wonach die Leseschwierigkeit den größten Leidensdruck bei Hemianopen verursache (s.u.).

Kleinere Gesichtsfeldausfälle lassen sich zudem durch exzentrische Fixation leicht umgehen, sodass auch diese Patienten von einer Änderung der Leserichtung mit den damit einhergehenden Komplikationen keinen Vorteil haben. So lässt sich beispielsweise ein Ausfall des rechten unteren Quadranten, durch exzentrische Fixation von vielleicht einem Grad unterhalb der Textzeile, um eben dieses eine Grad nach unten verschieben und stört nun nicht mehr bei der Lektüre der betreffenden Textzeile.

### **Ausblick**

In der vorliegenden Studie wurde der Versuch unternommen, einen (wie bereits beschrieben, nicht ganz neuen, aber „vergessenen“) Rehabilitationsansatz, auf seine Umsetzbarkeit und spezifische Wirksamkeit zu überprüfen. Das gewählte Format einer randomisiert-kontrollierten Studie ist dabei sicherlich qualitativ überlegen. Es zeigte sich aber auch deutlich, dass die dafür erforderlichen Fallzahlen, selbst an einem

Zentrum wie der Universitätsklinik Tübingen und in Zusammenarbeit mit großen umliegenden Krankenhäusern, nur schwer zu erreichen sind.

Auch unter dem Eindruck dieser praktischen Limitation, erscheint es trotzdem – inhaltlich wie ethisch - unausweichlich, Fragen zur spezifischen Wirksamkeit einer Therapie, so nebenwirkungsarm sie sein mag, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe zu überprüfen. Hier stellt sich aber nun die nächste, nicht minder große Schwierigkeit dem Prüfer in den Weg: Was ist bei einem Lesetraining als geeignetes „Placebo“ zu verwenden? Dazu einige Gedanken:

Die beiden kontrollierten Studien, die zu Beginn dieser Arbeit im Feld der Rehabilitation bei hemianoper Lesestörung vorlagen, verwendeten im Falle von Spitzyna et al. [41] Bilderrätsel als Kontroll-Training, im Falle von Aimola et al [29] jedoch ein Training am Computer mit unterschiedlichen Aufgaben ohne Notwendigkeit größerer Augenbewegungen.

Nun ist aber der Kern eines Vergleichs gegen eine Kontrolle nicht der, eine Kontrollintervention zu wählen, die erwiesenermaßen keinen Effekt hat, sondern eine Therapie, die möglichst viele unspezifische Einflussfaktoren egalisiert. Nur so kann der postulierte spezifische Effekt der untersuchten Intervention alleine beobachtet und beurteilt werde. Der Placebo-Effekt hat in den letzten Jahrzehnten bekanntermaßen in den unterschiedlichsten Feldern unter Beweis gestellt, zusammen mit Heilungsbestrebungen des Körpers und einer Therapeuten-Patienten-Interaktion, eine signifikante Verbesserung des Outcomes erzeugen zu können [62-66]. (Auch wenn die genauere Differenzierung der einzelnen Effekte/Definition des wahren Placebo Effektes weiterhin Gegenstand der aktuellen Diskussion ist [67], soll Placebo hier, etwas ungenau, als deutsche Entsprechung zu „sham-Training“ verwendet werden).

Zurück zum Lesetraining ergibt sich daraus zwingend, dass ein spezifisches Training, das die Lesegeschwindigkeit steigern soll, nicht mit einem Training verglichen werden kann, welches die Lesegeschwindigkeit erwiesenermaßen nicht steigert. Mehrmals täglich einen Handstand zu trainieren, wird die Lesegeschwindigkeit auch sicher nicht verändern, trotzdem käme niemand auf die Idee, hier ein Handstandtraining als Vergleichstraining einzusetzen. Folglich muss eine Intervention mit postuliert

spezifischem Effekt auf einen Teil des Lesevorgangs, auch gegen die Tätigkeit des Lesens an sich verglichen werden, wenn im Anschluss an die Studie eine Empfehlung für die untersuchte Therapie ausgesprochen werden soll. Eine solche Studie ist nach Kenntnis des Autors bisher nicht erfolgt. In der vorliegenden Studie wurde versucht, diesen Aspekt konsequent zu Ende zu führen: Auch Probanden in der Kontrollgruppe erhielten ein computergestütztes Lesetraining mit denselben Angaben zu Trainingsumfang und Durchführung. Ziel war erneut die Gewährleistung eines möglichst ähnlichen Trainingssettings für beide Gruppen, um auch Fehlerquellen wie die Wirksamkeitsüberzeugung der Probanden (die bei der Vergabe eines Bilderrätsels statt einer speziellen Anwendung am Fernseher sicher zwischen beiden Trainings ausgesprochen different sein dürfte) zu minimieren. Es wäre daher wünschenswert, Methoden, denen bereits spezifische Wirksamkeit in klinischen Studien nachgewiesen worden sein soll, noch einmal gegen „Das Lesen“ als Kontrolltraining zu testen. Ob dabei, wie in der vorliegenden Studie, eine so weitgehende Vereinheitlichung mit dem tatsächlichen Training (dasselbe Programm, ebenfalls Einzelzeilen etc.) zur Anwendung kommen muss, kann sicherlich unterschiedlich bewertet werden.

Die beschriebenen Lesetrainings der Kollegen zeigen allesamt deutlich größere Steigerungen der Lesegeschwindigkeit als die vorliegende Studie, sodass durchaus in Betracht gezogen werden muss, dass in diesen Trainings (Einzelwortpräsentation, Scrolled Text) ein spezifischer und überlegener Trainingseffekt zum Tragen kommt. Umso wichtiger wäre es zur Einordnung dieses Effektes, einen Vergleich zu konsequentem praktischem Lesen zu ziehen. Die beschriebenen Trainings könnten damit auf wesentlich stabilere Fundamente gestellt werden und der Vergleich zwischen den Studien würde erleichtert.

Es sei aber auch erwähnt, dass die hier vorliegende Studie insbesondere in Hinblick auf den Gesichtsfeldausfall und die mikroperimetrische Vermessung desselben, wesentlich höhere Hürden für den Studieneinschluss gesetzt hat. Damit liegt die Vermutung nahe, dass die hier eingeschlossenen Probanden eine wesentlich niedrigere „physiologische“ Obergrenze ihrer Lesegeschwindigkeit aufweisen. Restitution des Gesichtsfeldes in der Perimetrie beispielsweise, wie bei Kerkhoff [31] beschrieben, kann als starker Hinweis auf therapieunabhängige Besserung des zugrundeliegenden Defektes angesehen werden

und die deutlich überlegene Verbesserung der Lesegeschwindigkeit in dessen Studie erklären.

Wie oben beschrieben, gestaltete sich die Rekrutierung von geeigneten Probanden ausgesprochen schwierig, in der Folge reichten die Teilnehmerzahlen nicht für eine stabile statistische Auswertung, und damit auch nicht für eine abschließende Beantwortung der Frage nach Wirksamkeit. Um diese endgültig zu klären, sind weitere Studien in Zusammenarbeit mit großen Rehabilitationszentren und unter Rekrutierung ausschließlich passender und motivierter Probanden notwendig.

Der Ansatz des vertikalen Lesens erscheint in der Zusammenschau der bisherigen Studienlage und der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung weiterhin vielversprechend. Eine Anwendung sollte bei Patienten mit vollständiger, rechtsseitiger homonymer Hemianopsie, die unter der damit einhergehenden hemianopen Lesestörung stark leiden, unbedingt versucht werden.

Probanden mit linksseitigen Gesichtsfeld- oder Quadrantenausfällen, profitieren eher nicht von der Änderung ihrer Leserichtung.

Außerdem muss kritisch geprüft werden, ob eine Steigerung der Lesegeschwindigkeit bei jedem Patienten individuell, überhaupt ein zutreffendes und realistisches Rehabilitationsziel ist. Ist dies nicht der Fall, ist eine Verordnung eines striktes Trainingsregimes unethisch und zu unterlassen.

Der Autor plädiert dafür, sich diese Frage stets ehrlich und wertungsfrei zu stellen und sie mit dem Patienten zu besprechen. Als Ärzteschaft tendieren wir immer wieder zu der Annahme, dass das Lebensumfeld unserer Patienten dem unseren weitgehend entspricht. Dies ist aber sicherlich in der überwiegenden Mehrheit der Fälle unzutreffend, was in der speziellen Frage, wie sehr ein Individuum auf eine möglichst schnelle Lesegeschwindigkeit angewiesen ist, in der beschriebenen Studie plastisch zu Tage tritt.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Kuester-Gruber, S., et al., *Training of vertical versus horizontal reading in patients with hemianopia – a randomized and controlled study*. Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 2020.
2. Anstis, S., *Picturing peripheral acuity*. Perception, 1998. **27**(7): p. 817-25.
3. Aulhorn, E., *Über Fixationsbreite und Fixationsfrequenz beim Lesen gerichteter Konturen*. Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere, 1953. **257**(4): p. 318-328.
4. Legge, G.E., et al., *Psychophysics of reading--XVI. The visual span in normal and low vision*. Vision Res, 1997. **37**(14): p. 1999-2010.
5. McConkie, G.W. and K. Rayner, *The span of the effective stimulus during a fixation in reading*. Perception & Psychophysics, 1975. **17**(6): p. 578-586.
6. Trauzettel-Klosinski, S. and J. Reinhard, *The vertical field border in hemianopia and its significance for fixation and reading*. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 1998. **39**(11): p. 2177-2186.
7. Leff, A., *A historical review of the representation of the visual field in primary visual cortex with special reference to the neural mechanisms underlying macular sparing*. Brain and Language, 2004. **88**(3): p. 268-278.
8. Trauzettel-Klosinski, S., *Rehabilitation bei sehbahnschäden*. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, 2009. **226**(11): p. 897-907.
9. Zhang, X., et al., *Homonymous Hemianopia in Stroke*. Journal of Neuro-Ophthalmology, 2006. **26**(3): p. 180-183.
10. Zhang, X., et al., *Natural history of homonymous hemianopia*. Neurology, 2006. **66**(6): p. 901-905.
11. Trauzettel-Klosinski, S., *Aktuelle Möglichkeiten der visuellen Rehabilitation*. Der Ophthalmologe, 2018. **115**(10): p. 895-910.
12. McConkie, G.W. and K. Rayner, *Asymmetry of the perceptual span in reading*. Bulletin of the psychonomic society, 1976. **8**(5): p. 365-368.
13. Nation, P., *Reading faster*. International Journal of English Studies, 2009. **9**(2).

14. Dyson, M. and M. Haselgrove, *The effects of reading speed and reading patterns on the understanding of text read from screen*. Journal of Research in Reading, 2000. **23**(2): p. 210-223.
15. Trauzettel-Klosinski, S. and K. Dietz, *Standardized Assessment of Reading Performance: The New International Reading Speed Texts IReSTStandardized Assessment of Reading Performance*. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2012. **53**(9): p. 5452-5461.
16. Kershner, A.M., *Speed of reading in an adult population under differential conditions*. Journal of Applied Psychology, 1964. **48**(1): p. 25-28.
17. Wimmer, H. and U. Goswami, *The influence of orthographic consistency on reading development: word recognition in English and German children*. Cognition, 1994. **51**(1): p. 91-103.
18. Mautner, *Vorträge aus dem Gesamtgebiet der Augenheilkunde für Studierende und Ärzte*. Gehirn und Auge, Bergmann, Wiesbaden, 1881.
19. Wilbrand, H., *Über die makulär-hemianopische Lesestörung und die v. Monakowsche Projektion der Makula auf die Sehphäre [On the macularhemianopic reading disorder and the v. Monakowian projection of the macula on the visual sphere]*. Klin Monatsbl Augenheilkd, 1907. **45**: p. 1-39.
20. Trauzettel-Klosinski, S. and K. Brendler, *Eye movements in reading with hemianopic field defects: the significance of clinical parameters*. Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 1998. **236**(2): p. 91-102.
21. Reinhard, J.I., et al., *Eye Movements During Saccadic and Fixation Tasks in Patients With Homonymous Hemianopia*. Journal of Neuro-Ophthalmology, 2014. **34**(4): p. 354-361.
22. Meienberg, O., et al., *Saccadic eye movement strategies in patients with homonymous hemianopia*. Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society, 1981. **9**(6): p. 537-544.
23. Trauzettel-Klosinski, S., *Eccentric fixation with hemianopic field defects: A valuable strategy to improve reading ability and an indication of cortical plasticity*. Neuro-ophthalmology, 1997. **18**(3): p. 117-131.
24. Ivanov, I.V., et al., *Effects of visual search training in children with hemianopia*. PLoS One, 2018. **13**(7): p. e0197285.

25. Lévy-Bencheton, D., et al., *The Effects of Short-Lasting Anti-Saccade Training in Homonymous Hemianopia with and without Saccadic Adaptation*. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2015. **9**: p. 332.
26. Roth, T., et al., *Comparing explorative saccade and flicker training in hemianopia*. *A randomized controlled study*, 2009. **72**(4): p. 324-331.
27. Trauzettel-Klosinski, S., *Visual rehabilitation training for homonymous field defects*. *Der Ophthalmologe*, 2012. **109**(5): p. 496-500.
28. Zihl, J., *Visual scanning behavior in patients with homonymous hemianopia*. *Neuropsychologia*, 1995. **33**(3): p. 287-303.
29. Aimola, L., et al., *Efficacy and feasibility of home-based training for individuals with homonymous visual field defects*. *Neurorehabilitation and neural repair*, 2014. **28**(3): p. 207-218.
30. Kerkhoff, G. and C. Marquardt, *Erworbene, visuell bedingte Lesestörungen*. *Der Nervenarzt*, 2009. **80**(12): p. 1424-1439.
31. Kerkhoff, G., et al., *Rehabilitation of hemianopic alexia in patients with postgeniculate visual field disorders*. *Neuropsychological Rehabilitation*, 1992. **2**(1): p. 21-42.
32. Reinhart, S., B. Höfer, and G. Kerkhoff, *Visuell bedingte Lesestörungen nach erworbener Hirnschädigung: Therapie*. *Sprache· Stimme· Gehör*, 2013. **37**(02): p. 105-111.
33. Zihl, J., *Eye movement patterns in hemianopic dyslexia*. *Brain*, 1995. **118**(4): p. 891-912.
34. Bergsma, D.P., et al., *Transfer effects of training-induced visual field recovery in patients with chronic stroke*. *Top Stroke Rehabil*, 2012. **19**(3): p. 212-25.
35. Kasten, E., et al., *Computer-based training for the treatment of partial blindness*. *Nat Med*, 1998. **4**(9): p. 1083-7.
36. Sabel, B.A., S. Kenkel, and E. Kasten, *Vision restoration therapy (VRT) efficacy as assessed by comparative perimetric analysis and subjective questionnaires*. *Restor Neurol Neurosci*, 2004. **22**(6): p. 399-420.
37. Grunda, T., P. Marsalek, and P. Sykorova, *Homonymous hemianopia and related visual defects: Restoration of vision after a stroke*. *Acta Neurobiol Exp (Wars)*, 2013. **73**(2): p. 237-49.
38. Reinhard, J., et al., *Does visual restitution training change absolute homonymous visual field defects? A fundus controlled study*. *British Journal of Ophthalmology*, 2005. **89**(1): p. 30-35.

39. Schuett, S., et al., *Rehabilitation of reading and visual exploration in visual field disorders: transfer or specificity?* Brain, 2012. **135**(3): p. 912-921.
40. Zihl, J., C. Krischer, and R. Meißen, *Die hemianopische Lesestörung und ihre Behandlung.* Nervenarzt, 1984. **55**(6): p. 317-323.
41. Spitzyna, G.A., et al., *Optokinetic therapy improves text reading in patients with hemianopic alexia: a controlled trial.* Neurology, 2007. **68**(22): p. 1922-30.
42. Schuett, S., et al., *Rehabilitation of hemianopic dyslexia: are words necessary for re-learning oculomotor control?* Brain, 2008. **131**(12): p. 3156-3168.
43. Schmidt, D., D. Ullrich, and R. Rossner, *Horizontal and vertical reading: a comparative investigation of eye movements.* Ger J Ophthalmol, 1993. **2**(4-5): p. 251-5.
44. Laarni, J., et al., *Reading vertical text from a computer screen.* Behaviour & Information Technology, 2004. **23**(2): p. 75-82.
45. Yu, D., et al., *Reading speed in the peripheral visual field of older adults: Does it benefit from perceptual learning?* Vision Research, 2010. **50**(9): p. 860-869.
46. Yu, D., et al., *Comparing reading speed for horizontal and vertical English text.* Journal of vision, 2010. **10**(2): p. 21-21.
47. Ahlén, E., et al., *Learning to read upside-down: a study of perceptual expertise and its acquisition.* Experimental Brain Research, 2014. **232**(3): p. 1025-1036.
48. Subramanian, A., et al., *Learning to read vertical text in peripheral vision.* Optom Vis Sci, 2014. **91**(9): p. 1097-105.
49. de Jong, D., et al., *The influence of reading direction on hemianopic reading disorders.* Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 2016: p. 1-7.
50. Hepworth, L., F. Rowe, and H. Waterman, *VeRSE: Vertical Reading Strategy Efficacy for Homonymous Hemianopia after Stroke: A Feasibility Study.* British and Irish Orthoptic Journal, 2019. **15**(1): p. 28-35.
51. Nasreddine, Z.S., et al., *The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment.* J Am Geriatr Soc, 2005. **53**(4): p. 695-9.
52. Costa, A.S., et al., *Alternate-form reliability of the German Montreal Cognitive Assessment (MoCA) screening test.* Klin Neurophysiol, 2012. **43**(01): p. P091.

53. MacKeben, M., et al., *Random word recognition chart helps scotoma assessment in low vision*. Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry, 2015. **92**(4): p. 421-428.
54. Weih, L.M., J.B. Hassell, and J. Keeffe, *Assessment of the impact of vision impairment*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2002. **43**(4): p. 927-35.
55. Finger, R.P., et al., *The Impact of Vision Impairment on Vision-Specific Quality of Life in Germany*. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2011. **52**(6): p. 3613-3619.
56. Radner, W., et al., *Eine neue Lesetafel\* zur gleichzeitigen Bestimmung von Lesevisus und Lesegeschwindigkeit*. Klin Monbl Augenheilkd, 1998. **213**(09): p. 174-181.
57. Radner, W., et al., *The validity and reliability of short German sentences for measuring reading speed*. Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology, 2002. **240**(6): p. 461-467.
58. Freitas, S., et al., *Montreal cognitive assessment: validation study for mild cognitive impairment and Alzheimer disease*. Alzheimer Dis Assoc Disord, 2013. **27**(1): p. 37-43.
59. Hassell, J.B., L.M. Weih, and J.E. Keeffe, *A measure of handicap for low vision rehabilitation: the impact of vision impairment profile*. Clin Exp Ophthalmol, 2000. **28**(3): p. 156-61.
60. Hochberg, Y. and A.C. Tamhane, *Multiple comparison procedures*. 1987: John Wiley & Sons, Inc.
61. Weih, L.M., J.B. Hassell, and J. Keeffe, *Assessment of the Impact of Vision Impairment*. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2002. **43**(4): p. 927-935.
62. Dawes, P., R. Hopkins, and K.J. Munro, *Placebo effects in hearing-aid trials are reliable*. International Journal of Audiology, 2013. **52**(7): p. 472-477.
63. Gerdesmeyer, L., et al., *Randomized Placebo-Controlled Placebo Trial to Determine the Placebo Effect Size*. Pain Physician, 2017. **20**(5): p. 387-396.
64. Ofer Agid, M.D. ,, et al., *Meta-Regression Analysis of Placebo Response in Antipsychotic Trials, 1970–2010*. American Journal of Psychiatry, 2013. **170**(11): p. 1335-1344.
65. Rief, W., et al., *Meta-analysis of the placebo response in antidepressant trials*. Journal of Affective Disorders, 2009. **118**(1): p. 1-8.

66. Zhang, W., et al., *The placebo effect and its determinants in osteoarthritis: meta-analysis of randomised controlled trials*. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 2008. **67**(12): p. 1716-1723.
67. Miller, F.G. and D.L. Rosenstein, *The nature and power of the placebo effect*. *Journal of Clinical Epidemiology*, 2006. **59**(4): p. 331-335.

## **7. Erklärung zum Eigenanteil**

Die vorliegende Arbeit wurde in der Forschungseinheit für Visuelle Rehabilitation der Universitäts- Augenklinik Tübingen unter Betreuung von Frau Prof. Dr. Susanne Trauzettel-Klosinski durchgeführt.

Initiiert wurde das Projekt durch Frau Prof. Dr. Susanne Trauzettel-Klosinski.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch mich in Zusammenarbeit mit Frau Prof. Dr. Susanne Trauzettel-Klosinski und Frau Angelika Cordey-Henke, Orthoptistin.

Die Programmierung der Trainingssoftware erfolgte durch Herrn Dr. Stefan Küster-Gruber, der auch die Weiterentwicklung derselben vorantreibt.

Die Untersuchungen an Infrarot-Eyetracker sowie SLO wurden (nach Einarbeitung durch Mitglieder der Forschungseinheit) von mir eigenständig durchgeführt, ebenso die Erhebung von kognitivem Status und subjektiven Lesebeschwerden mittels Fragebögen. Die orthoptische Untersuchung und Anpassung einer optimalen Lesehilfe erfolgte durch Frau Angelika Cordey-Henke, Orthoptistin. Die klinisch-ärztliche Einschlussuntersuchung erfolgte durch Frau Prof. Dr. Susanne Trauzettel-Klosinski. Bei Probanden in der zweiten Hälfte der Studienlaufzeit erfolgten die vormals allein durch mich durchgeführten Untersuchungen weitgehend durch Herrn Dr. Stefan Küster-Gruber.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig nach Beratung durch Herrn Prof. Martus (Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie)

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und

keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen den

---

Paul Niklas Kabisch

## 8. Veröffentlichungen

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in folgender Publikation veröffentlicht:

S.Kuester-Gruber, **P.Kabisch**, A.Cordey, H.-O. Karnath, S. Trauzettel-Klosinski

“Training of vertical versus horizontal reading in patients with hemianopia – a randomized and controlled study”.

Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 2020,  
<https://doi.org/10.1007/s00417-020-04952-w>

Vortrag im Rahmen der Verleihung des Promotionspreises der Bielschowski-Gesellschaft für Schielforschung und Neuroophthalmologie bei deren Jahrestagung 2021.

Abstract zur Präsentation beim Meeting der Association for Vision and Ophthalmology ARVO 23.-27.4. 2023 in New Orleans : Trauzettel-Klosinski S, **Kabisch P**, Karnath H-O and Kuester-Gruber S. Eye movements during vertical and horizontal reading training in patients with hemianopia - a randomized and controlled study. Investigative Ophthalmology and Visual Science, ARVO-Abstract accepted

Tübingen den

---

Paul Niklas Kabisch

## 9. Anhang

### Untersuchungsplan

Dargestellt sind die Untersuchungen, die zu den jeweiligen Testzeitpunkten durchgeführt wurden.

Untersuchung	T1	T2	T3
<b>Ophthalmologische Untersuchungen</b>			
Orthoptik	X	-	-
Optimale Korrektur	X	X	X
Morphologie	X	-	-
Neuroophthalmologische Untersuchung	X	-	-
Perimetrie TwinField	X	-	-
<b>Lebensqualität und Kognition</b>			
QoL (IVI)	X	X	X
MOCA	X	X	X
Fragebogen nach dem Training	-	X	-
Fragebogen Lesen	X	X	X
Linienhalbierung	X	-	-
<b>Lesebezogene Tests</b>			
<b>IReST</b>			
horizontal	X	X	X
vertikal	Nur A	Nur A	Nur A
<b>SKread</b>			
horizontal	X	X	X
vertikal	Nur A	Nur A	Nur A
<b>Eyetracking</b>			
Lesen Horizontal	X	X	X
Lesen Vertikal	Nur A	Nur A	Nur A
<b>SLO</b>			
read Horizontal (analog zu SKread)	X	X	X
read Vertikal (analog zu SKread)	Nur A	Nur A	Nur A
Lesen Horizontal	X	X	X
Lesen Vertikal	Nur A	Nur A	Nur A
Mikroperimetrie	X	-	-
Fixationsort und -stabilität	X	X	X

## Checkliste Untersuchung T1

# Checkliste PRÄ-Untersuchung

- **Persönliche Daten, Anamnese**
- **Leseanamnese: Gewohnheiten; subjektive Lesebeeinträchtigung, Bildungsstand, Beruf**

### Voruntersuchung: Klärung, ob geeignet

- 1. Visus/NV, Refraktion, Abgleich, dominantes Auge?
  - 2. Orthoptischer Befund
  - 3. 30° GF monokular beide Augen am Twinfield Automatik Perimeter
  - 4. Lesegeschwindigkeit mit IReST (Standard: waagrecht)
  - 5. Ausschluss Neglect: Linienhalbierung
  - 6. Organbefund, Morphologie
  - 7. Kognitiver Status mittels MoCA Fragebögen
- ➔ **EIGNUNG?** (Lesegeschwindigkeit unter 150 W/min oder subjektiv deutliche Einschränkung der Lesegeschwindigkeit, andere Ursachen ausgeschlossen, max. 5° makuläre Aussparung)
- 

### Bei Eignung: Aufnahme in Studie – Zeitpunkt T1 vor Training

- 8. Aufklärung und Einverständnis zur Studienteilnahme
  - 9. Randomisierung
  - 10. Lesen „Froschkönig“ (senkrecht: abwärts und aufwärts je 5 Reihen, Beschluss Trainingsrichtung!)
  - 11. Lesetest mit den SKread Tafeln zur Erfassung typischer Lesefehler (R/L),
    - LG
    - Fehler
    - 1. oder letzter Buchstabe, wie viele Buchstaben werden gesehen? (5x)
  - 12. IReST vertikal (Bei Lesegruppe)
- } Lesepult,  
Abstand messen,
- 13. Einweisung ins Training (10 Minuten)
    - Laptop mitgeben, wenn kein geeigneter PC vorhanden
    - Training 2x30 Minuten täglich, 5 x pro Woche , 4 Wochen lang, dann **Kontrolle T2**
    - Danach 4 Wochen Trainingspause, dann **Kontrolle T3**

- 14. Messung der Lese-Augenbewegungen mittels Infrarot Eye-Tracker
  - Kalibrieren (zwei Durchgänge), 20s Fixation, 2 Radner waagrecht, 2 senkrecht
  
- 15. Fragebögen zur Lebensqualität (IVI) mit Sonderfragen „Lesen“
  
- 16. SLO in **Mydriasis**:
  - Mikroperimetrie zu Erfassung/Ausschluss einer makularen Aussparung
  - Fixation von Kreuz und Einzelwort (aus „SKread“ ), Text lesen waagrecht und senkrecht, kontrastreich und kontrastarm plus Demonstrationsbilder

**Bei den Kontrollterminen T2 und T3 werden nur folgende Untersuchungen durchgeführt:**

1, 4, 11, 12 (die trainierte Richtung), 14, 16 (nur einmal Mikroperimetrie), Fragebögen 7 und 15

## Anleitung Lesetraining

### Anleitung Lesetraining

Bitte lesen Sie jeden Tag zwei Mal jeweils eine halbe Stunde. Verwenden Sie dabei **Ihre normale Lesebrille** und positionieren Sie sich in ungefähr **30 Zentimeter Abstand** zum Bildschirm.

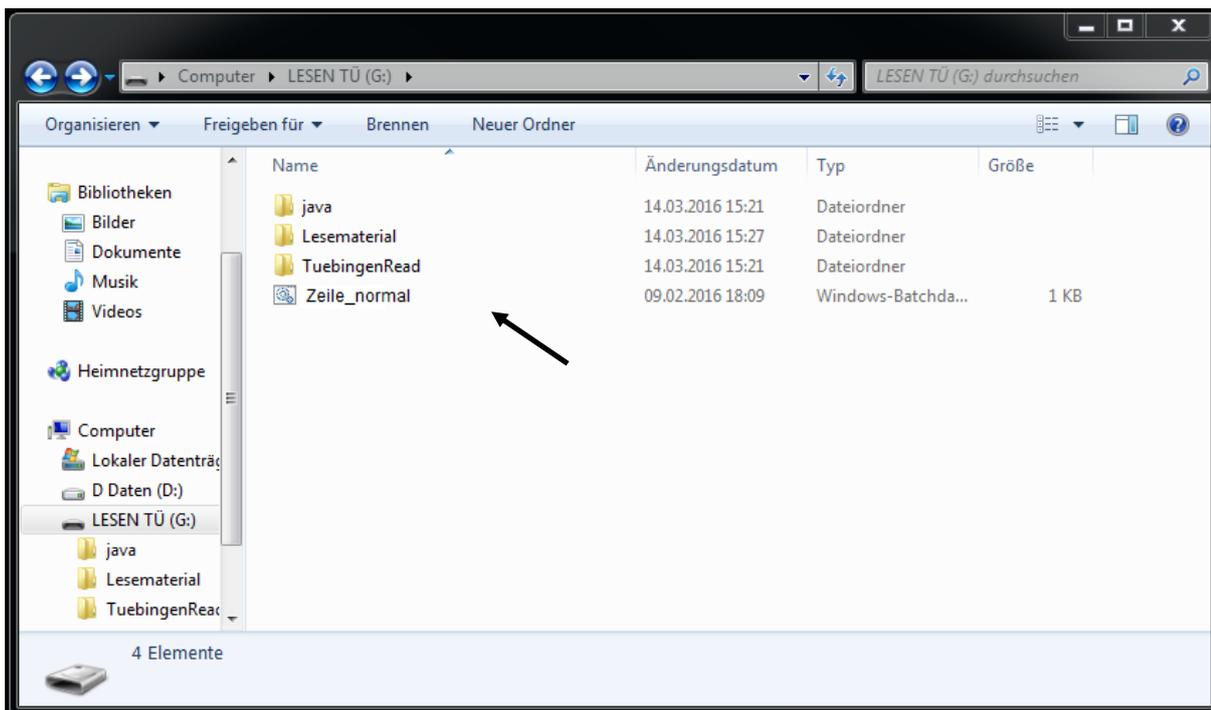
Bitte achten Sie darauf den Kopf nicht schief zu legen

In der Folge wird Schritt für Schritt dargestellt, wie Sie das Programm starten und verwenden.

Bitte ändern Sie den Speicherort des Programmes nicht, da der USB-Stick Ihren Trainingsverlauf protokolliert. Es kann direkt auf dem USB-Stick gestartet und betrieben werden.

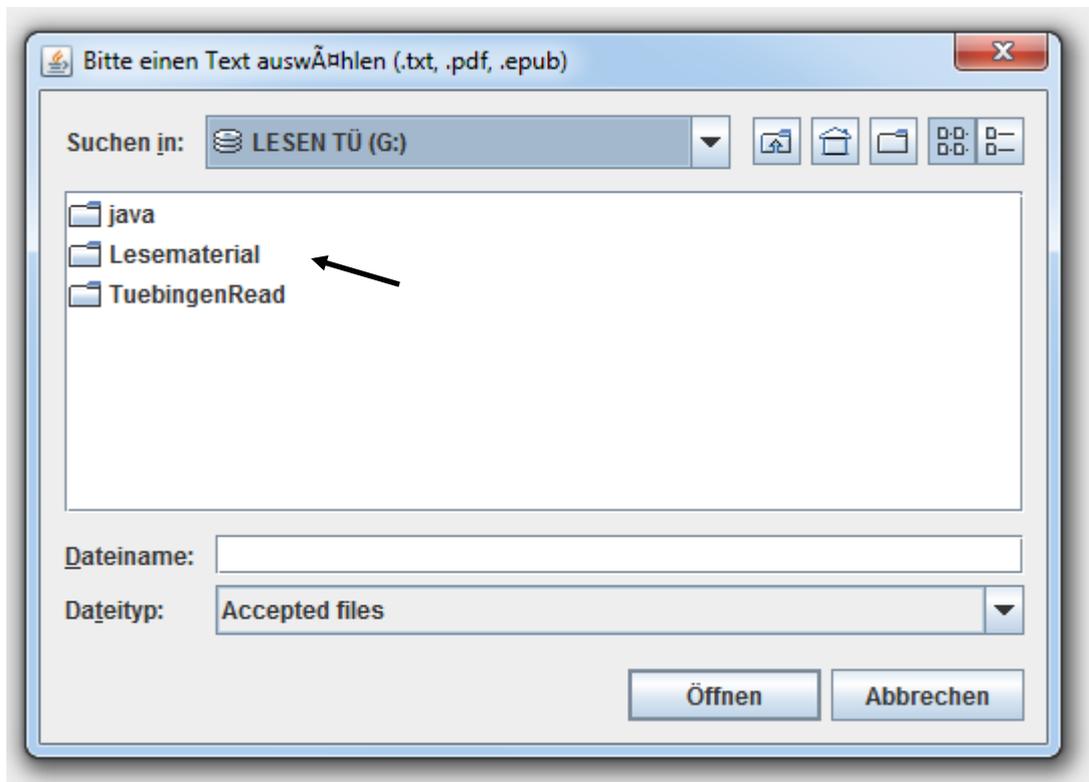
1. Unter „Computer“ Doppelklick auf den USB-Stick „**LESEN TÜ**“
2. Doppelklick auf „**Zeile\_normal**“

→ **Das Programm startet**

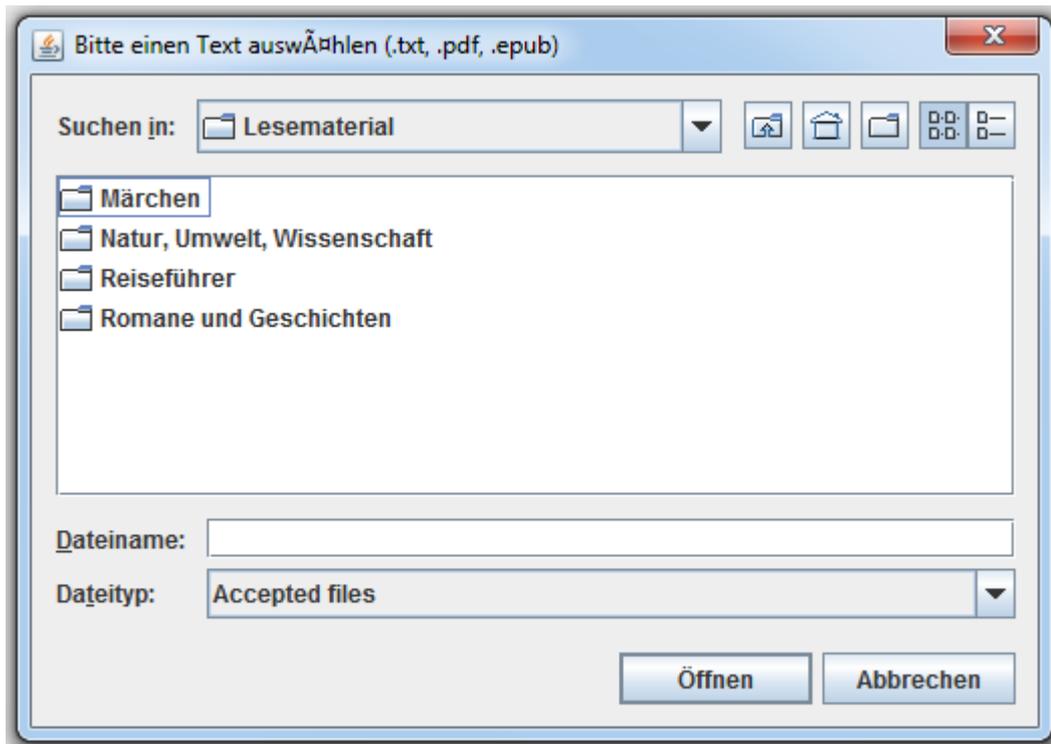


3. Es öffnet sich ein Fenster mit der Überschrift „Bitte einen Text auswählen“
4. Wählen Sie wieder per Doppelklick den USB-Stick „**LESEN TÜ**“

(Sollten Sie andere Texte in den Formaten .txt; .pdf oder .epub besitzen, können Sie stattdessen auch diese wählen.)



5. Doppelklick auf „**Lesematerial**“
6. Wählen Sie ein **Thema** mit Doppelklick und



7. Schließlich einen **Text** mit Doppelklick (Es sind möglicherweise mehrere Doppelklicks nötig)

→ **Das Training startet:**



8. Bewegen Sie sich mit den **Pfeiltasten Ihrer Tastatur** durch den Text.  
Durch Drücken der „ →“ Taste gelangen Sie zur nächsten Zeile,  
falls nötig können Sie mit „←“ eine Zeile zurück springen.
9. Bitte lesen Sie, bis die Stoppuhr in der oberen linken Ecke ungefähr 30 Minuten  
(00:30:00) anzeigt.
10. **Beenden** Sie das Programm durch einen Klick auf **das kleine Kreuz** in der oberen  
rechten Ecke oder die Taste Esc (Escape)



11. Wenn Sie den gesamten Text gelesen haben erscheint folgende Botschaft:

**ENDE. Programm beenden 'ESC' oder neues Buch laden 'I'**

Sie können nun mit der „Esc“ Taste (oben links auf ihrer Tastatur) das Programm beenden und neu starten, oder die „L“ Taste drücken um einen neuen Text auszuwählen.

Sollten irgendwelche **Probleme oder Fragen** auftreten, melden Sie sich gerne gleich bei uns.

**Telefon XXXXXXXXXX**