

**Vergleich zweier deutschsprachiger, standardisierter  
Lesetafeln zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen

vorgelegt von  
Marx, Tobias

2015

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

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

2. Berichterstatter: Professor Dr. M. Eichner

*Gewidmet meinen Eltern.*



# Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einleitung</u> .....	Seite 8
<u>1.1 Das Lesen</u> .....	Seite 8
1.1.1 Das Sehen.....	Seite 9
1.1.1.1 Das menschliche Auge: Anatomie.....	Seite 10
1.1.1.2 Das menschliche Auge: Sinneswahrnehmung und -verarbeitung.....	Seite 13
1.1.2 Vom Bild zum Wort.....	Seite 14
1.1.3 Vom Wort zur Sprache.....	Seite 17
1.1.4 Einflüsse beim Lesen.....	Seite 18
1.1.4.1 Einflüsse ausgehend vom Lesegut.....	Seite 18
1.1.4.2 Einflüsse ausgehend vom Lesenden.....	Seite 20
<u>1.2 Die Altersabhängige Makuladegeneration</u> .....	Seite 24
1.2.1 Epidemiologie.....	Seite 24
1.2.2 Einteilung.....	Seite 25
1.2.3 Pathogenese und Krankheitsverlauf.....	Seite 25
1.2.3.1 Frühstadium.....	Seite 26
1.2.3.2 Spätstadium.....	Seite 28
1.2.4 Diagnose.....	Seite 31
1.2.5 Therapie und Rehabilitation.....	Seite 32
1.2.5.1 Prophylaxe.....	Seite 32
1.2.5.2 Aktuelle therapeutische Maßnahmen.....	Seite 33
1.2.5.3 Rehabilitation.....	Seite 34
1.2.5.4 Ausblick.....	Seite 36
<u>1.3 Die Radner Lesetafeln</u> .....	Seite 37
1.3.1 Entwicklung und Standardisierung.....	Seite 37
1.3.2 Druckverhältnisse.....	Seite 39
1.3.3 Einsatzgebiete.....	Seite 39
<u>1.4 Die International Reading Speed Texts (IReST)</u> .....	Seite 40
1.4.1 Entwicklung und Standardisierung.....	Seite 41
1.4.2 Druckverhältnisse.....	Seite 42
1.4.3 Einsatzgebiete.....	Seite 43
<u>1.5 Ziele dieser Studie</u> .....	Seite 44
<u>2. Methoden</u> .....	Seite 45

<u>2.1 Rekrutierung der Probanden</u> .....	Seite 45
2.1.1 Das normalsichtige Probandenkollektiv.....	Seite 45
2.1.2 Das sehbehinderte Probandenkollektiv.....	Seite 47
<u>2.2 Verwendete Materialien</u> .....	Seite 48
2.2.1 Die Auswahl der Texte.....	Seite 48
2.2.2 Das Bildschirmlesegerät (BLG).....	Seite 50
<u>2.3 Die Datenerhebung</u> .....	Seite 51
2.3.1 Studienverhältnisse.....	Seite 51
2.3.2 Instruktionen an den Probanden.....	Seite 52
2.3.3 Der Ablauf.....	Seite 53
<u>2.4 Die Auswertung</u> .....	Seite 55
2.4.1 Ermittlung der Lesegeschwindigkeit.....	Seite 55
2.4.2 Statistische Auswertung.....	Seite 55
<u>3. Ergebnisse</u> .....	Seite 60
<u>3.1 Grundlagen</u> .....	Seite 60
<u>3.2 Das normalsichtige Probandenkollektiv</u> .....	Seite 62
3.2.1 Aufstellung der sehbehinderten Studienteilnehmer.....	Seite 62
3.2.2 Richtwerte.....	Seite 63
3.2.3 Der Unterschied zwischen <i>Radner</i> und <i>IReST</i> .....	Seite 64
3.2.4 Unterschiede innerhalb der Textsorten.....	Seite 64
3.2.5 Korrelationen innerhalb und zwischen den Textsorten.....	Seite 68
3.2.6 Übereinstimmung nach Bland-Altman.....	Seite 70
<u>3.3 Das sehbehinderte Probandenkollektiv</u> .....	Seite 74
3.3.1 Aufstellung der sehbehinderten Studienteilnehmer.....	Seite 74
3.3.2 Richtwerte.....	Seite 75
3.3.3 Der Unterschied zwischen <i>Radner</i> und <i>IReST</i> .....	Seite 76
3.3.4 Unterschiede innerhalb der Textsorten.....	Seite 76
3.3.5 Korrelationen innerhalb und zwischen den Textsorten.....	Seite 79
3.3.6 Übereinstimmung nach Bland-Altman.....	Seite 80
<u>3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse</u> .....	Seite 84
<u>4. Diskussion</u> .....	Seite 85
<u>5. Zusammenfassung</u> .....	Seite 93

<u>6. Literaturverzeichnis</u> .....	Seite 95
<u>7. Abbildungsverzeichnis</u> .....	Seite 100
<u>8. Tabellenverzeichnis</u> .....	Seite 101
<u>9. Veröffentlichungen</u> .....	Seite 102
<u>10. Erklärung zum Eigenanteil</u> .....	Seite 103
<u>11. Danksagung</u> .....	Seite 104

## Abkürzungsverzeichnis

adj.:	adjustiert
AMD:	Altersabhängige Makuladegeneration
AREDS:	Age-Related Eye Disease – Study
ARVO:	Association for Research in Vision and Ophthalmology
BLG:	Bildschirmlesegerät
CNV:	Choroidale Neovaskularisation
DD:	Differenzialdiagnose(n)
GA:	Geographische Atrophie
IReST:	Interantional Reading Speed Texts
IQR:	InterQuartile Range (Interquartil-Abstand)
LA:	Linkes Auge
LogRAD:	Logarithm of Reading Acuity Determination (Logarithmus der ermittelten Lese-Sehschärfe)
OCT:	Optical Coherence Tomography (Optische Kohärenztomographie)
p:	probability (Wahrscheinlichkeit)
RPE:	Retinales Pigmentepithel
RA:	Rechtes Auge
SD:	StandardDeviation (Standardabweichung)
SD-OCT:	Spectral Domain - Optical Coherence Tomography
SLO:	Scanning Laser Ophthalmoscope
VEGF:	Vaso-Endothelial Growth Factor
WHO:	World Health Organization
w/m:	(korrekt gelesene) Wörter pro Minute

# 1. Einleitung

## 1.1 Das Lesen

Das Lesen ist die logische Konsequenz aus zwei entscheidenden Entwicklungsschritten der Menschheitsgeschichte. Es resultiert notwendigerweise aus einer effektiven Kommunikationsform – der Sprache – und dem Versuch, diese mittels Schrift sichtbar zu machen. Angefangen bei Picto- und Ideogrammen existieren die ersten Schriftstücke nachgewiesenermaßen seit circa 5000 Jahren (Sumerische Keilschrift). Dadurch wird eines der grundlegenden Ziele der sichtbaren Sprache gleichzeitig offenbart und erwiesen: Schrift soll Sprache nicht nur versinnbildlichen, sondern auch konservieren, sodass Gedanken, Verträge, Warnungen, Überlieferungen, Rezepte und vieles mehr ihren Verfasser überdauern können.

Früher war es einigen Wenigen vorbehalten, das Lesen zu erlernen. Mittlerweile gilt die Lesefähigkeit für jedermann als eine alltägliche Notwendigkeit. Das Internet ist weit mehr als ein Bilderbuch, Unterhaltungsliteratur gehört zur Allgemeinbildung und Angeln oder Auto fahren darf man nur nach bestandener schriftlicher Prüfung. Ohne die Fähigkeit zu lesen ist beinahe jeder Beruf nicht auszuüben, eine Teilnahme am sozialen und politischen Leben kaum möglich und der Betroffene ist häufig unwissentlich erheblichen Gefahren ausgesetzt – Aufdrucke wie "Kann Spuren von Erdnüssen enthalten" oder "Vorsicht, Steinschlaggefahr" bleiben unerkannt. Im Schnitt lesen Erwachsene circa 2,5 Stunden pro Tag [3].

Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass viele sehbehinderte Patienten als entscheidende und belastendste Einschränkung den Verlust der Lesefähigkeit angeben [4, 5], während deren Wiederherstellung als Primärziel vieler ophthalmologischer Rehabilitationsmaßnahmen gilt [4]. Betroffene gaben sogar an, ~25% ihrer verbleibenden Lebenszeit dafür zu opfern, wieder lesen zu können [6]; teilweise wird eine Sehbehinderung auch über den Verlust der Fähigkeit, Zeitungsdruck (mit bestmöglicher Nahkorrektur und bei optimalem

Leseabstand) zu lesen, definiert [7]. Im Zuge dessen haben zum einen diagnostische Maßnahmen zur Abschätzung der Lesefähigkeit im augenärztlichen Alltag an Bedeutung gewonnen und zum anderen besteht ein grundlegendes, auch therapeutisches Verlangen nach einem umfassenden Verständnis des Lesevorgangs. Vieles konnte dabei schon erforscht werden, weit mehr bleibt jedoch bisher unverstanden.

Das Lesen ist ein hoch komplexer Vorgang. Er spiegelt das perfekte Zusammenspiel von Anatomie, Physiologie und Psychologie wider und unterliegt dementsprechend vielen Einflüssen. Im folgenden Abschnitt soll sowohl die Funktionsweise des Lesevorgangs, als auch die ihn beeinträchtigenden Pathologien, insbesondere die Altersabhängige Makuladegeneration, beschrieben werden.

### 1.1.1 Das Sehen

*Die Grundlagen für dieses und einige folgende Kapitel stammen aus [1], zusätzliche Quellen sind gesondert markiert.*

Das Sehen ist ein grundlegendes Element für das Lesen und gleichzeitig an sich schon eine äußerst beeindruckende Leistung des menschlichen Sinnesapparates. Beim Sehen handelt es sich um einen Fernsinn, der beim Menschen in Summe mehr Informationen an das Gehirn liefert als alle anderen Sinne – Fühlen & Eigenwahrnehmung, Hören und Gleichgewicht, Schmecken und Riechen – zusammen. Wahrnehmung erfolgt (beim Autofahren beispielsweise) zu 90% visuell [8].

Die Natur hat diverse Fernsinne hervorgebracht. Neben dem allbekannten Hören bedient sich die Fledermaus beispielsweise eines Sonars und Fische erkennen über das Wasser fortgeleitete Vibrationen durch ihr Seitenlinienorgan. Sogar Pflanzen reagieren auf Lichteinstrahlung und wachsen in deren Richtung. Sehapparate gehören dabei zu den komplexeren Varianten eines Fernsinnes, wobei nicht jedes "Auge" dem anderen gleicht. Es existieren einzelne Photorezeptoren bei Einzellern, die eine einfache Hell-Dunkel-Wahrnehmung ermöglichen, primitive Lochaugen vergleichbar mit einer Lochkamera, Facetten-

oder auch Komplexaugen, die ein besonders hohes zeitliches Auflösungsvermögen bieten, und linsenbasierte Sehapparate wie bei Säugetieren und somit auch dem Menschen.

Der Mensch erreicht maximal eine Sehschärfe von  $2,0^1$ . Es erlaubt Bildpunkte von weniger als einer Winkelminute (auch: Bogenminute) Abweichung zu unterscheiden, wobei das Erkennen von einer Winkelminute ( $1'$ ) einem Visus von 1,0 entspricht. Eine Winkelminute ist ein Sechzigstel Grad und beschreibt einen Winkel, dessen Strahlen abhängig von der Entfernung zum Scheitelpunkt immer weiter auseinander driften. Somit sind sowohl die räumliche Auflösung eines Bildes als auch die Entfernung für das Erkennen entscheidend. Mit einem Visus von 1,0 können Punkte von 3cm Abstand in 100 Metern Entfernung diskriminiert werden und in 5 Metern Entfernung bereits Punkte mit 1,5mm Abstand.

Natürlich beziehen sich diese Angaben auf das zentrale Gesichtsfeld, da hier die räumliche Auflösung korrelierend mit der Dichte der Sinneszellen an der Makula am höchsten ist. Trotzdem entsteht in Kombination mit den vom Gehirn ausgehenden Ausgleichsmechanismen eine scharfe Bildwahrnehmung über einen Großteil des Gesichtsfeldes.

Das Gesichtsfeld umfasst eine seitliche Ausdehnung von über 180 Grad, pro Auge  $90-100^\circ$  nach temporal und  $60^\circ$  nach nasal, und reicht circa  $50-60^\circ$  nach oben und  $60-70^\circ$  nach unten. Das menschliche Sehen liefert in diesem Rahmen Informationen über Helligkeit und Kontrast, wodurch selbst bei schlechten Lichtverhältnissen Umgebungsinformationen erhalten werden können, und außerdem zu Bewegung, Form und Farbe.

#### 1.1.1.1 Das menschliche Auge: Anatomie

Entgegen der früheren Annahme, dass man mit Hilfe der Augen aktiv Blicke auf jemanden oder etwas wirft und dadurch Informationen über das Blickfeld erhält,

---

1 Es existieren einige wenige linsenbasierte Sehapparate, die ein noch besseres räumliches Auflösungsvermögen als das des Menschen bieten. Ein Adler beispielsweise hat bestenfalls einen Visus von circa 10,0 und kann somit 0,1 Winkelminuten diskriminieren; ein Wanderfalke ist noch zu einer Unterscheidung von 0,4 Winkelminuten fähig, was einer Sehschärfe von 2,5 entspricht.

ist die Sinneswahrnehmung *Sehen* vielmehr passiv. Für den Menschen sichtbares Licht, das heißt elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 400nm und 700nm<sup>2</sup>, muss auf Sinneszellen, sogenannte Photorezeptoren, treffen, um wahrgenommen werden zu können. Dabei durchwandert ein Photon<sup>3</sup> diverse organische Schichten, die in Summe den optischen Apparat des Auges bilden.

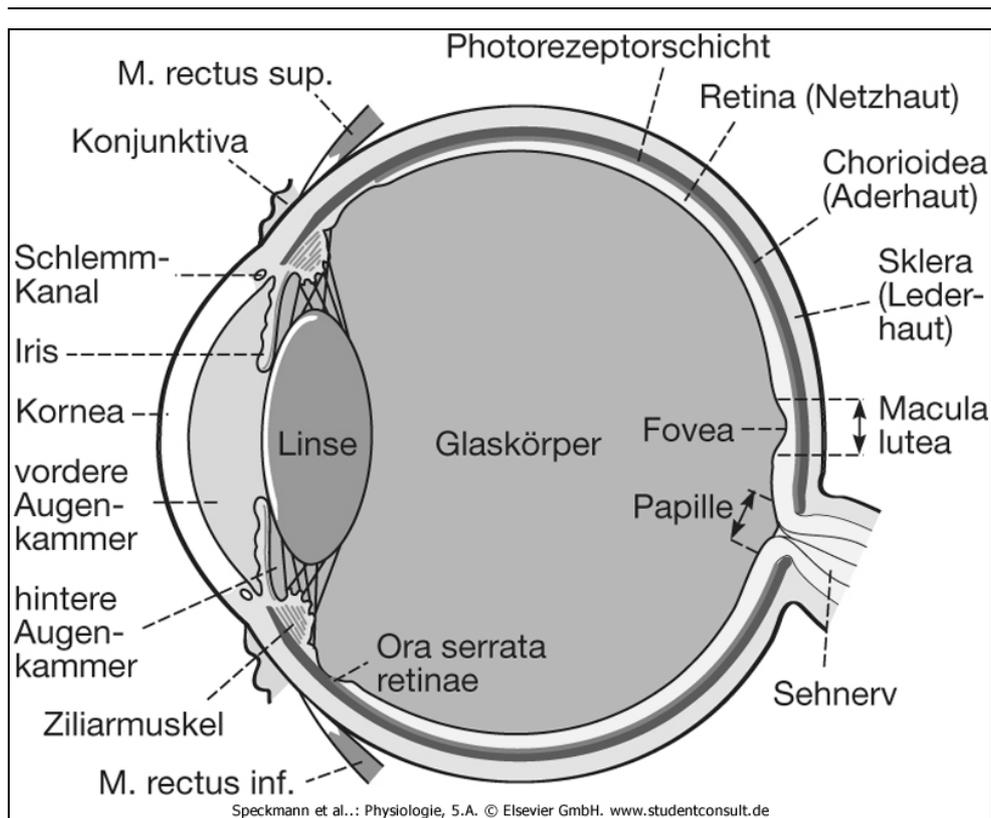


Abbildung 1: Anatomie des Auges.

Aus Speckmann et al.: Physiologie, 5.A. Seite 81. © Elsevier GmbH [1].

Zuerst wird die Cornea (Hornhaut) durchquert. Sie entspricht einer Sammellinse und hat mit 48,8dpt<sup>4</sup> die höchste Brechkraft des Linsensystems und bleibt

2 Circa 400nm entspricht blauem und etwa 700nm rotem Licht, wobei alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben dazwischen liegen und sich wie beim Farbverlauf eines Regenbogens aneinanderreihen.

3 = masselose "Lichtteilchen", aus denen elektromagnetische Strahlung besteht.

4 = Dioptrien, entspricht dem Kehrbrech des Brennpunktes einer Linse/eines Linsensystems

physiologischerweise bis ins hohe Alter erhalten. An lichtundurchlässigen Stellen geht die Cornea in die Sclera (Lederhaut) über, die das gesamte Auge umschließt und schützt. Zusätzlich ermöglicht ihre Festigkeit einen konstanten Augeninnendruck, der physiologisch zwischen 10 und 21mmHg (Millimeter Quecksilbersäule) liegt und seinerseits wiederum die Stabilität des Linsenapparates ermöglicht.

Im Anschluss folgt die Augenkammer, die mit Kammerwasser gefüllt ist. Das Kammerwasser verringert die Brechkraft auf 31,66dpt, wenn Cornea und Kammerwasser als gemeinsames System betrachtet werden. Während ein Photon das Kammerwasser durchtritt, muss es zudem durch ein Loch in der Iris (Regenbogenhaut), der Pupille, treffen, um weiter Richtung Photorezeptoren wandern zu können. Die Iris ist muskulär beweglich und erlaubt eine Regulierung des Pupillendurchmessers zwischen 2 und 8mm, wodurch der Lichteinfall dosiert werden kann. Dies ist vergleichbar mit der Blende einer Kamera und dient somit auch der Reduzierung von Verzerrungen. Für die Akkomodation (aktive Änderung der Brechkraft) von entscheidender Bedeutung ist die dahinter liegende Linse (Lens), eine elastische Sammellinse, deren Form ebenfalls muskulär beeinflussbar ist. Im flachen Zustand hat die Linse eine Brechkraft von ~19dpt, im kugeligen von ~31dpt. Die Differenz beschreibt die Akkomodationsbreite, also die Fähigkeit des Auges sich an die Entfernung eines scharf zu stellenden Objektes anzupassen.

Zu guter letzt durchtritt das Photon den Glaskörper, einen gelartigen Körper, der zwar einen geringen Einfluss auf die Brechkraft des Systems hat, aber ebenfalls zur Stabilität des Auges beiträgt.

Das gesamte System von Cornea, Kammerwasser, Linse und Glaskörper erzeugt eine minimale Brechkraft von circa 60dpt, was einem Brennpunkt von etwa 16,66mm entspricht und gleichzeitig auch den Längs-Innendurchmesser des Auges ab der Linse beschreibt. Die zusätzlich mögliche Brechkraft, also die Akkomodationsbreite, kann somit dazu herangezogen werden, um Nah- und Fernpunkt zu errechnen. Da die Elastizität der Linse im Alter abnimmt<sup>5</sup> und zu

---

<sup>5</sup> Die Linse verbleibt mehr und mehr im flachen Zustand.

einer verringerten Akkomodationsbreite führt, die mit Presbyopie (Alterssichtigkeit) einhergeht, benötigen die meisten Menschen ab circa 40 Jahren eine Lesebrille, die ein scharfes Sehen in der Nähe, insbesondere in circa 33cm Entfernung, ermöglichen soll. Aus diesem Grund wurde das Lesegut dieser Studie in  $30\pm 5$ cm Entfernung präsentiert, natürlich nach erfolgter Nahkorrektur mittels Brille.

#### 1.1.1.2 Das menschliche Auge: Sinneswahrnehmung und -verarbeitung

Erst nach dem gesamten Linsenapparat wird die Retina (Netzhaut) erreicht, ein dichtes Geflecht von Photorezeptoren, Pigmentepithel (dient der Versorgung der Sinnes- und Nervenzellen, insbesondere im Bereich der Makula) und Neuronen mit ihren Nervenfasern zur weiteren Wahrnehmungsverarbeitung. Hier werden die Lichtreize in Aktionspotentiale umgewandelt und fortgeleitet. Einige Photorezeptoren, die Zapfen, dienen dem Farbsehen bei guten Lichtverhältnissen. Pro Auge finden sich etwa 6 Millionen davon, hauptsächlich an der Makula (Punkt des schärfsten Sehens oder auch Fovea centralis). Die Makula ist das Netzhautareal, welches der Pupille genau gegenüber liegt und damit das zentrale Gesichtsfeld mit Informationen versorgt. Es existieren drei Arten von Zapfen, die unterschiedliche Wellenlängen wahrnehmen: eine für 567nm (rot), eine für 535nm (grün) und eine für 440nm (blau). Dagegen reagieren die Photorezeptoren für das Hell-Dunkel-Sehen, die Stäbchen, am empfindlichsten bei 500nm und dienen insbesondere dem Sehen bei schlechteren Lichtverhältnissen. 120 Millionen befinden sich in jedem Auge, hauptsächlich parafoveal (den Punkt des schärfsten Sehens umgebend) und peripher lokalisiert.

Insgesamt zeigen die Zapfen foveal die größte Dichte von Photorezeptoren verglichen mit der gesamten Retina, was das hohe räumliche Auflösungsvermögen im zentralen Gesichtsfeld erklärt, welches auch zum Lesen notwendig ist. Zudem reagieren die Zapfen wesentlich schneller als Stäbchen auf Reize, wodurch auch das zeitliche Auflösungsvermögen zentral

und bei guten Lichtverhältnissen besser ist<sup>6</sup>.

Jegliche Informationen, die von den Photorezeptoren ausgehen, werden bereits in der Retina vorverarbeitet. Dazu besteht ein kompliziertes Geflecht aus Neuronen, deren Ausgangspunkt die Photorezeptoren als 1. Neuron darstellen. Über Bipolare und Amakrine Zellen (2. Neuron) werden die visuellen Informationen für einen besseren Farb- und Helligkeitskontrast abgeschwächt oder verstärkt und dann, gebündelt über retinale Ganglienzellen (3. Neuron), durch den Nervus opticus (Sehnerv), das Chiasma opticum und anschließend den Tractus opticus weitergeleitet. Sie erreichen das Corpus geniculatum laterale (CGL, 4. Neuron) im Mittelhirn, wo eine Anpassung der Sehwahrnehmung an Umweltbedingungen (z.B. Tag/Nacht bzw. Lichteinfall) erfolgt.

Der finale Schritt der Sehwahrnehmung findet schließlich im Occipitallappen statt. Hier befindet sich die primäre Sehrinde (auch: primär visueller Kortex, V1 oder Brodmann Areal 17), wo in Verbindung mit höheren visuellen Kortizes die endgültige Verarbeitung der Reize stattfindet. Alle visuellen Informationen werden, geordnet nach Lokalisation des Photorezeptors auf der Retina, gesammelt und zu einem plausiblen Bild aus Form, Farbe, Bewegung, Kontrast und Helligkeit zusammen gesetzt.

Erwähnenswert ist dabei, dass lediglich 2% des Gesichtsfeldes, nämlich die zentralen 10°, in 50% der primären Sehrinde repräsentiert werden [9, 10]. Erklärt werden kann dies mit der großen Informationsdichte, die hier notwendigerweise verarbeitet wird, um eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung zu erreichen. Darauf folgend werden die Informationen an andere Hirnareale weiter geleitet, um sie dort in die kortikale "Entscheidungsfindung" einfließen zu lassen. Simultan zur Verarbeitung werden die Bildinformationen genutzt, um die Augenbewegungen anzupassen.

### 1.1.2 Vom Bild zum Wort

Das Lesen ist keine angeborene Fähigkeit des Menschen, sie muss zuerst

<sup>6</sup> Die Zapfen erlauben eine Wahrnehmung von 60Hz, das heißt 60 Bildern pro Sekunde, während Stäbchen lediglich 25Hz ermöglichen.

erlernt werden. Dieser Vorgang spiegelt sich im Gyrus angularis des Assoziationskortex (Brodmann Areal 39) wider, in dem anschließend an oben genannte Verarbeitungsvorgänge visuelle Informationen mit bereits bekanntem Bildmaterial abgeglichen werden. Dabei ist das Erkennen von Buchstaben und Interpunktion entscheidend, aber auch Wörter im Gesamten können identifiziert werden. Außerdem findet hier die Umwandlung von Worten in Laute statt. Im Wernicke-Areal, dem sensorischen Sprachzentrum, werden diese Informationen schließlich in Wort- und Sprachverständnis umgewandelt (Abbildung 2).

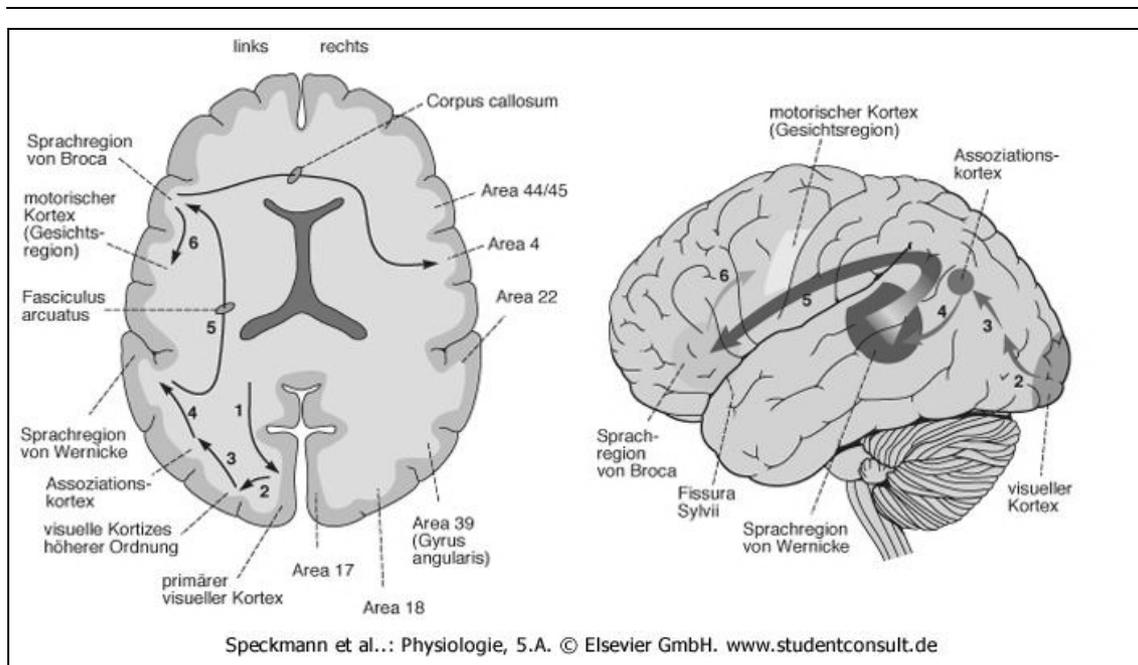


Abbildung 2: Kognitive Verarbeitung von Bild und Schrift.

Aus Speckmann et al.: Physiologie, 5.A. Seite 291. © Elsevier GmbH [1].

Die erkannten Wörter werden Stück für Stück zu einem sinnhaften Satz zusammen gesetzt, während der Blick des Lesenden über den Text gleitet. Man ließt dabei keinesfalls stetig über den Text hinweg, sondern es werden vielmehr kleine Textabschnitte als Fixationspunkte gewählt, die unterbrochen von schnellen Blicksprüngen, den Sakkaden, in Leserichtung wandern. Da die

einzelnen Fixationspunkte nur etwa 250ms gehalten werden, fällt dies dem Lesenden jedoch nicht auf [11].

Als Voraussetzungen für das Lesen gelten ein ausreichend großes Gesichtsfeld und eine Sehschärfe, die die Diskrimination der abgebildeten Buchstaben erlaubt. Bei Zeitungsdruck beispielsweise, präsentiert in 25cm Entfernung, ist ein Visus von mindestens 0,4 notwendig, um ihn lesen zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Fähigkeit zu lesen auf eine Lesegeschwindigkeit von mindestens 30-40 Wörtern pro Minute ("spot reading") festgelegt wurde [12], allerdings kann bei niedrigeren Sehschärfen nicht generell von unzureichender Worterkennung ausgegangen werden. Vielmehr ist ein zügiges Lesen im obigen Sinne als Grundlage für ein umfassendes Textverständnis Voraussetzung.

In Abgrenzung dazu spricht man erst ab 70-80 Wörtern pro Minute von tatsächlich flüssigem Lesen [13].

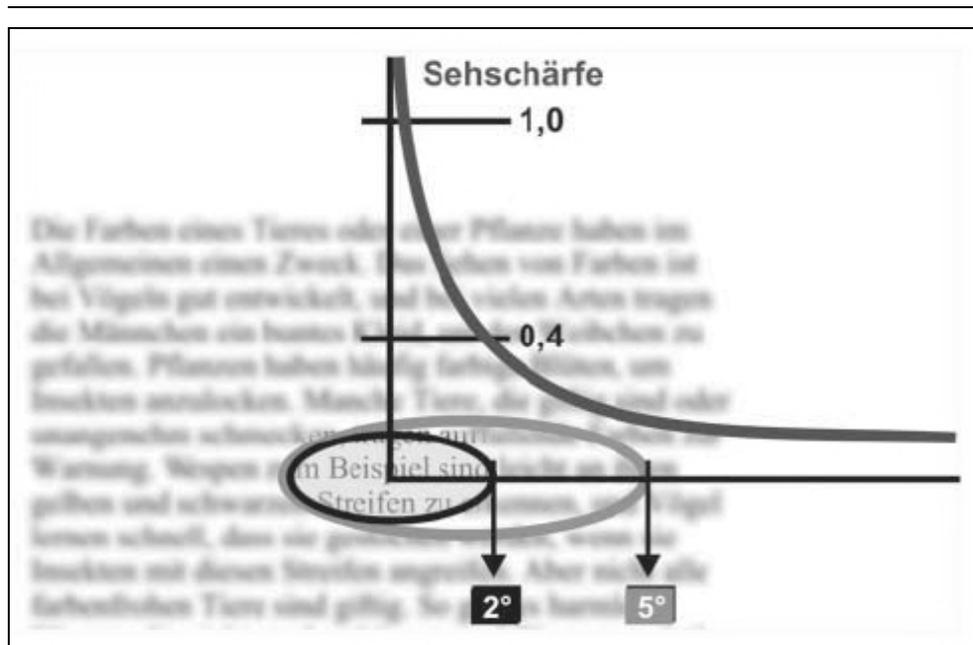


Abbildung 3: Lesegesichtsfeld (Ovale, Erklärungen siehe Text) und Sehschärfe (Kurve, Schnittpunkt von x- und y-Achse entspricht dem retinalen Zentrum/der Fovea) in Abhängigkeit von der retinalen Exzentrizität.

Aus [2] mit freundlicher Genehmigung der Autorin.

Darüber hinaus sollte das Lesegesichtsfeld – wie in Abbildung 3 gezeigt – mindestens eine horizontale Ausdehnung von 2° rechts- und linksseitig des Fixationspunktes (entspricht 4-6 Buchstaben) und davon ausgehend jeweils 1° in vertikaler Ausdehnung (kleines Oval) aufweisen, um eine effektive Worterkennung zu ermöglichen [14-16]. Bei intaktem zentralen Gesichtsfeld werden hier die Buchstaben in maximaler Auflösung wahrgenommen. Für das Lesen ist jedoch auch eine gewisse Orientierung notwendig. Während die genannte vertikale Gesichtsfeld-Ausdehnung für eine fehlerfreie Zeilenorientierung meist ausreichend ist, benötigt man für ein flüssiges Lesen horizontal in Leserichtung weitere 3° Lesegesichtsfeld, also insgesamt 5° (großes Oval, entspricht circa 15 Buchstaben), um eine "Vorschau" vom Text zu erhalten [16]. Zwar sind die Buchstaben über 2° hinaus nicht mehr scharf zu sehen, doch sind Informationen über Interpunktion, Groß- und Kleinschreibung, die Wortlänge und das Zeilenende trotzdem zu erkennen. Für die Planung von Sakkaden und Fixationspunkten ist dies essentiell.

### 1.1.3 Vom Wort zur Sprache

Für die Sprachentstehung im Gehirn wurde das Wernicke-Geschwind-Modell entwickelt. Es versucht stark vereinfacht darzustellen, in welchen kortikalen Bahnen Schriftsprache verarbeitet wird. Man geht davon aus, dass die Bildinformation über ein Wort vorerst auf den gleichen Bahnen wie oben beschrieben verschalten und dann vom Assoziationskortex ausgehend an das Wernicke-Areal weitergeleitet wird, wo das Sprachverständnis entsteht. Über den Fasciculus arcuatus werden diese Informationen anschließend an das Broca-Areal gesendet, wo Syntax und Grammatik integriert und Handlungsentwürfe mit dem Ziel der Wortartikulation an den primären motorischen Kortex weitergeleitet werden (Abbildung 2, Seite 15). Von diesem kortikalen Areal ausgehend werden schließlich die Koordination von Atem-, Kehlkopf- und pharyngealer, sowie oraler Muskulatur und der Zunge abgestimmt, sodass ein Wort gesprochen wird.

Mittlerweile existieren aber auch Hinweise darauf, dass beim lauten Lesen die

Informationen nicht erst im Wernicke-Areal verschaltet werden, sondern direkt vom Assoziationskortex in das Broca-Areal weitergeleitet werden. Zudem gibt es für viele weitere Areale des Zentralen Nervensystems Hinweise, dass sie ebenfalls an der Sprachverarbeitung beteiligt sein könnten.

Insbesondere klinische Erfahrungen bei Schäden des Gehirns legen jedoch nahe, dass eine Hemisphäre für das Lesen und Sprechen – abgesehen von notwendigerweise beidseits repräsentierten Vorgängen wie dem Sehen oder der muskulären Koordination – entscheidend ist. Sie ist in den meisten Fällen links lokalisiert.

Grundlegend kann davon ausgegangen werden, dass noch wesentlich komplexere Vorgänge und Abläufe als hier beschrieben notwendig sind, damit ein geschriebenes Wort verstanden und artikuliert werden kann.

#### 1.1.4 Einflüsse beim Lesen

Beim Lesen nehmen vielerlei Dinge Einfluss auf die Lesegeschwindigkeit und das Textverständnis. Da in dieser Studie die Lesegeschwindigkeit erhoben werden soll, war es beim Erstellen des Studiendesigns erstrebenswert, möglichst viele Einflussfaktoren, ausgenommen der Geprüften, zu eliminieren. Deshalb ist die Kenntnis derselben bedeutsam.

Generell nehmen drei Dinge Einfluss auf das Lesen: das Lesegut, der Lesende und die Leseumgebung. Die Leseumgebung wird im Methodikteil ausführlich beschrieben.

##### 1.1.4.1 Einflüsse ausgehend vom Lesegut

Da die Lesetafeln in dieser Studie im Originaldruck verwendet wurden, fließen deren Eigenschaften – Zeilenlänge, Schriftart, Schriftgröße, Syntax, Wortwahl, etc. – ohne nähere Berücksichtigung unverändert in die Messungen mit ein. Trotzdem sollen sie nicht unerwähnt bleiben, da gewisse Einflüsse der genannten Parameter bereits nachgewiesen werden konnten:

Es konnte für die Kontrastverhältnisse eines Textes oder Schriftstückes nachgewiesen werden, dass ein Einfluss vorliegt. Bei niedrigem Kontrast –

Farb- oder Schwarz-Weiß-Kontrast – sinkt die Lesegeschwindigkeit [17-19]. Wortwahl und Syntax spielen ebenfalls eine wichtige Rolle für die Lesegeschwindigkeit und das Textverständnis [20]. Vereinfacht kann man sagen, dass seltene Wörter und ein komplexer Satzbau das Lesen erschweren und verlangsamen. Einen weiteren Einfluss konnte für die Wortlänge – je länger ein Wort, desto schwieriger ist es zu erfassen – festgestellt werden [15], was besonders im Vergleich verschiedener Sprachen zum Tragen kommt.

In Abhängigkeit von der Sehschärfe eines Lesenden konnte zudem ein deutlicher Effekt der Schriftgröße nachgewiesen werden. Dabei findet sich individuell eine optimale Schriftgröße bzw. ein Schriftgrößenbereich in definiertem Leseabstand, der mit einer maximalen Lesegeschwindigkeit assoziiert ist, während bei größerer (zu kleines Lesegesichtsfeld, um sich im Text schnell und effektiv zu orientieren; erst bei sehr hohen Schriftgrößen zu beobachtendes Phänomen) wie auch kleinerer Schriftgröße (Buchstaben werden schwerer erkannt) die Lesegeschwindigkeit wieder abnimmt [21].

Umgekehrt gilt dies auch für den Leseabstand bei einer festen Schrift- bzw. Zeichengröße: In einem gewissen Abstand zum Text werden die Buchstaben scharf und zugleich in ausreichender Zahl (bezogen auf eine Fixation) wahrgenommen und auf diese Weise ideale Lesebedingungen hergestellt. Deshalb wird Patienten mit Sehbehinderung beispielsweise auch empfohlen, entweder einen größeren Fernseher zu nutzen oder näher an den Bildschirm zu sitzen, wenn das Programm nicht mehr ausreichend scharf gesehen wird.

Außerdem hat auch die Schriftart, in der ein Text abgedruckt ist, als fixe Kombination von diversen Texteigenschaften (Zeichenabstand, Serifen,...), einen gewissen Einfluss auf das Lesen [22]. Dabei ist zu beachten, dass besonders im Falle einer Sehbehinderung, die das Lesen beeinträchtigt (s.u.), die genannten Einflussfaktoren schwerer oder zumindest verändert<sup>7</sup> zum Tragen kommen.

Lesende haben unter optimalen Voraussetzungen mehr Kapazitäten, um

---

<sup>7</sup> Einige Patienten lesen beispielsweise nicht bei schwarzer Schrift auf weißem Grund am besten, sondern bevorzugen oft eine Kontrastumkehr, d.h. weiße Schrift auf schwarzem Grund oder sogar farbige (z.B. grüne,...) Schrift.

erschwerende Texteigenschaften auszugleichen.

#### 1.1.4.2 Einflüsse ausgehend vom Lesenden

Es konnte nachgewiesen werden, dass der Ausbildungsgrad einer Person beziehungsweise deren täglicher Umgang mit Schriftgut die Lesefähigkeit schulen kann [23]. Umgekehrt ist es ebenfalls möglich das Lesen zu verlernen. Ein Einfluss auf die Lesegeschwindigkeit durch das Leseverhalten ist somit anzunehmen, weshalb wir bei jedem Probanden versucht haben, es einzuschätzen.

Abgesehen vom Leseverhalten spielen die organischen Voraussetzungen eine entscheidende Rolle. Wie oben beschrieben wird eine Vielzahl von anatomischen Strukturen beim Lesen beansprucht und entsprechend groß ist auch die Zahl der Erkrankungen, die entsprechende Organsysteme und damit auch das Lesen beeinträchtigen oder sogar unmöglich machen können. Bezieht man die Artikulation beim lauten Vorlesen noch mit ein, so wird dieses Spektrum zusätzlich um diverse Defekte in der Muskulatur, dem Weichteilgewebe und den Knorpelstrukturen von Luftwegen und Kehlkopf erweitert.

Die Diagnose und Therapie sind nicht selten interdisziplinär.

Trotzdem ist die Lesefähigkeit hauptsächlich eine Domäne der Augenheilkunde, wobei hier – wie bereits erwähnt – insbesondere die Sehschärfe und das Gesichtsfeld von entscheidender Bedeutung sind.

Dies spiegelt sich auch in der Definition von Sehbehinderung und Blindheit wieder; darüber hinaus gilt die Sehschärfe als bedeutender Faktor zur Bewertung der Lebensqualität [24, 25]:

Blind ist man in Deutschland gesetzlich ab einer Sehschärfe von 0,02 beider oder des *besseren* Auges oder vergleichbaren Einschränkungen, die auch das Gesichtsfeld mit einschließen können [26]. Diesbezüglich ist man in Deutschland streng, denn gemäß WHO-Richtlinien gilt ein Patient bereits ab einer Sehschärfe von kleiner 0,05 beider oder des *besseren* Auges als blind, während man in Deutschland unter diesen Voraussetzungen noch als

"hochgradig sehbehindert" eingestuft wird<sup>8</sup>. Die Lesefähigkeit bei Sehbehinderten ist dagegen zwar nicht vollständig verloren, aber dennoch erheblich eingeschränkt. Als sehbehindert gilt man – sowohl in Deutschland als auch gemäß WHO – ab einer Sehschärfe kleiner oder gleich 0,3 auf beiden oder dem *besseren* Auge.

Während deutschlandweit von circa 145.000 Blinden ausgegangen wird, haben die sehbehinderten Patienten die 1-Million-Grenze bereits überschritten [27] und stellen damit ein nicht zu unterschätzendes Kollektiv an Patienten dar. Prognostisch ist sogar von höheren Zahlen auszugehen, da sowohl die Methoden der Erfassung als auch das Alter der Studie (2006), inklusive deren mit dem demographischen Wandel begründeten Vorhersage, für eine unterschätzte und leider auch steigende Prävalenz sprechen. Weltweit ging man 2010 von circa 246 Millionen Sehbehinderten und zusätzlich 39 Millionen Blinden aus [28].

Anhand der Häufigkeitsverteilung verschiedener Erkrankungen als Ursachen für Sehbehinderung und Blindheit lassen sich deshalb auch Rückschlüsse auf die Bedeutung dieser Erkrankungen für Visus und Gesichtsfeld ziehen. Die Kenntnis aktueller Statistiken dient aus diesem Grund nicht nur einer schnellen Diagnosefindung, sondern hilft auch enorm bei der Rekrutierung von Probanden, deren Symptomatik im Studiendesign entsprechend festgelegt ist.

Weltweit ursächlich Spitzenreiter für eine Sehbehinderung ist der unkorrigierte Refraktionsfehler mit 43%. Mit anderen Worten – bei ausreichender medizinischer und in diesem Fall ophthalmologischer Versorgung könnten beinahe die Hälfte aller Betroffenen von ihrer Sehbehinderung geheilt werden, meistens mit einer einfachen Brille! Dies lässt sich auch auf die zweithäufigste Ursache für eine Sehbehinderung weltweit (33%), die gleichzeitig auch die häufigste Ursache für Blindheit weltweit (51%) ist, übertragen: die Katarakt (Grauer Star) [28].

Die angesprochenen Behandlungsmisstände legen eine Ursachenumverteilung in Deutschland nahe, da eine Brillenversorgung für

<sup>8</sup> Der Grad der Behinderung wird jedoch in beiden Fällen – blind oder hochgradig sehbehindert – auf 100% festgelegt.

jedermann zugänglich und eine Katarakt-Operation, sofern aus Sicht der Krankenkassen und Therapeuten gerechtfertigt, jedem Betroffenen erstattet und ermöglicht wird. Bei Älteren (>65 Jahre) gilt ein Glaukom (Grüner Star) zu 11% als Erblindungsursache, zu 14% eine diabetische Retinopathie und zu 29% ist die Ursache unbekannt oder "sonstigen" Erkrankungen zugeordnet. Als Hauptursache für Neuerblindungen, das heißt neu aufgetretenen Fällen von Erblindung oder hochgradiger Sehbehinderung, gilt allerdings die Altersabhängige Makuladegeneration (AMD) mit 34% [29].

Da es sich bei der AMD um eine fortschreitende Erkrankung handelt, ist sie nicht nur "Erblindungsursache Nummer 1", sondern auch in den häufigsten Fällen verantwortlich für Sehbehinderungen, wobei dies nicht nur für Deutschland, sondern die gesamte westliche Welt (Nordamerika, Europa, Australien, etc.) gilt [30-37]. Aus diesem Grund ist das sehbehinderte und in seiner Lesefähigkeit eingeschränkte Probandenkollektiv dieser Studie fast ausschließlich aus diesem Patientenkreis zusammen gestellt.

Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass insbesondere in Bezug auf die Lesefähigkeit auch weitere Erkrankungen mit einhergehendem Zentralskotom, das heißt einem zentralen Gesichtsfeldausfall durch Pathologien am Punkt des schärfsten Sehens<sup>9</sup>, von entscheidender Bedeutung sind, da diese selbst bei kleinen Defekten bereits einen großen Visusverlust verschulden können. Während der Rekrutierung der Probandengruppen wurde nicht nur auf die oben genannten Erkrankungen, sondern auch auf weitere, seltenere und anders geartete Erkrankungen geachtet, um weitere pathologische Einflüsse auf die Lesefähigkeit auszuschließen. Eine Zusammenfassung findet sich im Methodikteil.

Zudem konnte belegt werden, dass grundlegende Veränderungen, hervorgerufen durch das Alter eines Lesenden, bisweilen einen gravierenden Einfluss auf die Lesefähigkeit nehmen können; somit ist das Alter ein weiterer Einflussfaktor in Bezug auf die Lesefähigkeit [7, 38]. Eine Facette des komplexen Alterungsprozesses mag dabei die abnehmende Sehschärfe mit

<sup>9</sup> Oder an den Verschaltungsstellen und Nervenbahnen, die Informationen von der Makula weiter leiten. Andere Erkrankungen als Makulopathien wurden in diese Studie nicht aufgenommen.

dem Alter sein [39].

## 1.2 Die Altersabhängige Makuladegeneration (AMD)

*Die Grundlagen für dieses und einige folgende Kapitel stammen aus [40], zusätzliche Quellen sind gesondert markiert.*

### 1.2.1 Epidemiologie

1885 wurde die AMD erstmals als eigenständiges Krankheitsbild beschrieben. Nun, über ein Jahrhundert später, ist die Erkrankung in den Fokus von Wissenschaft und Forschung gelangt, nicht nur als eine der wesentlichsten Ursachen von Sehbehinderung und Erblindung in der westlichen Welt und der damit einhergehenden eingeschränkten Lebensqualität [41, 42], sondern auch wegen der ungünstigen Kombination mit der steigenden Erkrankungsprävalenz ihrer ohnehin schon erschreckenden Häufigkeit.

Sie wird von der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und dem Berufsverband der Augenärzte Deutschlands wie folgt definiert: *"Die altersabhängige Makuladegeneration (AMD) ist eine Stoffwechselstörung der Fotorezeptoren und des retinalen Pigmentepithels mit Ansammlung von Lipofuszingranula in den Pigmentepithelzellen und Ablagerungen in der Bruchschen Membran (Drusen) [...]"* [37].

Nach aktuellen Schätzungen sind 4,5 Millionen Menschen in Deutschland von der AMD betroffen [43]. Es sind circa 15% aller Über-75-Jährigen von einer AMD betroffen und bei circa 10% der über-80-jährigen, weißen Bevölkerung in den USA liegt laut Friedman et al. [44] sogar eine *fortgeschrittene* AMD vor. Gemäß der demographischen Bevölkerungsentwicklung ist deshalb auch mit der erwähnten Zunahme der Krankheitsprävalenz zu rechnen [44, 45], inklusive aller schwerwiegenden Folgen.

Als entscheidende Risikofaktoren für die Entwicklung oder auch beschleunigte Progression der AMD gelten neben dem Alter als Hochrisikofaktor, das Rauchen [46-51], eine kaukasische Abstammung/weiße Hautfarbe [48], eine AMD am anderen Auge [52] und genetische Prädispositionen, insbesondere krankheitsbegrünstigende Polymorphismen wie *CFH Y402 H* und *LOC387115 A69S* [46, 53].

Darüber hinaus wird beschrieben, dass ein zu hoher BMI (body mass index, ab 25), Hypertonie und Kataraktchirurgie die Krankheitsentstehung begünstigen oder den Verlauf vorantreiben können, wobei die Studienlage hierbei noch nicht gänzlich eindeutig ist [46, 48-50]. Viele weitere Risikofaktoren werden derzeit überprüft.

### 1.2.2 Einteilung

Zur Einteilung der AMD sind zweierlei Herangehensweisen gebräuchlich: Es wird entweder nach der Symptomatik oder nach der Morphologie eingeteilt.

Die Unterscheidung zwischen Früh- und Spätstadium subsummiert dabei die Ausprägung der Beschwerden, unter denen die Patienten zu leiden haben. Ein Großteil der Erkrankten wird dem Frühstadium zugeordnet, da dieses meist vor Auftreten der späten AMD durchlaufen wird.

In Abgrenzung dazu wird im klinischen Alltag eher zwischen einer "trockenen" und einer "feuchten" (auch: exsudativen) AMD unterschieden. Diese Einteilung ist hauptsächlich den morphologischen Unterschieden, aber auch den therapeutischen Möglichkeiten geschuldet.

Eine trockene AMD bietet kaum Behandlungsmöglichkeiten, ist dafür aber relativ milde in ihrer Symptomatik und stabil im Verlauf, sofern sich noch kein Spätstadium der trockenen AMD, eine Geographische Atrophie, entwickelt hat. 80% der Betroffenen leiden unter einer trockenen AMD.

Dagegen kann die feuchte AMD gestoppt oder verlangsamt werden, beschreibt jedoch fast immer ein Spätstadium der AMD: die choroidale Neovaskularisation. Bei circa 20% der Erkrankten wird diese Variante diagnostiziert.

Ein Übergang von einer trockenen in eine feuchte AMD und umgekehrt ist möglich.

### 1.2.3 Pathogenese und Krankheitsverlauf

Nach aktuellen Erkenntnissen sind oxidativer Stress und ein erhöhtes Entzündungsgeschehen im Bereich des subfovealen retinalen Pigmentepithels (RPE) für den Untergang des makulären Gewebes verantwortlich. Dabei ist

besonders das Komplementsystem von Bedeutung. Es konnte gezeigt werden, dass diverse Polymorphismen der Komplement-Gene (u.a. CFH, ARMS2/HTRA1, etc.) eine derartige erhöhte Entzündungsreaktion hervorrufen und mit der AMD-Entstehung assoziiert sind. Aus diesem Grund wird die AMD auch mehr und mehr als systemische Erkrankung gesehen, deren frühzeitige Symptomatik an der Makula dem empfindlichen Gewebe derselben geschuldet ist.

Die AMD beginnt meist asymptomatisch und ist im Frühstadium häufig eine Zufallsdiagnose. Die Spätformen dagegen äußern sich durch zunehmende Visuseinbußen, bis ein ausgeprägtes Zentralskotom das Endstadium der Erkrankung charakterisiert. Ein Betroffener wird jedoch deshalb niemals vollständig blind, da periphere Netzhautareale weiterhin visuelle Informationen aufnehmen können. Diesem Umstand ist es auch zu verdanken, dass Patienten mit AMD im fortgeschrittenen Stadium weiterhin eine gute Orientierungsfähigkeit aufweisen.

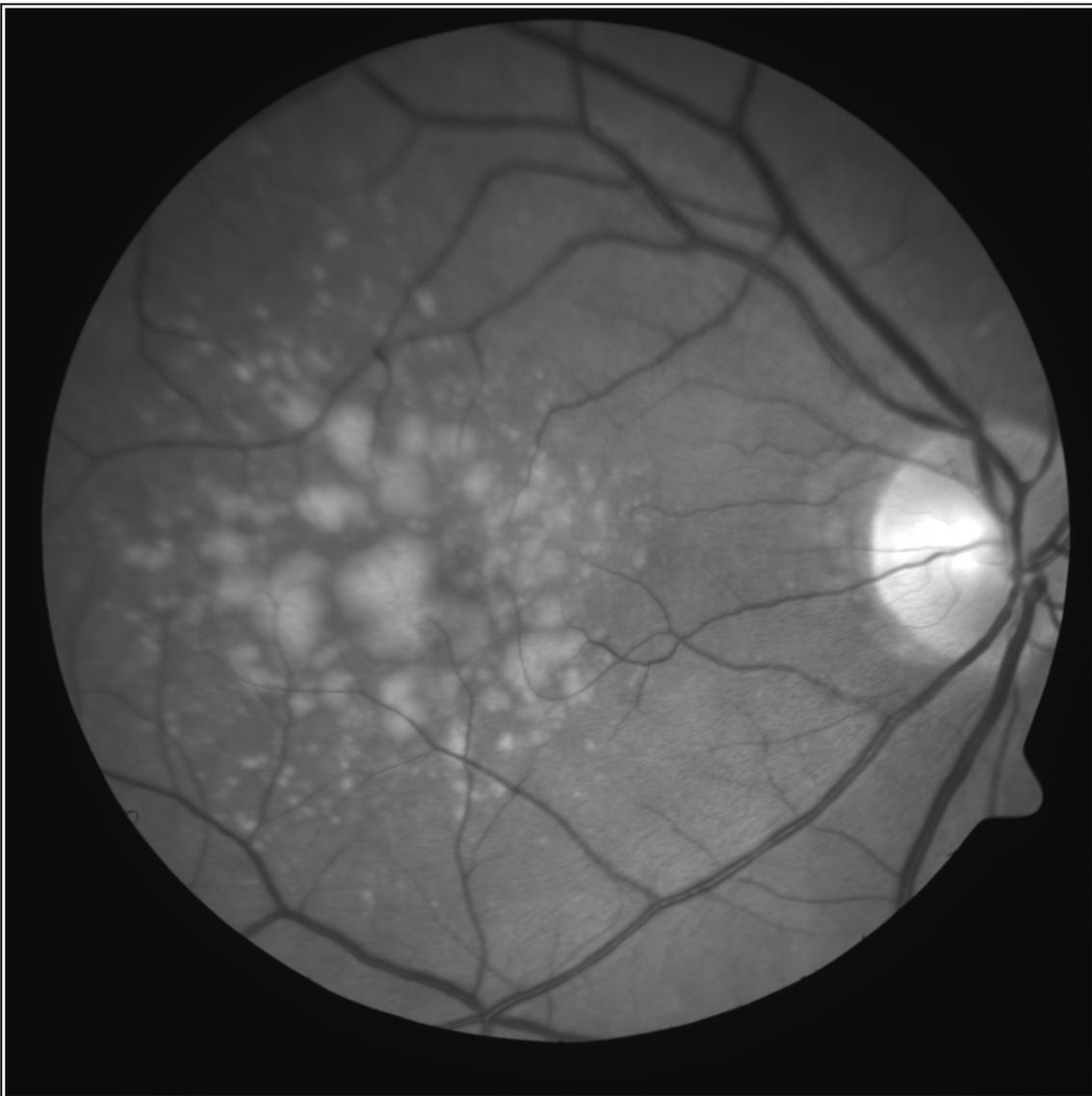
#### 1.2.3.1 Frühstadium

Im Frühstadium der AMD ist die Sehschärfe meist noch unbeeinflusst und auch sonstige Einschränkungen sind selten. Teilweise wird von einer verzögerten Dunkeladaptation berichtet, da die Blauzapfen zuerst untergehen, ebenso wird eine verzögerte Aderhautperfusion beschrieben.

Im Augenhintergrund finden sich im Frühstadium sogenannte Drusen. Dabei handelt es sich um Ablagerungen unter dem RPE, die häufig gleichzeitig an beiden Augen, annäherungsweise symmetrisch auftreten. Darüber hinaus sind Pigmentierungsveränderungen auszumachen, die sowohl hypo- als auch hyperpigmentierte Ausprägungen aufweisen können. Sie können sich auch unabhängig von dem Auftreten der Drusen entwickeln.

Es folgt eine kurze Darstellung wichtiger Drusentypen:

- *Harte* Drusen sind scharf begrenzt und eine häufige, oft relativ harmlose Alterserscheinung. Die Sehschärfe ist von ihnen weitestgehend unbeeinflusst.



*Abbildung 4: Konfluierende Drusen bei AMD (Funduskopie).*

*Mit freundlicher Genehmigung der Augenklinik des Universitätsklinikums Tübingen.*

- *Weiche* Drusen sind ein Charakteristikum der exsudativen AMD und mit einem hohen Risiko zur Progression verbunden. Sie wirken sich negativ auf die Sehschärfe aus und begünstigen die Ausbildung von RPE-Abhebungen. Eine spontane Rückbildung ist möglich, geht aber oft mit einer Atrophie des entsprechenden Netzhautareals einher.
- *Basale lineare* Drusen sind fundoskopisch nicht zu bestimmen, sie

bedürfen einer histologischen Sicherung. Aus diesem Grund sind sie einem Stadium im Krankheitsverlauf schwer zuzuordnen.

- *Kutikuläre* Drusen erinnern an einen Sternenhimmel ("stars in the sky"-Erscheinung). Sie haben eine gute Prognose.
- *Periphere* Drusen treten ebenfalls gehäuft im hohen Alter auf, haben aber eine gute Prognose.
- Retikuläre Pseudodrusen finden sich oft bei geographischer Atrophie.

Das Vorliegen mehrerer Drusentypen in einem Auge ist dabei nicht ausgeschlossen.

### 1.2.3.2 Spätstadium

Das Spätstadium der AMD kann zwei gänzlich verschiedene Verlaufsformen haben, wobei auch hier beide gleichzeitig auftreten können. Es wird zwischen der Choroidalen Neovaskularisation (CNV) und der Geographischen Atrophie (GA) unterschieden.

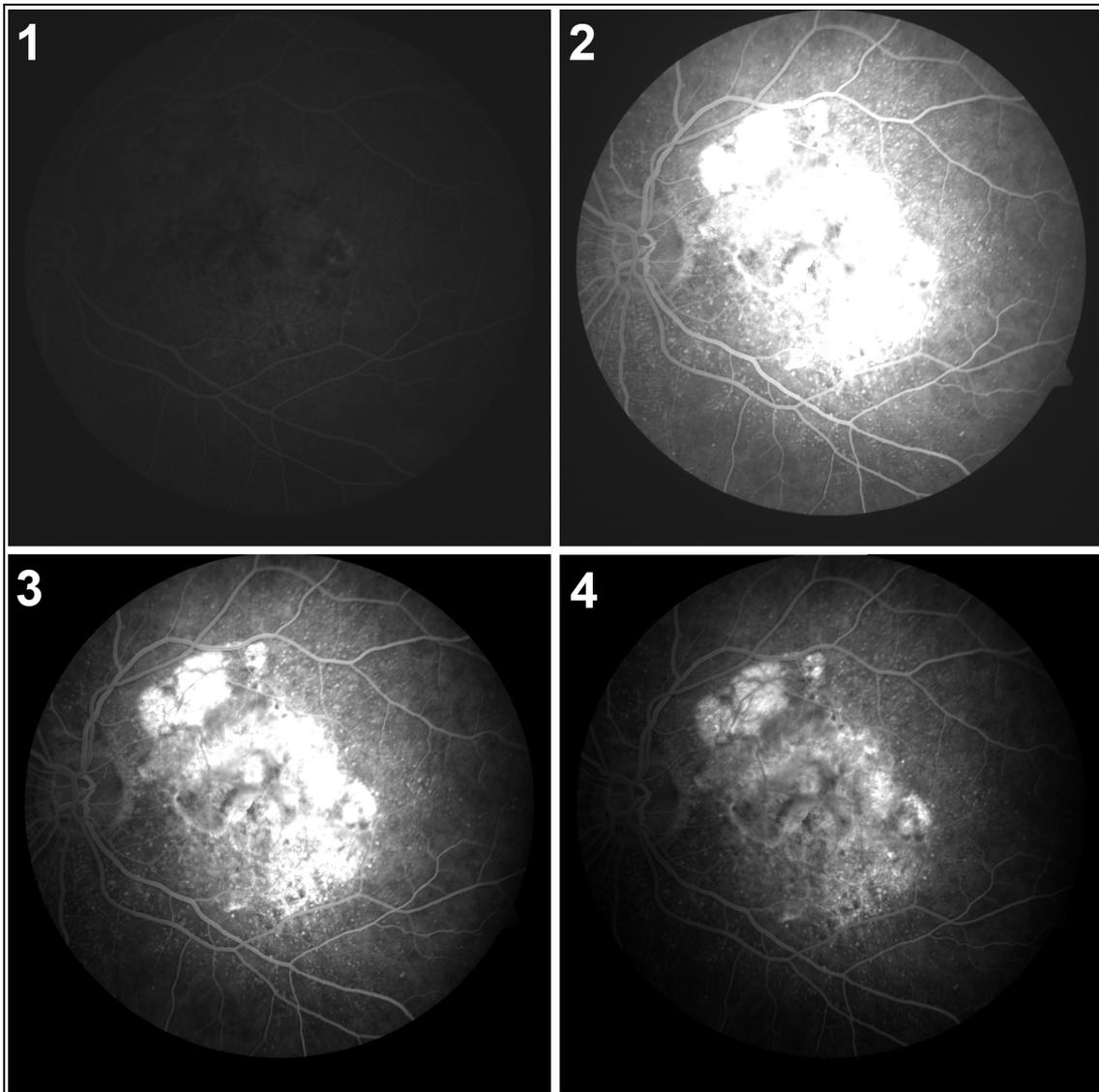
Die Choroidale Neovaskularisation folgt vermehrt auf hyperpigmentierte Veränderungen des Retinalen Pigmentepithels. Ist ein Patient mit AMD hochgradig sehbehindert oder erblindet, so ist dies zu 75-80% auf eine CNV zurück zu führen. Somit ist sie die gefürchtete Verlaufsform der späten AMD.

Es werden wieder verschiedene Formen unterschieden, wobei die Differenzierung zwischen klassischer und okkulter Form (abhängig von der Gefäßmorphologie in der Fluoreszenz-Angiographie, Abbildung 5) in den meisten Fällen ausreichend ist.

Klinisch stellt die CNV im Grunde eine rasch progrediente bis fulminante Verlaufsform der AMD dar. Die Symptome bei CNV reichen von gestörter Farb- und Tiefenwahrnehmung, Metamorphopsien (Verzerrtsehen) und "vernebelter" Sicht über eine Abnahme der Sehschärfe bis hin zum vollständigen zentralen Gesichtsfeldausfall und damit einhergehend dem Verlust der Lesefähigkeit.

Bei einer ophthalmologischen Untersuchung finden sich subretinale Blutungen oder Flüssigkeit, Pigmentepithelabhebungen, chorioretinale Falten oder auch Narben nach spontaner Rückbildung genannter Veränderungen

beziehungsweise therapeutischer Maßnahmen (s.u.). Das betroffene Gewebe verliert im Zuge der damit einhergehenden Schäden seine Funktion und atrophiert.

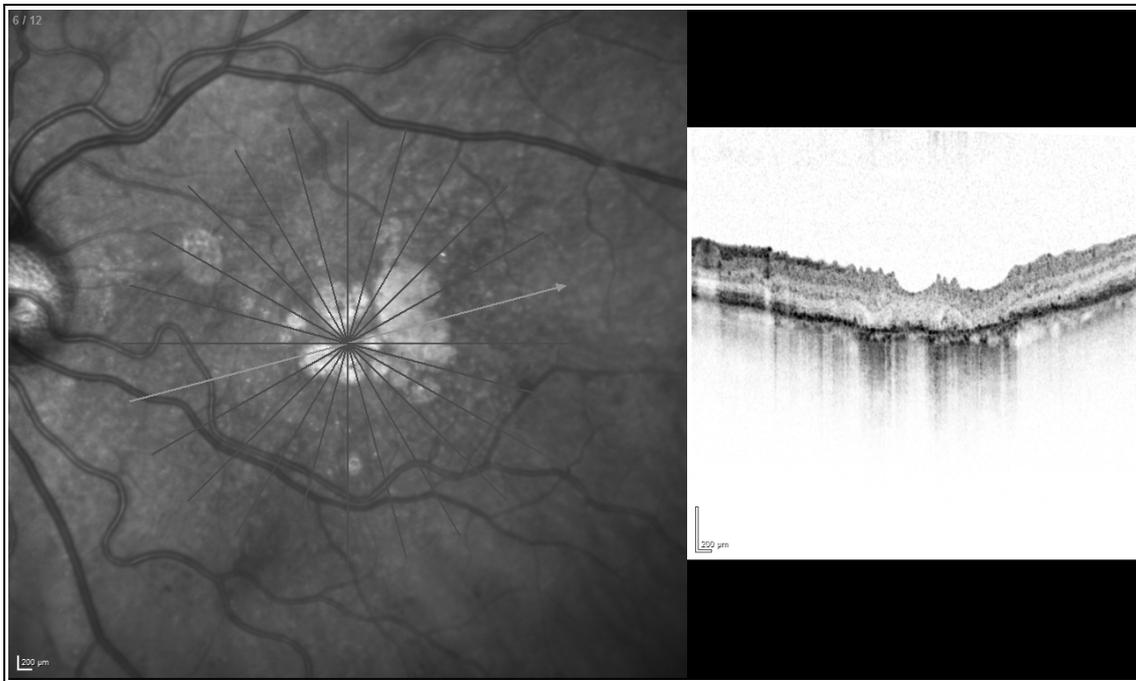


*Abbildung 5: Subfoveale occulte AMD in der Fluoreszenz-/Fundus-Angiographie (s.u.).  
1 – Aufnahme vor Kontrastmittelgabe (0s), 2 – arterielle Phase (~20s), 3 – venöse Phase (~60s), 4 – Spätphase (~10min).*

*Mit freundlicher Genehmigung der Augenklinik des Universitätsklinikums Tübingen.*

Die Geographische Atrophie (Bsp.: Abbildung 6) trifft meist ältere Patienten als

die CNV. Eine hochgradige Sehbehinderung oder gar Erblindung wird nur zu 20% von dieser Form der AMD verursacht. Die GA ist somit im Krankheitsverlauf die eher langsam progrediente Variante der späten AMD.



*Abbildung 6: Areoläre Atrophie bei AMD im OCT (s.u.).*

*Mit freundlicher Genehmigung der Augenklinik des Universitätsklinikums Tübingen.*

Fundoskopisch zeigen sich die atrophischen Areale depigmentiert und meist scharf begrenzt. Sie gehen häufig aus Drusen (inkl. weiche, nach deren spontaner Rückbildung) hervor, aber auch aus kristallinen Ablagerungen oder kollabierten RPE-Abhebungen. Die Atrophie kann singularär oder multifokal auftreten, in vielen Fällen vorerst parafoveal. Dabei ist eine oft gleichartig-symmetrische Ausprägung am Auge der Gegenseite zu beobachten. Bei aggressiveren Verlaufsformen lassen sich im Randgebiet des Atrophieareals vermehrt Lipofuszin-Akkumulationen nachweisen. Lipofuszin wirkt toxisch für die Retina und das RPE und wird aus diesem Grund als Hinweis auf eine schnelle Progression gewertet.

Symptomatisch zeigt sich die GA zu Beginn noch milde, Einschränkungen der

Sehschärfe können wie bei der Frühform keine ausgemacht werden. Da das Gesichtsfeld initial parafoveal betroffen ist, bemerken die Patienten zunächst "nur" Schwierigkeiten beim Lesen (Auffinden der richtigen Zeile, Textvorschau zur Planung der Sakkaden, etc.) und bei der Gesichtererkennung, weisen aber auch eine verminderte Kontrastsensitivität auf. Dehnt sich das Skotom dann nach foveal aus, so geht dies mit einem enormen Visusverlust und entsprechenden Folgen einher.

#### 1.2.4 Diagnose

Zur Diagnose und Stadieneinteilung der AMD werden mittlerweile diverse Methoden angewandt. Diese sollen hier kurz aufgelistet werden:

1. Grundlegende Verfahren wie *Visusbestimmung*, *Perimetrie*, *Fundoskopie*, *Bestimmung der Lesegeschwindigkeit* und *Fundusphotographie* sind recht einfach, aber oft unzureichend.
2. Bei der *Optischen Kohärenztomographie* (OCT, Abbildung 6, Seite 30) handelt es sich um eine nicht-invasive Methode zur Querschnitt-Darstellung der Retina-Architektur und den Zellschichten darunter. Die Netzhautdicke kann beurteilt und Flüssigkeitsansammlungen, sowie subretinale Pathologien erkannt werden. Modernere Verfahren derselben Methode sind die Enhanced-Depth-Imaging-OCT zur besseren Tiefendarstellung und die Spectral-Domain-OCT mit besserer Auflösung und verkürzter Untersuchungsdauer. Die SD-OCT wird heute nicht nur zur Diagnostik, sondern auch zur Verlaufskontrolle bei AMD angewandt.
3. Die *Autofluoreszenz-Bildgebung* wird unter anderem mit einem Scanning-Laser-Ophthalmoskop (SLO) durchgeführt. Angeregt durch Laser/Licht wird nicht-invasiv eine Aufblick-Darstellung des Fundus ermöglicht. Lipofuszin zeigt sich dabei hyperintens, Atrophieareale und RPE-Defekte dagegen hypointens. Es wird insbesondere zur Verlaufskontrolle eingesetzt.
4. Die *Mikroperimetrie* ist eine ebenfalls nicht-invasive Methode zur Aufblick-Darstellung des Fundus mit gleichzeitiger funktioneller Prüfung

der Retina; Sensitivität und Fixationspunkt können eruiert werden. Auch hier hat sich das SLO bewährt, wobei die Methode mit anderen bildgebenden Verfahren kombiniert werden kann. Die Mikroperimetrie eignet sich insbesondere zur Frühdiagnose von ansonsten schwer messbaren Einschränkungen bei AMD.

5. Ein invasives Verfahren stellt die *Fundus-Angiographie* dar. Dabei gilt die Fluoreszin-Angiographie als Goldstandard bei der Diagnose einer exsudativen AMD (Abbildung 5, Seite 29). Durch sie kann der retinale Blutfluss sichtbar gemacht werden. Die Indozyanidgrün-Angiographie stellt dagegen die choroidale Zirkulation und unter dem RPE gelegene Vaskularisationen besonders gut dar. Sie dient der Diagnosesicherung bei einer Sonderform der CNV – der polypoidalen choroidalen Vaskulopathie.

#### 1.2.5 Therapie und Rehabilitation

Aus kausal-therapeutischer Sicht konnten sich bei der AMD trotz intensiver Forschung nach wie vor keine Gegenmaßnahmen, seien sie pharmakologischer oder chirurgischer Natur, etablieren. Doch Dank der hohen Patientenzahl konnten diverse Studien auf den Weg gebracht werden, unter anderem mit dem Ziel, diesen Umstand zu ändern.

Darüber hinaus wurde bereits eine Fülle von symptomatischen Therapien und Rehabilitationsmaßnahmen entwickelt. Dieser Abschnitt soll einen kurzen Überblick über die aktuellen Möglichkeiten bei der Behandlung der AMD darstellen.

##### 1.2.5.1 Prophylaxe

Prophylaktisch werden *diätische Maßnahmen und Nahrungsergänzungsmittel* diskutiert. Dabei zeigte sich besonders das Meiden des Risikofaktors "Rauchen" effektiv, zudem wird eine Behandlung hypertoner Blutdruckwerte empfohlen [49]. Einen positiven, weil verlangsamenden Effekt vor allem auf die Progression der feuchten AMD konnte in der Age-Related Eye Disease-Studie

(AREDS) für eine Kombination von Vitamin C, Vitamin E, beta-Carotin, Zink und Kupfer nachgewiesen werden [50].

In einer Folgestudie, der ARED-Study 2 [54-56], wurde beta-Carotin aufgrund höherer Lungenkrebsraten (insbesondere bei Rauchern) aus der Nahrungsergänzungsmittel-Kombination wieder entfernt, allerdings ohne nachteiligen Effekt. Trotzdem wurden als Ersatz Lutein und Zeaxanthin gewählt, deren endgültiger Nutzen jedoch noch nachgewiesen werden muss.

Darüber hinaus schien eine erhöhte Aufnahme von Omega-3-Fettsäuren das Progressionsrisiko bei AMD zu verringern. Diese Annahme wurde mittlerweile jedoch revidiert [50, 54].

Aufgrund der pathogenetischen Erkenntnisse werden derzeit weitere Antioxidantien, Vitamine und andere Nahrungsergänzungsmittel auf deren Effekte bei der AMD-Entstehung untersucht. Die Ergebnisse sind dazu noch nicht eindeutig.

#### 1.2.5.2 Aktuelle therapeutische Maßnahmen

Während die nicht-exsudativen Formen der AMD kaum weitere Behandlungsmöglichkeiten bieten, sind für die exsudative Form vielerlei therapeutische Maßnahmen entwickelt worden. Seit einigen Jahren etablieren sich insbesondere medikamentöse Methoden zur Behandlung der exsudativen AMD. Dabei wurden die ehemals eingesetzten Kortikosteroide von den modernen VEGF-Hemmern (Hemmung von Gefäßneubildungen, weniger Nebenwirkungen) abgelöst, wovon mittlerweile einige Wirkstoffe auf dem Markt zu finden sind. Eines der älteren Präparate ist Pegatanib (Macugen), das nunmehr von Ranibizumab<sup>10</sup> (Lucentis) [45] und Aflibercept (Eylea) in der klinischen Routine abgelöst wird. Weiterhin findet Bevacizumab<sup>11</sup> (Avastin) in einigen Fällen Anwendung, allerdings besteht offiziell keine Zulassung für den Einsatz bei AMD.

Das Wirkungsspektrum reicht dabei von einer verringerten Progression über einen Stillstand der Erkrankung bis hin zur leichten Besserung der Symptome.

<sup>10</sup> Ranibizumab findet auch Anwendung bei Glaukom und ausgeprägter Katarakt.

<sup>11</sup> Bevacizumab wurde ebenfalls für diverse Carcinome (Mamma-Ca, Kolorectales-Ca,...) zugelassen.

Aus diesem Grund gelten die VEGF-Hemmer in den Behandlungsleitlinien jeglicher CNV als uneingeschränkte Empfehlung (ausgenommen bei Kontraindikation) [37].

Vor der Marktreife der VEGF-Hemmer wurden die *Laserkoagulation* und die *Photodynamische Therapie* als Therapiemethoden der Wahl angewandt. Sie wurden ebenfalls mit dem Ziel eingesetzt, choroidale Gefäßneubildungen zu verschließen und damit die Krankheitsprogression zu verlangsamen oder sogar zu stoppen. Eine Besserung der Symptome konnte nicht erreicht werden. Während die Laserkoagulation mit Verödung durch Hitze arbeitet und insbesondere bei extrafovealer klassischer CNV angewendet wurde, nutzte die Photodynamische Therapie den Umstand, dass sich Verteporfin in Gefäßneubildungen bei CNV anreichert. Dieser Stoff wird anschließend durch Laserbestrahlung aktiviert und setzt Sauerstoffradikale frei, die ebenfalls Gefäßverödungen induzieren. Entzündungsgeschehen können dabei als unerwünschte Nebenwirkung auftreten.

Obwohl die Photodynamische Therapie bisweilen enorme Nebenwirkungen mit sich bringt, ist sie bei Therapieversagen mit VEGF-Hemmern weiterhin zur Behandlung von okkulten, aber auch klassisch-subfovealen CNV indiziert.

Einen fraglichen therapeutischen Effekt zeigt die *Strahlentherapie*, nicht zuletzt auch deshalb, weil die Behandlung mit vielen Nebenwirkungen einhergeht. Da die obigen Maßnahmen jedoch eine häufige Vorstellung des Patienten voraussetzen, wird die Strahlentherapie bei einigen wenig mobilen Patienten weiterhin angewandt, um den Vorteil einer geringen notwendigen Anzahl an Therapiesitzungen auszunutzen.

#### 1.2.5.3 Rehabilitation

Leider kann bereits atrophisiertes Netzhautgewebe (noch) nicht wiederhergestellt werden. Dabei ist es egal, ob eine frühe AMD, eine GA oder eine CNV den Schäden zugrunde liegt. Deshalb hat man diverse Rehabilitationsmaßnahmen zur Behandlung der AMD entwickelt, welche – obgleich sie die ältesten Therapiemaßnahmen bei AMD sind – weiterhin erfolgreich Anwendung finden.

Besonders bewährt haben sich *vergrößernde Sehhilfen* wie Lupen, Lupenbrillen, Bildschirmlesegeräte und Vieles mehr. Mit ihnen kann bei fast allen der Patienten die Lesefähigkeit von Zeitungsdruck wiedererlangt werden [57]. Allgemeine Hilfsmittel wie ein Lesepult oder optimale Beleuchtung für besseren Kontrast sind dabei hilfreich.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit eines Fixationstrainings, durch das die Patienten erlernen, ein intaktes, extrafoveales Netzhautareal am Rande des Skotoms zur Fixation [58, 59] und dadurch die ihnen verbleibende Sehschärfe bestmöglich zu nutzen. Dieses Netzhautareal wird zum neuen Mittelpunkt des Gesichtsfeldes [60] und ist für den erfolgreichen Einsatz von vergrößernden Sehhilfen essentiell. Üblicherweise wird die exzentrische Fixation von Betroffenen spontan erlernt, sofern weiterhin gelesen wird. Man diskutiert jedoch, ob ein Training diesen Vorgang beschleunigen oder auch verbessern kann [61-63].

Auch für das Sehen in die Ferne sind Hilfsmittel verfügbar, beispielsweise Fernrohre, mit deren Hilfe Straßenschilder, Anzeigetafeln, Ampeln oder Hinweisschilder wieder ausreichend scharf betrachtet werden können. Selbst für den Fernseher – erstaunlich viele Betroffene weichen von der Zeitung auf die Nachrichtenbeschaffung per Fernseher aus – sind einfache Methoden (näher sitzen, größerer Bildschirm) und Hilfsmittel (Telebrillen, etc.) auf dem Markt, die dabei helfen, den täglichen Bedarf an Nachrichten und Unterhaltung zu gewährleisten.

Zusätzlich bieten elektronische Vorlesegeräte für Patienten ohne wieder erlangte Lesefähigkeit die Möglichkeit, Schriftgut zu scannen und vorlesen zu lassen. Leider ist die Benutzung der Geräte nicht immer selbstständig zu bewerkstelligen; Hilfe durch Dritte beim Auflegen der Schriftstücke ist bisweilen nötig. Darüber hinaus gibt es eine Blinden-Hörbücherei, über die Bücher oder aktuelle Zeitschriften und Tageszeitungen bestellt werden können. Sie werden von einem speziellen Abspielgerät wiedergegeben.

Als weitere Rehabilitationsmaßnahme steht das Orientierungstraining zur Verfügung. Allerdings ist bei AMD meist ausschließlich das zentrale

Gesichtsfeld betroffen und somit – glücklicherweise – kein derartiges Training vonnöten, da das periphere Gesichtsfeld weiterhin ausreichende Umgebungsinformationen liefert.

#### 1.2.5.4 Ausblick

Einen Ausblick auf die zukünftige Behandlung der AMD mag die "chirurgische" Therapie bieten. Während Makuloplastiken (elektronischer oder organischer Ersatz des makulären Netzhautgewebes) und Einzelzellsuspensionen (Einbringen von potentiell zur Netzhautausbildung fähiger Zellkulturen) rein experimentelle Ansätze sind, wurden zeitweise an wenigen augenärztlichen Zentren Makulatranslokationen durchgeführt, bei denen intaktes foveales Gewebe auf einen gesunden Untergrund verpflanzt wurde, um dessen Funktion zurückzugewinnen. Allerdings wurde dieses Vorgehen, ebenso wie die Pigmentepithel-Aderhaut-Translokation (auch: Patchen), bereits vor Leitlinientauglichkeit durch die VEGF-Hemmer ersetzt.

Alle genannten Verfahren sind ein Schritt in Richtung der kausalen Therapie der AMD (Wiederherstellen oder Ersetzen von atrophiertem retinalen Gewebe). Die Tatsache, dass einige Ansätze bereits wieder verworfen wurden, zeigt nur wie viel Forschungsarbeit noch zu leisten ist, bis kausal-therapeutisch behandelt werden kann.

Es finden aktuell diverse Studien zu neuen Medikamenten statt [64].

### 1.3 Die Radner Lesetafeln

1993 wurden mit den *MNRead Acuity Charts* Lesetafeln zur Verfügung gestellt [65], um die auf das Lesen bezogenen Einschränkungen bei einer Sehbehinderung besser einschätzen zu können. Die Testitems bestehen aus standardisierten Einzelsätzen. Allerdings waren die Testsätze (vorerst) ausschließlich auf Englisch erhältlich und deshalb für den deutschsprachigen Raum als diagnostisches Hilfsmittel ungeeignet.

Aus diesem Grund wurden 1998 die *Radner Lesetafeln* von *Radner et al.* veröffentlicht [66]. Die Absicht dahinter war, mit einem hoch standardisierten Testverfahren gleichzeitig die Lesegeschwindigkeit eines Patienten mit Sehbehinderung als auch dessen Lesevisus mit zugehörigem Vergrößerungsbedarf zu ermitteln und gleichzeitig die veralteten diagnostischen Hilfsmittel zur Bestimmung der Lesefähigkeit zu überholen. Die Lesetafeln wurden hervorragend aufgenommen und konnten sich in der Diagnostik von Sehbehinderungen und der Lesefähigkeit etablieren. Bis heute fanden sie zudem in diversen Studien Anwendung.

Ursprünglich nur in deutscher Ausführung erhältlich, wurde das sprachliche Spektrum der *Radner Lesetafeln* nach und nach erweitert. Mittlerweile sind sie in Deutsch, Englisch, Holländisch, Schwedisch und Spanisch erhältlich, weitere sind in Arbeit (Ungarisch, Französisch, Türkisch) [67, 68].

#### 1.3.1 Entwicklung und Standardisierung

Die *Radner Lesetafeln* basieren auf einzelnen, hoch standardisierten Sätzen, während alltägliches Lesegut dagegen meist mehrzeilig und länger ist – es besteht aus Textabschnitten. Aus diesem Grund wurde vorerst geprüft, ob die Messungen von Lesegeschwindigkeiten zwischen langen Abschnitten und einzelnen Sätzen korrelieren. *Radner et al.* führten hierzu eine eigene Studie durch [69], stützen sich aber auch auf die Ergebnisse von *Ahn et al.* [70]. Demnach war eine hohe Korrelation von Einzelsätzen und Textabschnitten auszumachen.

Anschließend wurden von 32 Testsätzen 24 ausgewählt. Diese Sätze zeigen im

Zuge einer Homogenitätsprüfung bei einem gesunden, jungen Testkollektiv bei Schriftgröße 12 sehr gute Vergleichbarkeiten untereinander. Die gewählten Items weisen eine hohe Reliabilität und Trennschärfe auf [65, 71, 72].

Schematisch sind alle Einzelsätze gleichermaßen aufgebaut: Jeder Satz besteht aus 14 Wörtern, die auf 3 Zeilen aufgeteilt wurden, sodass pro Zeile 4 bis 5 Wörter und 7 bis 9 Silben beziehungsweise 27 bis 29 Anschläge (inkl. Leerzeichen) gelesen werden müssen. Insgesamt hat ein Satz zwischen 22 und 24 Silben und 82 bis 84 Anschläge; dies ist bei Artikeln in der Tageszeitung ebenfalls Durchschnitt.

Desweiteren gilt für die erste Zeile, dass mit einem Wort eingestiegen werden muss, das aus 3 Buchstaben besteht. Es folgen 2 bis 3 zweisilbige Wörter, von denen ersteres ein Nomen sein muss, vorzugsweise an Position 2 oder 3. Gleichermaßen wird in die zweite Zeile eingestiegen – ein Wort aus 3 Buchstaben – und es folgt ein dreisilbiges zusammengesetztes Substantiv. Anschließend beginnt in allen Fällen ein Nebensatz, der mit einsilbigen Worten beginnt. Die dritte und letzte Zeile beinhaltet ein weiteres zweisilbiges Nomen gefolgt von einem dreisilbigen Verb. Am Satzende befindet sich kein Punkt.

Darüber hinaus wurden Eigenheiten der deutschen Sprache (wie zusammengesetzte Substantive, z.B. Kleinwagen) berücksichtigt und die Sätze sind bezüglich des lexikalischen Niveaus allesamt der 3. österreichischen Schulstufe angeglichen (Grundlage war ein derzeit in der 3. Schulstufe Österreichs verwendetes Lesebuch).

0.5/0.7	Vor alten Leuten spielte ich nur Volksmusik, bei der man alle Lieder mitsingen konnte	0.32/0.2	1.25x 5 Dpt
0.4/0.6	Mit Onkel Klaus kauften sie ein Kinderbuch, das wir dann den Kleinen vorlesen mußten	0.4/0.25	Normaldruck (25 cm; 4 Dpt)
0.3/0.5	Die Blumen wuchsen dicht vor dem Burggraben, in dem einst klares Wasser geflossen war	0.5/0.32	

Abbildung 7: Auszug aus einer deutschen Radner Lesetafel. Normaldruck (1M) mittig. Abbildung zeigt keine Originalskalierung.

### 1.3.2 Druckverhältnisse

Um den Lesevisus bestimmen zu können, wurden die Sätze in verschiedenen Vergrößerungen in logarithmischer Abstufung (Faktor 1,25) abgedruckt. Dies bezieht sich sowohl auf die Zeichengröße (Referenzwert anhand des "x"), als auch auf den Zeilenabstand und die Zeilenbreite. Außerdem beginnt jeder Satz 3,5 cm vom linken Rand der Lesetafel. Als Schriftart wurde *Arial* (keine Serifen) verwendet und in mindestens 85% Kontrast gedruckt.

Insgesamt ist so die Position der Wörter und das Gesamtbild der einzelnen Sätze einheitlich.

### 1.3.3 Einsatzgebiete

Die *Radner Lesetafeln* werden nicht nur verwendet, um die Lesegeschwindigkeit und den Lesevisus einmalig zu ermitteln, sondern auch um Verlaufskontrollen bei Krankheitsprogression oder unter Therapiemaßnahmen möglichst genau vornehmen zu können. Dies gilt sowohl für einzelne Patienten als auch für Patientengruppen. Die Testsätze bieten dafür eine ausreichende Vergleichbarkeit – sie zeigen eine hohe inter-chart- als auch test-retest-Reliabilität – und liegen zudem in verschiedenen Sprachen vor (s.o.). Inwiefern dadurch Studien zum Lesen über sprachliche Grenzen hinaus möglich sind, ist bis dato unbewertet.

Zudem bietet die Angabe des Lesevisus in logarithmischer Abstufung die Möglichkeit, einen Vergleich zum ebenfalls logarithmisch abgestuften Fernvisus herzustellen. Ein Vergleich zu Visusangaben ohne logarithmische Abstufung wäre statistisch nicht möglich. Dies ist für diverse Studien von Bedeutung, zumal der Lesevisus auch als Richtwert zur Einschätzung von Problemen eines Patienten, die unmittelbare Umgebung wahrzunehmen, verwendet werden kann.

Es kann in einem Abstand von 25cm oder 40cm zum Lesegut gelesen werden.

## 1.4 Die International Reading Speed Texts (IReST)

Die *International Reading Speed Texts (IReST)* wurden 2006 im Rahmen einer von der Europäischen Kommission geförderten Studie [73] in vier Sprachen – Deutsch, Englisch, Französisch und Finnisch – der Fachwelt als *first edition* zugänglich gemacht. Gemäß der Namensgebung sind die Texte mittlerweile ein Hilfsmittel bei der Bestimmung von Lesegeschwindigkeiten in der ophthalmologischen Diagnostik, weltweit.

Bäume wachsen fast überall, außer in ständigem Eis und Schnee, auf den Gipfeln hoher Berge und in Wüsten. Wenn ein leeres Stück Land lange genug sich selbst überlassen bleibt, wachsen auf ihm nach einiger Zeit Bäume. Zuerst bedeckt sich der Boden mit niedrigen Pflanzen. Später wachsen Sträucher, und in ihrem Schatten verkümmert ein Teil der niedrigen Pflanzen, die sich zuerst angesiedelt hatten. Wenn wieder einige Zeit vergangen ist, beginnen Bäume zu wachsen. Wenn sie größer werden, gerät ein Teil der Sträucher in ihren Schatten und stirbt ab. Auf diese Weise bildet sich mit der Zeit ein Wald. Die meisten Bäume wachsen langsam, und etliche können sehr alt werden. Wenn alte Bäume sterben, erscheinen junge, die ihren Platz einnehmen. Wälder sind ein Lebensraum, der über sehr lange Zeit hinweg unverändert bleiben kann.

Text Nr.: 3  
Name: Bäume  
Performance Kategorie: BC  
Anzahl Wörter: 131  
Anzahl Silben: 216  
Anzahl Zeichen: 677  
Lesezeit in Sekunden  
(Mittelwert  $\pm$  SD): 45.1  $\pm$  3.4  
Lesegeschwindigkeit (MW  $\pm$  SD)  
Wörter/Minute: 175  $\pm$  13

Abbildung 8: Textabschnitt aus der deutschen IReST-Ausgabe (IReST 3).

Das sprachliche Spektrum wurde mit der *second edition* auf siebzehn Sprachen erweitert [74]. Nun sind die *IReST* nicht mehr nur in den genannten vier Sprachen erhältlich, sondern zusätzlich in Arabisch, Chinesisch, Holländisch,

Hebräisch, Italienisch, Japanisch, Polnisch, Portugisisch [75], Russisch, Slowenisch, Spanisch, Schwedisch und Türkisch.

Es existieren zehn Texte in jeder Sprache. Dadurch sollen sowohl einsprachig, als auch mehrsprachig vergleichbare Messungen von Lesegeschwindigkeiten ermöglicht werden.

#### 1.4.1 Entwicklung und Standardisierung

Die *IReST* wurden von einem Team aus Ophthalmologen und Linguisten mit der Zielsetzung entworfen, möglichst inhaltlich neutrale, aber hoch standardisierte Textabschnitte zu entwickeln [73, 74]. Jeder Text der *first edition* hat 830 ( $\pm 2$ ) Zeichen, das heißt alle Satzzeichen inklusive Interpunktion und Leerzeichen. Die Angabe in Zeichen beruht auf der Tatsache, dass in den verschiedenen Sprachen von unterschiedlichen durchschnittlichen Wortlängen ausgegangen werden muss. In der deutschen Ausgabe der *IReST* besteht jeder Textabschnitt aus 132 (Standardabweichung  $\pm 3,2$ ) Wörtern.

Um ein einheitliches sprachliches Niveau zu erreichen, wurden die Texte, bezogen auf die deutschsprachige Ausgabe, an Lesegut für neun bis zwölf Jährige angelehnt. Dazu wurden insbesondere Lexika für Kinder und Material der sechsten Schulklasse verwendet. Wörter mit einer lexikalischen Häufigkeit unter 0,0001% wurden aussortiert, um einen einheitlichen Einfluss der Wortwahl auf die Lesegeschwindigkeit zu fokussieren [73, 76]. Ebenso wurde die Komplexität der Texte bezüglich des Satzbaus gemäß "syntactic prediction locality theory" von Gibson<sup>12</sup> [20, 77] angeglichen und vereinheitlicht. Es wurden bewusst Texte erschaffen, die inhaltlich naturwissenschaftliche Themen behandeln und somit von allgemeinem Interesse sind.

Die deutschen *IReST* wurden als Prototyp und Übersetzungsgrundlage der anderssprachigen Varianten verwendet und von Linguisten in ihren entsprechenden Kultur- und Sprachraum übertragen. Dies gilt auch für die

---

<sup>12</sup> In der Veröffentlichung 1998 als "syntactic prediction locality theory" und 2000 als "dependency locality theory" bezeichnet. Die Theorie kategorisiert die syntaktische Komplexität eines Satzes in zwei Komponenten: 1. den kognitiven Aufwand, neu gelesene Wörter in das bestehende Satzgefüge einzubinden und 2. den kognitiven Aufwand, das bereits gelesene Satzgefüge zu erinnern, um den gesamten Satzinhalt zu verstehen.

*second edition*, in der die nicht auf lateinischen Schriftzeichen basierenden Sprachen (Chinesisch, Arabisch) ebenfalls linguistisch angepasst wurden. Der Textinhalt, die Textlänge, der Schwierigkeitsgrad und die linguistische Komplexität konnten weitestgehend beibehalten werden.

Da im Chinesischen ausschließlich Schriftzeichen zur Schriftbildung verwendet werden, können Wörter, bestehend aus bis zu vier Schriftzeichen, sinngemäß oft erst über den komplexen Zusammenhang der gesamten Satzgebung definiert und identifiziert werden. Die Anzahl der Schriftzeichen stimmt dabei mit der Zahl der Silben überein. Deshalb wurden diese Texte anhand der Silbenzahl normiert, sodass alle Texte 153 Schriftzeichen beziehungsweise Silben zählen. Die Lesegeschwindigkeit wird dementsprechend in Schriftzeichen pro Minute gemessen, allerdings besteht für internationale Studien die Möglichkeit, die Lesegeschwindigkeit in Wörter pro Minute zu transferieren. Um dies zu ermöglichen, wurden bei der Konstruktion der chinesischen Korrelate zu den deutschen Texten zwei große chinesische Wörterbücher hinzugezogen und natürlich die allgemein gültigen Regeln der Satzbildung angewandt.

Auch weiteren sprachlichen Besonderheiten wurde Rechnung getragen. So wurden Einflüsse durch Dialekte auf Sprache und Schriftbild im Arabischen, Portugisischen (Portugal und Brasilien) und Französischen (Frankreich und Kanada) bezüglich der verschiedenen Sprachräume vereinheitlicht und geprüft.

#### 1.4.2 Druckverhältnisse

Die Texte wurden für die alphabetischen Sprachen (ausgenommen Japanisch und Chinesisch) in 1,7mm "n"-Höhe bzw. 2,2mm "N"-Höhe entsprechend gängiger Zeitungsdruckgröße ("Normaldruck/-größe") gedruckt. Bei der ophthalmologischen Rehabilitation bezüglich des Lesens gilt die Fähigkeit, Texte in "Normalgröße" erkennen und lesen zu können, als therapeutisches Ziel. Sofern möglich wurde die Schriftart *Times New Roman* (mit Serifen), Schriftgröße 10, verwendet. Es wurde Wert darauf gelegt, eine einheitliche Zeilenlänge von 8,5 bis 10 cm einzuhalten; Zeilen- und Zeichenabstand wurden den üblichen Druckverhältnissen von Tageszeitungen angeglichen. Insgesamt

konnte jeder Textabschnitt unter den genannten Vorgaben aus 14,3 Zeilen (Mittelwert), beziehungsweise aus 8,5 Zeilen pro Text im Chinesischen gebildet werden. Gedruckt wurde schwarz auf weiß in hohem Kontrast, das heißt mindestens 90% Michaelson Kontrast.

#### 1.4.3 Einsatzgebiete

Die *International Reading Speed Texts* wurden bereits an diversen Probandenkollektiven angewandt [57, 73-75, 78-80] und bewertet. Es konnte eine hohe Reliabilität nachgewiesen werden, insbesondere in Bezug auf wiederholte Messungen von Lesegeschwindigkeiten eines normalsichtigen Individuums beim Lesen in dessen Muttersprache. Dies wurde für Personengruppen zwischen 18 und 35 Jahren, sowie zwischen 60 und 85 Jahren untersucht. Korrelationen von  $r = 0,772$  bis  $r = 0,934$  konnten aufgezeigt werden [73].

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei wiederholten Messungen noch zu steigern, wurden die zehn Texte jeder Sprache kategorisiert. Als klinisch nicht relevanter Unterschied wurde eine Differenz mit weniger als 10 Wörtern pro Minute Abweichung definiert. Aus diesem Grunde bieten sich die *IReST* für unilinguale Studien mit normalsichtigen Probanden an.

Zudem liefern die *IReST* die Möglichkeit, Lesegeschwindigkeiten zwischen verschiedenen Sprachen zu vergleichen. Es existierten seither keine Lesetafeln, die multilinguale Studien bei Jugendlichen und Erwachsenen in dieser Größenordnung ermöglichten.

Es soll in einem Abstand von 40cm zum Lesegut gelesen werden.

## 1.5 Ziele dieser Studie

Die Ziele der Studie liegen in der Beantwortung zweier grundlegender Fragestellungen. Dementsprechend wird die statistische Analyse der Daten insbesondere im Hinblick darauf erfolgen. Die Fragestellungen sind:

a) *Macht es einen signifikanten Unterschied, welche Lesetafeln – Radner, stellvertretend für Einzelsätze, oder IReST, stellvertretend für Textabschnitte – zur Ermittlung der Lesegeschwindigkeit verwendet werden? Gibt es einen relevanten Unterschied?*

Die *Radner Lesetafeln* werden seit 1998 im deutschsprachigen Raum als gängiges Mittel zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit verwendet. Beim Einsatz neuer Lesetafeln zu selbigem Zweck stellt sich somit die Frage, ob die neu ermittelten Werte mit den alten vergleichbar sind, beispielsweise bei Verlaufskontrollen, um Aussagen über Krankheitsprogression und Therapieerfolge treffen zu können, oder bei der Bewertung neuer Studienergebnisse, bei denen nunmehr die *IReST* Anwendung finden.

b) *Welche Lesetafeln liefern homogenere Ergebnisse?*

Textabschnitte entsprechen eher dem alltäglichen Lesegut als einzelne Sätze. Andererseits bieten sie auch mehr Fehlerquellen und Inhomogenitäten, sprich sie sind schwieriger zu standardisieren und deshalb unter Umständen schlechter geeignet, vergleichbare Werte für die Lesegeschwindigkeit zu liefern als einzelne Sätze. Insbesondere im Hinblick auf test-retest-Untersuchungen ist dies von hoher Relevanz. Aus diesem Grund soll dargelegt werden, ob die Textabschnitte der *IReST* genauso gut, schlechter oder sogar besser dafür geeignet sind als die einzelnen Sätze der *Radner Lesetafeln*.

Der Auswertung wurde ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde gelegt. Ein relevanter Unterschied war ab 10 Wörtern pro Minute (w/m) als solcher zu werten.

## **2. Methoden**

### 2.1 Rekrutierung der Probanden

Für die Studie konnten insgesamt 55 Probanden mit deutscher Muttersprache gewonnen werden.

Bei allen Probanden wurden die üblichen demographischen Daten wie Alter und Geschlecht erhoben und eine grobe Einschätzung des Leseverhaltens anhand des Ausbildungsstandes und des alltäglichen Lesegutes mit dem damit verbundenen Zeitaufwand vorgenommen. Darüber hinaus wurden alle Probanden mit vorangehender Kenntnis über die in der Studie vorgelegten Texte von der Teilnahme ausgeschlossen. Es wurden nur vollständige Datensätze in der endgültigen Auswertung berücksichtigt.

Jeder Studienteilnehmer wurde gemäß der Deklaration von Helsinki über die Ziele, den Ablauf und die Risiken der Studie aufgeklärt. Jedem verwendeten Datensatz kann ein schriftlich dokumentiertes Einverständnis zugeordnet werden, diese sind in der Sehbehindertenambulanz Tübingen hinterlegt. Der Ethikantrag (Projektnummer 152/2012BO2) zur Studie wurde am 16.05.2012 uneingeschränkt von der Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen genehmigt.

Angestrebt wurde eine vergleichbare Altersspanne zwischen 50 und 85 Jahren bei beiden Gruppen. Diese Maßgabe wurde im Verlauf der Studie jedoch auf 49 bis 91 Jahre erweitert, um mehr Probanden gewinnen zu können.

#### 2.1.1 Das normalsichtige Probandenkollektiv

Es konnten 30 Probanden für das erste Probandenkollektiv aus dem Freundes- und Bekanntenkreis der Mitarbeiter der Sehbehindertenambulanz Tübingen gewonnen werden.

Um ophthalmologische oder auch andere Erkrankungen mit Einfluss auf die Lese-, Seh- oder Sprechfähigkeit ausschließen zu können können, unterzogen sich die Teilnehmer freiwillig einer gründlichen Untersuchung. Erkrankungen, auf die besonders geachtet wurden, sind:

- Gesichtsfelddefekte jeglicher Art
- Glaskörperblutung
- ausgeprägte Katarakt
- pathologische Netzhautveränderungen, beispielsweise diabetischer Genese
- Glaukom und auch damit einhergehende Veränderungen des N. opticus
- organische, kognitive oder psychische Artikulationsschwierigkeiten, beispielsweise durch Reizung oder Lähmung der Stimmlippen, Schlaganfälle jeglicher Art oder Leseschwächen kürzlich zurückliegenden Operationen oder Traumata am Auge, bei denen noch keine vollständige Abheilung zu erwarten wäre

Dazu wurden als Voruntersuchungen eine Visusprüfung und eine Fundoskopie (Augenspiegelung) zur Überprüfung des Augenvorderabschnittes und -hintergrundes vorgenommen, zudem eine Ermittlung des Kontrastsehens an Pelli Robson-Kontrasttafeln<sup>13</sup>. Darüber hinaus wurde im Falle zweifelhafter Befunde das Gesichtsfeld mittels statischer Perimetrie auf Ausfälle überprüft.

Aus den pathologischen Ausschlusskriterien waren lediglich Refraktionsanomalien wie Myopie (Kurzsichtigkeit) oder Hyperopie (Weitsichtigkeit) ausgenommen, die durch einfache optische Hilfsmittel, beispielsweise einer Brille, korrigiert werden konnten. Diese Korrekturgläser wurden den Probanden, sofern nicht schon vorhanden, von uns bereit gestellt.

Somit ist von einem weitestgehend gesunden und bezüglich der Lesefähigkeit unbeeinträchtigten Probandenkollektiv auszugehen, mit einem Fernvisus von mindestens 0,8 (logMAR 0,10). Es wird im Folgenden als „normalsichtiges“ Probandenkollektiv bezeichnet.

Das Alter der normalsichtigen Studienteilnehmer liegt zwischen 51 und 81 Jahren, durchschnittlich bei 64,5 Jahren ( $\pm 7,2$  Jahre). Zu 56,7% sind die Probanden weiblich.

---

<sup>13</sup> Es werden Buchstaben-Triplets in 1m Entfernung dargeboten. Der Hintergrund ist weiß, während die Buchstaben in unterschiedlich starkem Kontrast dazu abgebildet sind (Graustufen). Die Kontrastabstufung wurde logarithmisch vorgenommen. Bsp.: 1,00 entspricht einer Kontrastempfindlichkeit von 1/10 (10%), 2,00 entspricht 1/100 (1%), usw.

### 2.1.2 Das sehbehinderte Probandenkollektiv

Außerdem wurden 25 Probanden aus dem Patientenpool der Sehbehindertenambulanz Tübingen für das zweite Probandenkollektiv rekrutiert, ebenfalls nach eingehender Untersuchung unter in 2.1.1 genannten Gesichtspunkten.

Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal zum normalsichtigen Probandenkollektiv galt als zusätzliches Einschlusskriterium für die Teilnahme an der Studie eine diagnostisch gesicherte Makulopathie mit erheblichem fovealen Visusverlust. Durch diese Erkrankungen war ein flüssiges Lesen nur noch bei vergrößerter Schrift möglich, wobei aus technischen Gründen lediglich Probanden zur Studie zugelassen wurden, die auf eine Vergrößerung zwischen 2- und 12-fach angewiesen waren. Der Vergrößerungsbedarf wurde im Haus anhand gängiger Zeiss-Vergrößerungstafeln erneut ermittelt.

Das im Folgenden als „sehbehindert“ bezeichnete Probandenkollektiv wird somit aus in ihrer Lesefähigkeit mäßig bis erheblich eingeschränkten Probanden gebildet. Die für diese Einschränkung ursächlichen Pathologien sind bei 24 Probanden eine altersbedingte Makuladegeneration und in einem Fall ein Morbus Best.

Die Altersspanne beim sehbehinderten Probandenkollektiv liegt zwischen 49 und 91 Jahren, im Durchschnitt bei 77,8 Jahren ( $\pm 9,9$  Jahre), und wird zu 80% von weiblichen Teilnehmern gebildet.

## 2.2 Verwendete Materialien

### 2.2.1 Die Auswahl der Texte

Bei der Wahl der Texte wurde darauf geachtet, möglichst vergleichbare Bedingungen zu erreichen. Dabei wurde bewusst der Originaldruck verwendet, wodurch sowohl der Satzbau, als auch die Formatierung und die Druckverhältnisse dem ursprünglichen Originalzustand der *Radner* und *IReST Lesetafeln* entsprechen.

Da die originalen Lesetafeln eingesetzt wurden und die *IReST* darauf jedoch nur in einer Vergrößerungsstufe vorliegen, mussten aus den 24 *Radner*-Texten die drei in der entsprechenden Schriftgröße vordruckten verwendet werden. Somit fand genau ein Text pro *Radner Lesetafel*<sup>14</sup> Anwendung.

Zwar wird dadurch lediglich ein kleiner Teil der *Radner* Texte eingesetzt, allerdings dürfte die Auswahl der *Radner*-Texte keine wesentliche Rolle gespielt haben, da alle Testitems auf ihre Reliabilität und Validität überprüft worden waren und sehr gute Ergebnisse erzielt hatten [66, 69]. Alle der *Radner*-Texte entsprechen gleichermaßen der für die *Radner Lesetafeln* üblichen Standardisierungen.

Anhand des Großbuchstaben "N" wurde die Zeichengröße bei den *IReST* mit Hilfe eines Typometers bestimmt. Sie beläuft sich auf 2,2mm (*Times New Roman*). Die gewählten Texte der *Radner Lesetafeln* liegen bei LogRAD=0,6 in einer Zeichengröße von 2,05mm für den Großbuchstaben "N" (*Arial*) vor und zeigen damit die beste Übereinstimmung.

Um der Anzahl der eingesetzten *Radner*-Texte zu entsprechen, wurden aus den zehn deutschsprachig-verfügbaren *International Reading Speed Texts* drei gewählt: die Texte 3, 6 und 10. Sie entstammen der gleichen "Performance Category" [73], das heißt für diese drei Texte konnten ausgesprochen homogene Lesegeschwindigkeiten (nicht mehr als 10 Wörter pro Minute Unterschied) gemessen werden.

Insgesamt fanden also jeweils drei Texte aus den *International Reading Speed*

---

<sup>14</sup> In der neuen Auflage der *Radner Lesetafeln* finden sich 4 Tafeln anstatt der hier verwendeten 3. Die verwendeten entsprechen den ersten 3 Lesetafeln der neuen Auflage.

## Texts und den Radner Lesetafeln Anwendung.

Um ein möglichst verzögerungsfreies Auffinden des Textanfanges unter den auf einer Seite abgebildeten Testitems zu gewährleisten, wurden die über und unter dem ausgewählten Satz oder Textabschnitt auf den Lesetafeln befindlichen weiteren Testitems mit weißem Papier abgedeckt (Abbildung 9, Seite 49).

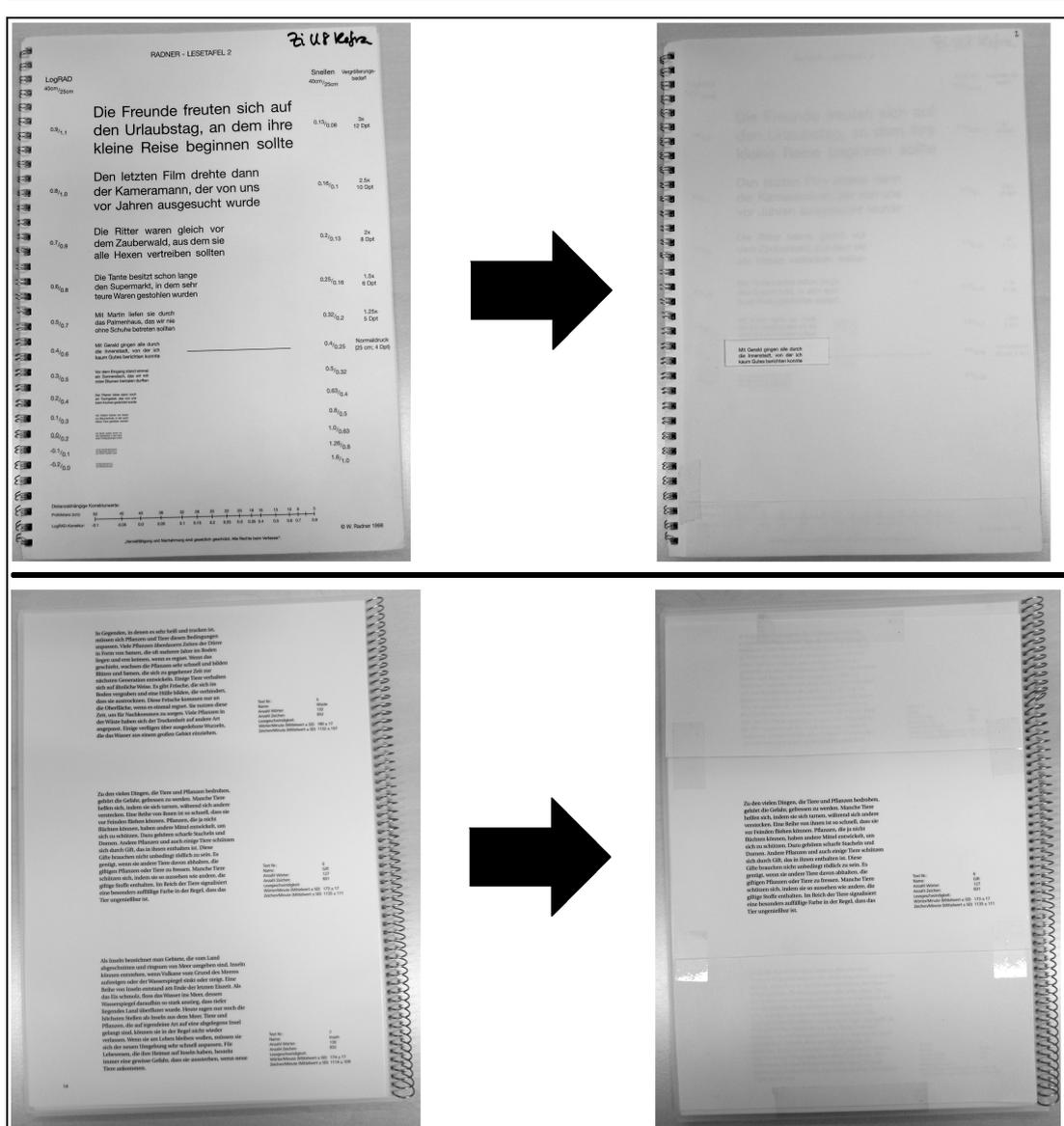


Abbildung 9: Präsentationsform der Lesetafeln. Oben ist eine Radner Lesetafel, unten beispielhaft die International Reading Speed Texts abgebildet.

### 2.2.2 Das Bildschirmlesegerät (BLG)

Das Bildschirmlesegerät findet seit 1975 [81] erfolgreich Verwendung in der Rehabilitation von Patienten mit einer Sehbehinderung, die das Lesen beeinträchtigt. Es wird den Betroffenen ab einem Vergrößerungsbedarf von 6-fach von den gesetzlichen Krankenkassen zugestanden. Einfache Leselupen sind ab dieser Vergrößerung nur noch unkomfortabel einzusetzen<sup>15</sup>. Generell gilt ein Vergrößerungsbedarf von 8-fach als ideal, um mit einem BLG zu lesen.

Mit Hilfe des Bildschirmlesegeräts lassen sich Texte, Bilder und kleinere Gegenstände auf das über 20-fache vergrößern und an einem Bildschirm anzeigen. Da das Lesegut oder Bildmaterial auf einer Auflage abgelegt wird, sind die Hände des Patienten frei, um am BLG auch schreiben zu können. Darüber hinaus bieten einige Geräte die Möglichkeit, Texte in Falschfarben (z.B. grüne Schrift auf schwarzem Grund) oder unter Kontrastumkehr (weiße Schrift, schwarzer Grund) darzustellen, wobei zweiteres von vielen Sehbehinderten bevorzugt wird.

Unter Verwendung dieser horizontal und vertikal verschiebbaren Auflage lassen sich zudem recht einfach Texte vom Untersucher präsentieren, während sich der Proband ausschließlich auf das Lesen konzentrieren kann. Aus diesem Grund entschieden wir uns, diese Möglichkeit bei der Datenerhebung mit dem sehbehinderten Probandenkollektiv einzusetzen.

---

<sup>15</sup> Physikalisch erfordert eine große Lupenvergrößerung eine gleichmäßig große Brechkraft der dafür eingesetzten Linse, was produktionstechnisch nur mit einer kleinen Bildfläche realisierbar ist – sprich: je mehr Vergrößerung, desto weniger Bildausschnitt ist einsehbar. Das macht das Lesen mit Lupen bei hohen Vergrößerungen beinahe unmöglich.

## 2.3 Die Datenerhebung

### 2.3.1 Studienverhältnisse

Während der gesamten Datenerhebung wurde darauf geachtet, reproduzierbare Bedingungen zu gewährleisten. Deshalb fanden sämtliche Messungen bezüglich der Lesezeit und Fehleranalyse im selben Raum und durch denselben Untersuchenden statt. Gleiches gilt für die Anweisungen an den Probanden vor der Datenerhebung und die Ermittlung des Kontrastsehens. Präsentiert wurden die Texte bei einer Leuchtdichte von circa 80cd/m<sup>2</sup>, um einheitliche Kontrastverhältnisse zu gewährleisten. Allerdings ist durch das Bildschirmlesegerät von einem Einfluss auf den Kontrast auszugehen, da die Textdarstellung mittels Flachbildschirm der Kontrastierung desselben unterliegt. Um diese Abweichung auszugleichen, wurde bei allen sehbehinderten Probanden das gleiche BLG eingesetzt. Störgeräusche wurden weitestgehend vermieden.

Bei allen Probanden wurden die selben Texte verwendet: die *Radner Lesetafeln* 1, 2 und 3, sowie den *IReST* 3, 6 und 10. Konnten einer oder mehrere der Texte nicht gelesen werden, so wurden die gesamten Daten des Probanden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Die Texte wurden den Probanden in randomisierter Reihenfolge präsentiert, immer abwechselnd ein *IReST* und ein *Radner-Text*<sup>16</sup>.

Für Normalsichtige war ein Lesepult an den Tisch präpariert und mit einer Stirnstütze für einheitlichen Leseabstand (33cm) versehen. Die Texte wurden allesamt vom Untersucher auf dem Lesepult so ausgerichtet, dass Zeilenanfang und Textmitte möglichst zentral und in gleicher Höhe aufzufinden waren.

Für Sehbehinderte wurde der Text an einem Bildschirmlesegerät, ein Reinecker Videomatic RP V4.0, ebenfalls mit Stirnstütze (ebenfalls 33cm Leseabstand) präsentiert. Dessen Position wurde auf dem Tisch eindeutig markiert. Die für sehbehinderte Probanden eingestellte Vergrößerung entsprach dem zuvor ermittelten Vergrößerungsbedarf mittels Zeiss-Tafeln plus 20%, um eine leicht überschwellige Zeichengröße anzubieten. Da der Vergrößerungsbedarf unseres

---

<sup>16</sup> Beispiel: *Radner 2 - IReST 3 - Radner 1 - IReST 10 - Radner 3 - IReST 6*

Kollektives zwischen 2- und 12-fach lag, war somit eine Vergrößerung zwischen 2,4- und 14,4-fach eingestellt. Die Texte wurden in der Mitte des Bildschirms zentriert und vom Untersucher verschoben, sofern die Textgröße nach erfolgter Vergrößerung die Ausmaße des Bildschirms überstieg. Dies war ab einem Vergrößerungsbedarf von 4-fach (exklusive der zusätzlichen 20%) der Fall. So war es dem Lesenden möglich, sich auf das Lesen zu konzentrieren, und etwaige Messfehler durch die Handhabung des Geräts konnten vermieden werden.

Für das sehbehinderte Probandenkollektiv hätte die Möglichkeit bestanden, die bereits in angegebener Vergrößerung vorliegenden Texte der *Radner Lesetafeln* einzusetzen. Von dieser Überlegung wurde jedoch Abstand genommen, mit der Begründung, dass dabei eine wesentlich größere Zahl an *Radner-Texten* zur Anwendung gekommen wären, die einen Vergleich erschwert hätten.

Zudem liegen die *Radner-Texte* nur bis zu 6-fachen Vergrößerungen vor, die darüber hinaus in vorgefertigten Abstufungen gedruckt wurden. Diese Abstufungen deckten sich nicht mit den zur Bestimmung des Vergrößerungsbedarfs verwendeten Zeiss-Tafeln<sup>17</sup>, die ihrerseits vorgefertigte Vergrößerungsstufen zeigen. Es wäre somit nicht in allen Fällen möglich gewesen, die zuvor ermittelte Vergrößerungsstufe mit den originalen *Radner Lesetafeln* zu präsentieren, während die *IReST* am BLG in präzise kalibrierter Vergrößerung dargestellt wären. Da nachgewiesenermaßen ein Einfluss der Zeichengröße auf die Lesegeschwindigkeit [66] vorliegt, wurden alle Leseproben beim sehbehinderten Kollektiv am BLG dargestellt und individuell für jeden Probanden einheitlich vergrößert.

Die Texte waren den Probanden unbekannt und bis zum Beginn der Zeitmessung nicht einsehbar.

### 2.3.2 Instruktionen an den Probanden

Vor jeder Lesezeitmessung wurden alle Probanden gleichermaßen über den

<sup>17</sup> Als Vergrößerungsbedarf wurde jene Vergrößerungsstufe gewählt, bei der noch flüssig gelesen werden konnte.

Ablauf instruiert und aufgeklärt. Sie wurden gebeten sechs Texte, drei einzelne Sätze und drei Textabschnitte, laut und möglichst zügig, aber fehlerfrei zu lesen. Etwaige Fehler sollten nicht korrigiert werden, sondern ein stetiges Weiterlesen war gewünscht. Kommentare, Zwischenfragen oder längere Pausen während des Lesens waren zu vermeiden. Den Probanden wurden während der Datenerhebung zwischen den Texten ausreichend Möglichkeiten zur Pause geboten, um Übermüdung zu vermeiden. Als Startsignal für das Lesen wurde bei allen Studienteilnehmern das Aufdecken des Textes vereinbart. Während des gesamten Lesevorgangs war ein einheitlicher Abstand (33cm) zum Text einzuhalten, zu diesem Zweck wurde der Leseabstand mit einer Stirnstütze für den Probanden markiert.

### 2.3.3 Der Ablauf

Grundlegend lief die Datenerhebung für alle Probanden gleich ab. Nach erfolgter ophthalmologischer Untersuchung und Überprüfung des Kontrastsehens an Pelli Robson Contrast Sensitivity Charts gemäß üblicher Vorgehensweise als Voruntersuchung, wurden die Probanden mit einer für sie optimalen, optischen Sehkorrektur versehen und darum gebeten, die oben genannten Instruktionen zu beachten. Anschließend wurde anhand eines Probetextes (*IReST 2*) der Vorgang kurz geprobt und damit gleichzeitig die Sehkorrektur überprüft und gegebenenfalls optimiert. Im Falle eines erfolgreichen Testlaufes wurde mit der eigentlichen Messung begonnen, ansonsten wurden die entsprechenden Korrekturen, sofern möglich, vorgenommen.

Darauf folgend wurden die eigentlichen Messungen von Lesezeit (in Sekunden) und Lesefehlern (in Wörtern) bei allen sechs Texten in randomisierter Reihenfolge vorgenommen. Die Zeitmessung erfolgte mit einer handelsüblichen Stoppuhr. Der Beginn der Zeitmessung war auf den Zeitpunkt zu legen, an dem der Proband zu lesen begonnen hat<sup>18</sup>; abgestoppt wurde nach Aussprechen des letzten Wortes des zu lesenden Textes. Dies entspricht der alltäglichen

---

<sup>18</sup> Nicht: wenn der Text aufgedeckt wird

Vorgehensweise bei der Lese-Diagnostik. Die Zeitmessungen wurden vom Untersuchenden vorher geprobt, um bei der eigentlichen Datenerhebung robuste Ergebnisse liefern zu können.

Vor dem Aufdecken eines jeden Textes wurde der Studienteilnehmer gefragt, ob er bereit sei, und nach dem Lesen eines jeden Textes, ob eine Pause vonnöten wäre.

## 2.4 Die Auswertung

### 2.4.1 Ermittlung der Lesegeschwindigkeit

Die Lesegeschwindigkeit wurde aus den erhobenen Daten für beide Textsorten – *Radner* oder *IReST* – gleichermaßen ermittelt:

**(Textlänge [Wörter] – Fehler [Wörter]) : (Lesezeit [Sekunden] x 60)**

Somit hat die Lesegeschwindigkeit genau genommen die Einheit "korrekt gelesene Wörter pro Minute", was im Folgenden der Einfachheit halber als "Wörter pro Minute" abgekürzt wird.

Dabei ist zu beachten, dass alle Wörter, die beim Lesen falsch oder gar nicht ausgesprochen wurden, als Fehler zu werten waren, während wiederholte oder im Text nicht vorhandene Wörter nicht zu beachten waren. Wurde ein fälschlich ausgesprochenes Wort korrekt wiederholt, so war es ebenfalls nicht als Fehler zu werten. Zusätzlich ausgesprochene Wörter wurden also nicht beachtet, da sich diese ohnehin schon auf die Lesezeit auswirkten.

Sofern ein Text durch Zwischenfragen oder Kommentare seitens des Lesenden künstlich verlängert und die Lesezeit somit gravierend verfälscht wurde, wurden die gesamten Daten dieses Probanden nicht in die Auswertung aufgenommen. Gleiches galt für komplett wiederholte Textpassagen, wenn der Proband beim Lesen beispielsweise in der Zeile verrutscht war. Insgesamt acht Datensätze blieben nach dieser Maßgabe unberücksichtigt, weitere unvollständige Datensätze wurden bereits während der Voruntersuchung ausgeschlossen. Sie sind bei den eingangs erwähnten 55 Studienteilnehmern nicht inbegriffen. Somit wurde sicher gestellt, dass ausschließlich vollständige Datensätze in die Auswertung einfließen.

### 2.4.2 Statistische Auswertung

*Die Grundlagen für dieses Kapitel stammen aus [82], zusätzliche Quellen sind gesondert markiert.*

Für die statistische Auswertung der Daten wurde ein Regressionsmodell<sup>19</sup> verwendet [83]. Es erlaubt den Einfluss verschiedener Parameter auf eine

---

<sup>19</sup> Auch: "Regressionsanalyse"

Zielgröße quantitativ und qualitativ anhand bereits ermittelter Daten einzuschätzen. Die Absicht dahinter ist, zukünftig Vorhersagen über die Zielgröße nur durch Kenntnis der Einflussgrößen unter Anwendung des Modells treffen zu können.

Über die Gültigkeit des Modells lässt sich anhand der Verteilung der Residuen eine Aussage treffen. Die Residuen beschreiben die Abweichungen, mit denen sich die – basierend auf dem Regressionsmodell – vorhergesagten Werte der Zielgröße von den tatsächlich gemessenen Daten unterscheiden. Im Idealfall nehmen sie allesamt den Wert 0 an, was keinerlei Abweichung entspräche. Sollten sie jedoch nicht den Wert 0 annehmen, so müssen sie normalverteilt um 0 – oder nahezu 0 – streuen, um ein gültiges Regressionsmodell zu beschreiben. Streuen sie dagegen nicht um 0, so ist mit einem systematischen Vorhersagefehler zu rechnen, der in seiner Höhe den gemittelten Abweichungen entspricht.

Neben der Verteilung der Residuen als Maß für die Gültigkeit der Regressionsanalyse wird außerdem die prognostische Güte des Modells bewertet. Sie wird anhand des Bestimmtheitsmaßes  $r^2$  überprüft. Der Wertebereich für das Bestimmtheitsmaß liegt zwischen 0 und 1, wobei 1 einer hundertprozentigen Vorhersage entspricht, während bei 0 keinerlei verlässliche Vorhersage getroffen werden kann. Das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  bewertet jede Einflussgröße nach ihrem numerischen Einfluss auf die Zielgröße, wobei das adjustierte Bestimmtheitsmaß  $r^2$  (adj.) zusätzlich bei dem Hinzufügen oder Entfernen von Einflussfaktoren ohne relevanten Einfluss ungefähr gleich bleibt (oder sogar sinkt). Dagegen strebt das nicht adjustierte Bestimmtheitsmaß  $r^2$  durch zusätzliche, auch sinnlose Einflussfaktoren im Modell gegen 1, sprich es erscheint besser. Auf diese Weise können sinnlose Einflussfaktoren identifiziert und aus dem Modell entfernt werden, was eine verbesserte Schätzung für die übrigen Einflussgrößen zur Folge hat. Dadurch kann ein möglichst einfaches Modell erstellt werden, das ebenso gute Vorhersagen trifft wie ein komplexeres, welches viele größtenteils bis vollständig irrelevanten Einflüsse mit

einschließt<sup>20</sup>.

Da ein adjustiertes Bestimmtheitsmaß  $r^2$  (adj.) in der Praxis selten den Wert 1 annimmt, ist bei einer Vorhersage, die auf diesem Modell basiert, mit einer gewissen Ungenauigkeit zu rechnen. Der Wert für die Zielgröße kann nicht definitiv vorhergesagt werden, sondern vielmehr ein Wertebereich, in dem die Zielgröße höchstwahrscheinlich zu finden ist. Je mehr sich  $r^2$  (adj.) dem Wert 1 annähert, desto präziser ist das Modell.

Sprechen sowohl die Residuen als auch das adjustierte Bestimmtheitsmaß ( $r^2$  adj.) für ein gültiges und prognostisch präzises Modell, so kann von einer verlässlichen Schätzung der Einflussgrößen ausgegangen werden, sofern eine ausreichende Datenmenge als Basis gesammelt wurde. Für das Regressionsmodell der 30 normalsichtigen Probanden lagen insgesamt 180 und für das der 25 sehbehinderten Probanden insgesamt 150 gemessene Lesegeschwindigkeiten vor.

Als Zielgröße wurde die Lesegeschwindigkeit festgelegt, um damit der zu ermittelnden Größe der beiden Lesetafeln – *Radner* und *IReST* – zu entsprechen.

Als Einflussgrößen wurden die Textsorte und die Textnummer eingesetzt. Die Patienten-Identifikationsnummer galt hierbei als Zufallsgröße, das heißt sie nimmt selbst keinen Einfluss auf die Zielgröße, sondern dient der Kennzeichnung der Verbundenheitsstruktur der erhobenen Daten<sup>21</sup>. Zusätzlich wurde die Textnummer mit der Textsorte verknüpft ("genestet"<sup>22</sup>), sodass jeder gelesene Text automatisch seiner Textsorte zugeordnet wurde. Auf diese Weise konnte verhindert werden, dass mit der gleichen Codierung für die Textnummer die beiden entsprechenden Texte der verschiedenen Lesetafeln verwechselt

20 Bsp.: Für das Ermitteln der Lesegeschwindigkeit in einem Untersuchungszimmer ohne Fenster hat der Sonnenstand keinen Einfluss. Trotzdem würde das Bestimmtheitsmaß  $r^2$ , wenn auch marginal, größer werden, sobald der Sonnenstand als Einflussgröße in das Regressionsmodell aufgenommen wird. Das adjustierte Bestimmtheitsmaß  $r^2$  (adj.) dagegen nicht.

21 Das heißt: Wird ein Proband ausgetauscht, bringt aber für alle anderen Einflussgrößen die gleichen Werte mit wie sein Vorgänger, so ist mit dem gleichen zu erwartenden Wertebereich für die Zielgröße zu rechnen. Da im Modell natürlich nicht alle erdenklichen Einflussfaktoren berücksichtigt werden können, ist der errechnete Wert eine Näherung an die Realität.

Bsp.: Proband 5 und 12 haben sowohl den gleichen Text gelesen als auch das gleiche Alter (bzw. den gleichen Vergrößerungsbedarf), so ist mit einer (nahezu) gleichen Lesegeschwindigkeit zu rechnen.

22 to nest (engl.) = (ver-)schachteln, ineinander stecken

beziehungsweise als identisch behandelt wurden<sup>23</sup>.

Zu guter Letzt wurde als weitere Einflussgröße das Alter beim normalsichtigen Probandenkollektiv eingesetzt. Weitere Einflussgrößen, von denen ein logischer Einfluss zu erwarten gewesen wäre, wurden überprüft und verworfen, da mit dem Alter die besten Vorhersagen zu treffen waren.

Für das sehbehinderte Probandenkollektiv war mit dem beidseitigen Vergrößerungsbedarf das beste Modell zu erzielen. Da die notwendige Vergrößerung als Maß für die Schwere der vorliegenden Erkrankung anzusehen ist, ist dieser Einfluss relevanter als das Alter für dieses Kollektiv.

Da es sich sowohl beim Alter, als auch bei dem Vergrößerungsbedarf um stetige Merkmale handelt, gelten die Angaben für den quantitativen Einfluss nur im Bezug zu jeweils einer Einheit (1 Einheit = 1 Jahr beim Alter bzw. x+1-fach beim Vergrößerungsbedarf).

Zur weiteren Veranschaulichung wurden zudem die Mittelwerte und Standardabweichungen für jeden gelesenen Text einzeln ermittelt und tabellarisch gegenübergestellt. Die für diese Angaben notwendige Normalverteilung wurde, wie auch bei sonstigen Angaben von Mittelwert und Standardabweichung, nach gängigen Methoden (Schaubild, *Shapiro-Wilks-Test*) geprüft und bestätigt. Im Falle keiner Normalverteilung wurden Median und Perzentile angegeben.

Darüber hinaus wurde für jede denkbare Text-Kombination der Korrelationskoeffizient nach Pearson errechnet, sowie die Übereinstimmung nach Bland-Altman [84] geprüft. Es sind nicht alle Schaubilder nach Bland-Altman im Folgenden abgebildet, sondern lediglich besonders anschauliche Beispiele gewählt worden. Sie zeigen pro Schaubild die Übereinstimmung zweier Texte (unabhängig von der Textsorte) anhand der Differenz der Lesegeschwindigkeiten (y-Achse), wobei ein Punkt einem Proband entspricht, bezogen auf einen Wertebereich (x-Achse). Dieser Wertebereich, dargestellt durch die Mittelwerte der Lesegeschwindigkeiten der beiden Texte, ist als

---

23 Bsp.: Textnummer "0" ist somit entweder Radner-Text 1 *oder* IReST 3, niemals jedoch beides gleichzeitig

potentieller Gültigkeitsbereich einer Übereinstimmung zu werten<sup>24</sup>.

---

24 Das Schaubild lässt keine pauschalen Aussagen über die Übereinstimmung zu, da lediglich im Rahmen der gemessenen Werte eine Bewertung der Übereinstimmung erfolgen kann. In der vorliegenden Studie beläuft sich dieser Bereich auf Werte zwischen 11 und 257 w/m, darüber hinaus darf keine Aussage zur Übereinstimmung getätigt werden.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Grundlagen

Da die hier genannten Ergebnisse auf zwei Regressionsanalysen beruhen, sind nachweisbar gültige und prognostisch präzise Modelle notwendig. Im Folgenden wird diese Voraussetzung bestätigt.

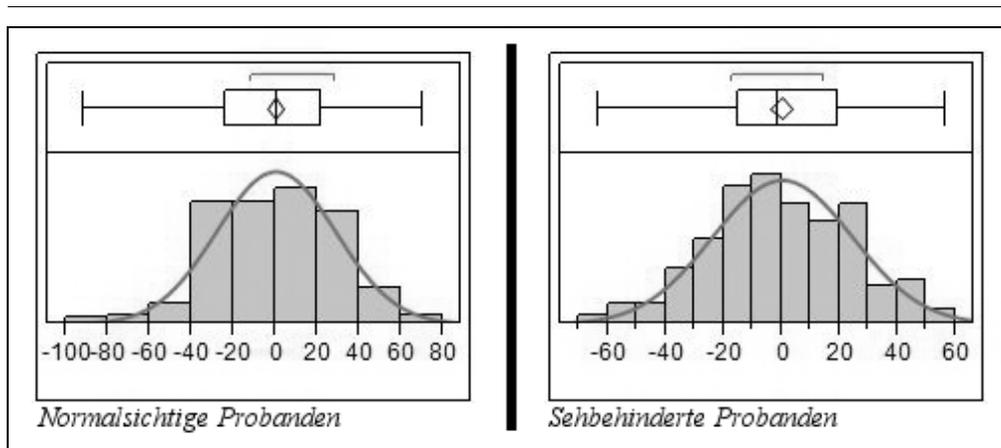


Abbildung 10: Verteilung der Residuen für beide Probandenkollektive als Histogramm. Normalsichtige Probanden links, sehbehinderte Probanden rechts. Idealisierte Normalverteilung als graue Linie.

Die Residuen für das resultierende Regressionsmodell beim normalsichtigen Probandenkollektiv (Abbildung 10, links) streuen um einen Mittelwert  $\bar{X} = -9,57 \times 10^{-13}$ , erreichen im *Shapiro-Wilks*-Test eine Wahrscheinlichkeit von  $p = 0,2230$  für diese oder extremere Werte unter Annahme einer Normalverteilung und zeigen auch augenscheinlich eine Gauß'sche Normalverteilung um Null. Das adjustiertes Bestimmtheitsmaß beläuft sich auf  $r^2(\text{adj.}) = 0,862911$ . Somit ist das Regressionsmodell als gültig und für die Vorhersage als geeignet zu erachten.

Für das sehbehinderte Probandenkollektiv streuen die Residuen (Abbildung 10, rechts) um einen Mittelwert  $\bar{X} = -1,11 \times 10^{-12}$ , erreichen im *Shapiro-Wilks*-Test eine Wahrscheinlichkeit von  $p = 0,7668$  für diese oder extremere Werte unter Annahme einer Normalverteilung und zeigen augenscheinlich ebenfalls eine

Gauß'sche Normalverteilung um Null. Ein sogar noch höheres adjustiertes Bestimmtheitsmaß von  $r^2$  (adj.) = 0,903011 wurde erreicht. Das Regressionsmodell ist deshalb ebenso als gültig wie auch als zuverlässig zu erachten.

Für die statistische Auswertung wurde ein Signifikanzniveau von 5% gewählt. Dabei ist zu beachten, dass ein innerhalb eines 95%-Konfidenzintervalls nicht signifikanter Unterschied nicht zwangsläufig ein irrelevanter Unterschied ist. Unter der Formulierung "nicht signifikant" ist vielmehr zu verstehen, dass eine Einflussgröße keinen oder einen statistisch vernachlässigbar kleinen Einfluss nimmt; die alltägliche/klinische Relevanz bleibt dabei unbewertet.

Deshalb muss, auch für den Nachweis eines nicht signifikanten Unterschiedes, überprüft werden, ob dieser Einfluss quantitativ zu vernachlässigen ist, sprich ob er klinische Relevanz hat. Die Festlegung lautet wie folgt: Beeinflusst eine Einflussgröße die Lesegeschwindigkeit um 10 oder mehr Wörter pro Minute (w/m), so ist von klinischer Relevanz auszugehen.

In den unter 3.2.1 und 3.3.1 abgebildeten Tabellen "Parameter Estimates", sind die "Voranschläge", also jene Werte, die beim Erstellen der Regressionsanalyse als wahrscheinlichste Schätzungen für den Einfluss einer Einflussgröße errechnet wurden, von den Grenzen des Konfidenzintervalls, die eine Abschätzung des maximal möglichen Einflusses einer Einflussgröße (innerhalb eines 95%-Konfidenzintervalls) erlauben, abzugrenzen. Letztere sind für den Ausschluss eines relevanten Einflusses geeignet.

Alle statistischen Berechnungen erfolgten mit SAS JMP 10.0.0 (64Bit Edition) [85].

## 3.2 Das normalsichtige Probandenkollektiv

### 3.2.1 Aufstellung der normalsichtigen Studienteilnehmer

ID <sub>normalsichtig</sub>	Alter	♀/♂	Diagnose	Nahvisus	Kontrastsehen
1	65	♀	Myopie	0,8	1,95
2	77	♀	Hyperopie	1	1,95
3	81	♂	Pseudophakie	1	1,95
4	56	♀	Hyperopie & Astigmatismus	1	1,95
5	59	♀	Hyperopie	1,5	1,95
6	53	♀	unauffällig	1,25	2,25
7	62	♂	unauffällig	1	1,95
8	66	♀	Myopie	1	1,95
9	67	♀	unauffällig	0,6	1,95
10	51	♀	unauffällig	1,25	1,95
11	79	♀	Pseudophakie	0,8	1,95
12	55	♂	Myopie	1,5	1,95
13	61	♀	Presbyopie	1,5	1,95
14	67	♂	unauffällig	1	1,95
15	61	♀	Presbyopie	1	1,95
16	61	♂	Hyperopie	1,5	1,95
17	76	♀	Hyperopie	0,8	1,95
18	57	♀	Hyperopie & Astigmatismus	1	1,95
19	64	♀	Hyperopie	1	1,95
20	70	♂	Hyperopie	0,8	1,95
21	61	♂	Myopie	1	1,95
22	62	♀	Hyperopie	1	1,95
23	64	♂	Myopie	1	1,95
24	67	♂	unauffällig	1	1,95
25	59	♂	Myopie & Astigmatismus	1	1,95
26	65	♀	unauffällig	1	1,95
27	68	♂	unauffällig	1	1,95
28	67	♂	Astigmatismus	1,25	1,95
29	69	♂	Hyperopie & Astigmatismus	1,25	1,95
30	64	♀	Myopie & Astigmatismus	1	1,95

*Tabelle 1: Kenndaten normalsichtiger Probanden.*

Das normalsichtige Probandenkollektiv setzt sich aus 30 Studienteilnehmern

zusammen. Einige Kenndaten sind weiter oben aufgeführt (Tabelle 1); unter anderem auch Nah-/Lesevisus und Kontrastsehen, da diese Parameter einen schnellen Überblick über deren Seh- und Lesefähigkeit erlauben.

### 3.2.2 Richtwerte

Als Richtwerte für die folgenden statistischen Auswertungen dienen die Mittelwerte (und Standardabweichungen) der Lesegeschwindigkeiten für jeden einzelnen Text, der gelesen wurde. Dabei wurde vorab geprüft und bestätigt, ob für jeden der 30 Probanden ein Messwert pro Text vorhanden ist und ob die Werte normalverteilt sind. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse.

Text	w/m ( $\pm$ SD)	Text	w/m ( $\pm$ SD)
Radner 1	173 ( $\pm$ 36,4)	IReST 3	169 ( $\pm$ 30,4)
Radner 2	183 ( $\pm$ 31,4)	IReST 6	165 ( $\pm$ 31,4)
Radner 3	155 ( $\pm$ 31,3)	IReST 10	166 ( $\pm$ 29,9)

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammer) für die gelesenen Texte (normalsichtig). In Wörtern pro Minute [w/m]. n=30 normalsichtige Probanden.

Es ist zu erkennen, dass sowohl die Mittelwerte als auch die Standardabweichungen in ähnlichen Dimensionen vorliegen. Inwiefern sich die Messungen statistisch unterscheiden, wird im Folgenden geprüft.

Einflussgröße	Voranschlag	Probability  t	Untere 95%	Obere 95%
<b>Achsenabschnitt</b>	287,2	<0,0001*	195,7	378,7
<b>Radner vs IReST</b>	1,7	0,0833	-0,2	3,6
<b>Radner1 vs Radner3</b>	2,5	0,2038	-1,4	6,4
<b>Radner2 vs Radner3</b>	12,8	<0,0001*	9,0	16,7
<b>IReST3 vs IReST10</b>	2,3	0,2357	-1,5	6,2
<b>IReST6 vs IReST10</b>	-1,8	0,3475	-5,7	2,0
<b>Alter (pro Jahr)</b>	-1,8	0,0124*	-3,3	-0,4

Tabelle 3: "Parameter Estimates" - mittels Regressionsanalyse erstellte Schätzung der Einflussgrößen für das normalsichtige Probandenkollektiv.

Der "Achsenabschnitt" beschreibt die Basis der Zielgröße (Lesegeschwindigkeit), die folgenden Zeilen beschreiben die Einflussgrößen selbst: die Textsorte, die Textnummer (verknüpft mit der Textsorte) und das Alter. Alle "Voranschläge", also die wahrscheinlichsten Schätzungen, sind in Wörtern pro Minute (w/m) angegeben. Die Grenzen für das Konfidenzintervall (w/m) sind unter "Untere 95%" und "Obere 95%" aufgeführt. Die Signifikanzen sind unter "Probability |t|" zu finden; ein \* markiert signifikante Unterschiede.

Der anschließenden Auswertung liegt ein Regressionsmodell zugrunde; die für das normalsichtige Probandenkollektiv ermittelten Werte finden sich in Tabelle 3.

### 3.2.3 Der Unterschied zwischen Radner und IReST

Gemäß Regressionsanalyse konnte für das normalsichtige Probandenkollektiv kein signifikanter Unterschied in der Lesegeschwindigkeit zwischen den Textsorten, sprich *Radner* oder *IReST*, nachgewiesen werden ( $p = 0,0833$ ). Ebenso wenig ist ein relevanter Unterschied zu verzeichnen; im ausgeprägtesten Fall unterscheidet sich die Lesegeschwindigkeit zwischen einem *Radner*-Text und einem *International Reading Speed Text* um circa 7,2 Wörter pro Minute<sup>25</sup>, wenn die Texte von dem gleichen Individuum gelesen werden.

Somit ist für diese beiden Lesetafeln von vergleichbaren Ergebnissen bezüglich der Größenordnung der Lesegeschwindigkeit auszugehen.

### 3.2.4 Unterschiede innerhalb der Textsorten

Bezüglich der Texte selbst ("Textnummer"), kann für die Textsorte *Radner* ein Unterschied nachgewiesen werden. Während *Radner*-Text 1 im Vergleich zu

---

25 Der Wert resultiert aus dem Doppelten der betragsmäßig größeren Grenze des Konfidenzintervalls ("Obere 95%" oder "Untere 95%"). Warum? Eine Einflussgröße wird immer im Vergleich zu einer zweiten betrachtet (z.B. *Radner* oder *IReST*). Der "Achsenabschnitt" beschreibt dabei den Mittelwert zwischen zwei Einflussgrößen. Ausgehend vom Mittelwert nimmt dann jede der beiden Einflussgrößen betragsmäßig den gleichen Einfluss, nur mit umgekehrtem Vorzeichen (z.B. +3,6w/m für *Radner* und -3,6w/m für *IReST*). Der maximale Einfluss einer "Einflussgröße" ist somit das Doppelte des in den Tabellen "Parameter Estimates" abgebildeten Wertes. Hinweis: Dies gilt nicht für stetige Merkmale/Einflussgrößen wie das Alter oder den Vergrößerungsbedarf. In diesem Fall wird der Voranschlag pro Einheit, sprich pro Jahr oder pro Vergrößerungsstufe, angegeben.

*Radner-Text 3* noch keinen signifikanten Unterschied verzeichnet ( $p = 0,2038$ ), ist dieser für den Vergleich zwischen *Radner-Text 2* und *Radner-Text 3* eindeutig signifikant ( $p < 0,001$ ). Quantifiziert man die Unterschiede, so sind die Voranschläge, also die wahrscheinlichsten Abweichungen, bei 5,0 Wörtern pro Minute im ersten Fall und bei 12,6 Wörtern im zweiten Fall. Der Unterschied zwischen *Radner-Text 2* und *3* ist somit zusätzlich relevant. Allerdings konnten relevante Unterschiede für beide Vergleiche nicht ausgeschlossen werden. Sie belaufen sich zum einen auf maximal 12,6 Wörter pro Minute und zum anderen auf maximal 33,4 Wörter pro Minute.

Hierbei ist zu beachten, dass die Voranschläge die verlässlichsten, weil wahrscheinlichsten Werte in diesem Modell liefern, während die Angabe der betragsmäßig höchsten 95%-Konfidenzintervallsgrenzen lediglich mögliche, aber unwahrscheinliche Werte angeben. Sie dienen dazu, einen relevanten Unterschied innerhalb eines Wertebereichs einzugrenzen und somit die klinische Relevanz einschätzen und eventuell ausschließen zu können. Aus diesem Grund liefert bei modellbezogenen Aussagen über die Relevanz auch der Vergleich zwischen zwei Einflussgrößen eine wertvolle Information. Dieser soll nun folgen.

Zu den *IReST*: Ähnliche Ergebnisse liefern die *IReST*. Im Vergleich von *IReS-Text 3* zu *IReS-Text 10* ist kein signifikanter Unterschied zu erkennen ( $p = 0,2357$ ) und auch der Voranschlag ist lediglich bei 4,6 Wörtern pro Minute. Trotzdem ist ein relevanter Unterschied nicht auszuschließen; er ist mit bis zu 12,4 Wörtern pro Minute beziffert. Auch im Vergleich von *IReS-Text 6* zu *IReS-Text 10* ist kein signifikanter Unterschied nachzuweisen ( $p = 0,3475$ ), die Lesegeschwindigkeit wird mit -3,6 Wörtern pro Minute beeinflusst (95%-KI: bis zu 11,4 Wörter pro Minute). Somit ist auch hier ein relevanter Unterschied nicht auszuschließen.

Insgesamt liefern die *IReST* jedoch immerzu kleinere 95%-KI-Grenzen als die *Radner-Texte*, was einen relevanten Einfluss der Textwahl bei den *IReST* unwahrscheinlicher macht.

Angemerkt werden sollte, dass die wahrscheinlichsten Schätzungen, also die

"Voranschläge" (Tabelle 3, Seite 63), allesamt für keine relevanten Unterschiede sprechen, abgesehen vom Vergleich zwischen *Radner*-Text 2 und 3.

Insgesamt zeigen die *IReST* eine geringere Streuung bei der Messung von Lesegeschwindigkeiten als die *Radner Lesetafeln*, auch im Bezug auf die Voranschläge.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass das Alter eines Probanden ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Lesegeschwindigkeit nimmt ( $p = 0,0124$ ), dieser ist für unser Probandenkollektiv jedoch äußerst klein und deshalb irrelevant (im Mittel -1,8 w/m pro Jahr, maximal -3,3 w/m pro Jahr). Das mag daran liegen, dass die Probandengruppe lediglich einer Alterspanne von 51 bis 81 Jahren entstammt.

Differenz	Median	Oberes Quartil	Unteres Quartil	IQR
<i>IReST 3 – IReST 6</i>	6,7	9,6	-4,3	<b>13,9</b>
<i>IReST 3 – IReST 10</i>	3	7,4	-0,9	8,3
<i>IReST 6 – IReST 10</i>	-2	3	-6,7	9,7
<i>Radner 1 – Radner 2</i>	-8,8	2,3	-27,3	29,6
<i>Radner 1 – Radner 3</i>	15,6	31,3	3,9	27,4
<i>Radner 2 – Radner 3</i>	22,7	34,1	14,7	<b>19,4</b>

Tabelle 4: Normalsichtiges Kollektiv - Perzentilangaben und interquartile range (IQR) für die Differenzen zwischen den Textnummern. Angaben in w/m. Fett: maximaler IQR für *IReST* und minimaler IQR für *Radner*.

Zur weiteren Veranschaulichung wurde jeweils die Lesegeschwindigkeit eines Textes mit einem anderen Text derselben Textsorte – *Radner* oder *IReST* – verglichen, indem subtrahiert wurde. Das heißt, es wurden die Differenzen in Wörtern pro Minute zwischen den Lesegeschwindigkeiten von jeweils zwei Texten errechnet. Im Idealfall wäre das Ergebniss Null, sprich die Lesegeschwindigkeiten entsprächen einander. Dieses Vorgehen erfolgte in jeder möglichen Kombination<sup>26</sup> für jeden Probanden (Abbildung 11), in Tabelle 4

<sup>26</sup> Das heißt: Text 1 zu Text 2, Text 1 zu Text 3 und Text 2 zu Text 3

sind die zugehörigen Werte aufgeführt.

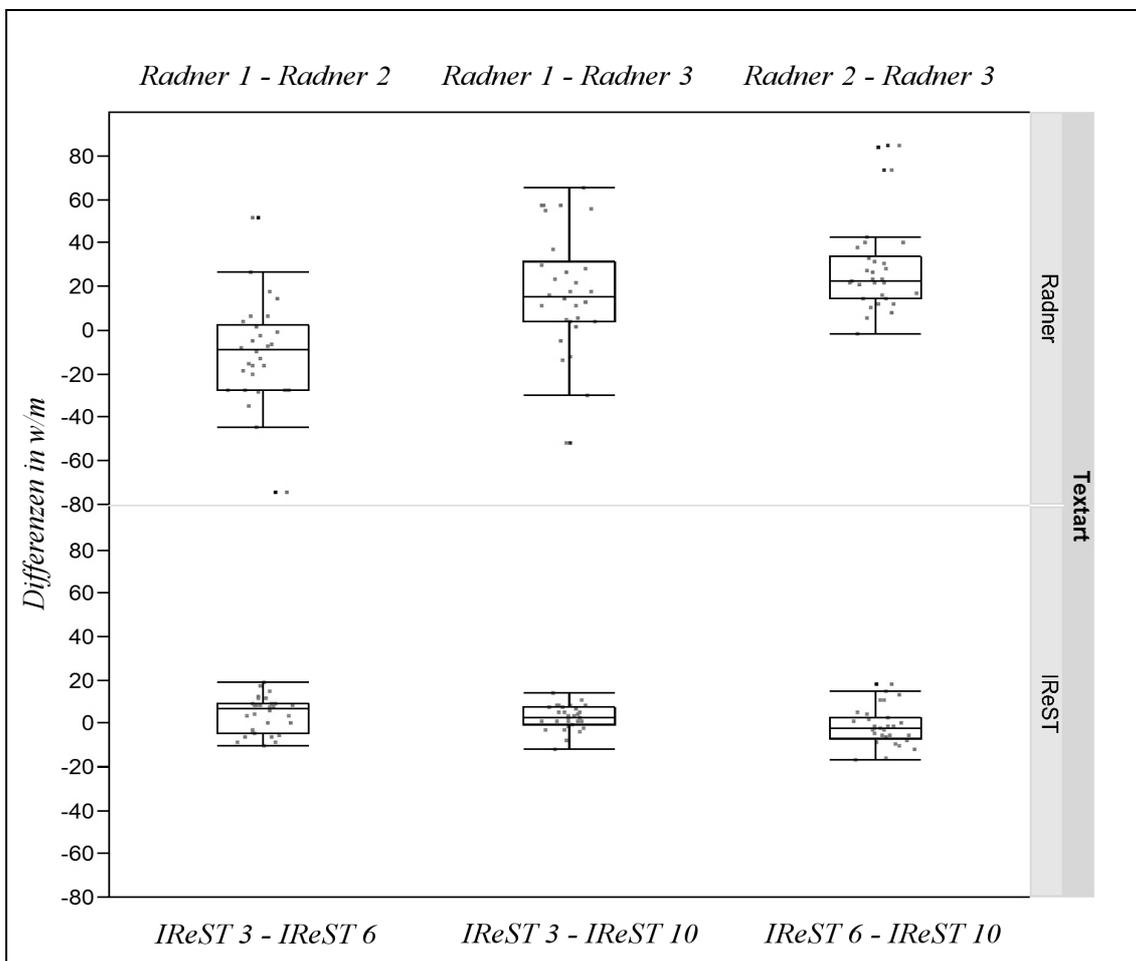


Abbildung 11: Differenzen zwischen den Lesegeschwindigkeiten für IReST und Radner-  
Texte in w/m (y-Achse) beim normalsichtigen Probandenkollektiv.

Jeder Punkt entspricht einem Probanden. In der oberen Hälfte sind die Differenzen für die Radner-  
Texte verzeichnet. Die Beschriftung (x-Achse) entspricht der Rechenvorschrift (d.h. Subtraktion, z.B. "Radner 1 – Radner 2" entspricht der Lesegeschwindigkeit für den erstgenannten Text minus der Lesegeschwindigkeit für den zweitgenannten Text). In der unteren Hälfte sind die Differenzen für die IReST-  
Lesegeschwindigkeiten zu finden.

Es ist zu sehen, dass die IReST allesamt kompakt um einen Median<sup>27</sup> von ungefähr Null streuen. Die Mediane liegt bei -2,0 w/m mit einem *interquartile*

<sup>27</sup> Der Median ist der Wert, der die überprüften Daten in zwei gleich große Mengen aufteilt. Das heißt, 50% der Daten liegen oberhalb des Medians und 50% unterhalb des Medians. Um den Median zu ermitteln werden alle Daten nach ihrem numerischen Wert geordnet. Bsp.:  $-3 < -1 < 0 < 15$

*range*<sup>28</sup> (IQR) von 9,7 w/m, bei 3,0 w/m mit einem IQR von 8,3 w/m oder im ausgeprägtesten Fall bei 6,7 w/m mit einem IQR von 13,9 w/m.

Für die *Radner*-Texte liegt der Median dagegen – je nach Differenz – bei -8,8 w/m (IQR = 29,6 w/m), 15,6 w/m (IQR = 27,4 w/m) oder 22,7 w/m (IQR = 19,4 w/m). Erwähnenswert ist zudem, dass der Idealwert Null nicht innerhalb der Quartilgrenzen zu finden ist, ausgenommen beim Vergleich von *Radner*-Text 1 und 2. In Kombination mit der hohen Abweichung der Mediane von Null ist deshalb von einem systematischen Fehler auszugehen, sofern diese *Radner*-Texte im Vergleich verwendet werden. Auffällig ist ebenfalls, dass bereits der minimalste IQR der *Radner*-Texte (19,4 w/m) den größten der *IReST* (13,6 w/m) übersteigt.

Die *IReST* weisen somit geringere Unterschiede auf als die Texte der *Radner Lesetafeln* und streuen weniger.

### 3.2.5 Korrelationen innerhalb und zwischen den Textsorten

Abbildung 12 zeigt, inwiefern die Texte innerhalb einer Textsorte – *Radner* oder *IReST* – und auch untereinander korrelieren, basierend auf dem Pearson-Korrelationskoeffizienten  $r$ .

Dabei sind ebenfalls bei den *IReST* die größten Korrelationen<sup>29</sup> zu verzeichnen: der Korrelationskoeffizient liegt zwischen  $r = 0,96$  &  $0,98$ ; die Punktwolken bilden eine annäherungsweise winkelhalbierende Gerade. Die *Radner*-Texte zeigen dagegen geringere Korrelationen – zwischen  $r = 0,69$  &  $0,78$  – wenn sie mit sich selbst korreliert werden. Die Punktwolken fächern breiter um eine Winkelhalbierende.

Allerdings korrelieren die *Radner*-Texte mit den *IReST* mit bis zu  $r = 0,93$ , insbesondere was die Texte der ersten beiden *Radner Lesetafeln* angeht. Einzig der dritte *Radner*-Text hebt sich davon ab; er korreliert lediglich mit  $r =$

---

28 Der *interquartile range* (IQR) ist der numerische Abstand zwischen dem oberen und unteren Quartil.

29 Basiert auf dem Korrelationskoeffizienten  $r$ . Der maximal erreichbarer Wert ist 1. Das entspricht einer perfekten Winkelhalbierenden (siehe Punktwolke) und setzt voraus, dass jeder  $x$ -Wert dem numerisch gleichen  $y$ -Wert zugeordnet ist. Eine Korrelation von 0 entspräche einer zufälligen Punktwolke und würde eine Abhängigkeit der auf  $x$ - &  $y$ -Achse aufgetragenen Größen prinzipiell ausschließen. Negative Korrelationen sind ebenfalls möglich und beschreiben entgegengesetzte Zusammenhänge (steigt der  $x$ -Wert, so sinkt der  $y$ -Wert).



### 3.2.6 Übereinstimmung nach Bland-Altman

Da eine hohe Korrelation auch bei einer konstanten Abweichung erzielt werden kann, wurde zusätzlich die Übereinstimmung der Texte mit Hilfe von Bland-Altman Plots geprüft.

Da es sich dabei um 15 Schaubilder handelt (pro Probandengruppe), wurde eine Möglichkeit gewählt, die Übereinstimmung tabellarisch darzustellen (Tabelle 5). Dazu wurde im Schaubild ein Äquivalenzbereich eingefügt, der auf dem zuvor festgelegten Niveau klinischer Relevanz basiert. Er beläuft sich auf eine Differenz der Lesegeschwindigkeit von 10 bis -10 Wörtern pro Minute. Ist die Differenz kleiner einem Betrag von 10 Wörtern pro Minute, so liegt der Punkt im Schaubild innerhalb des Äquivalenzbereichs und es kann von einer ausreichenden Übereinstimmung ausgegangen werden, liegt er auf der Grenze oder außerhalb, so ist keine Übereinstimmung innerhalb des Relevanzniveaus festzustellen.

	Radner 1	Radner 2	Radner 3	IReST 3	IReST 6	IReST 10
Radner 1	-	19/30	24/30	19/30	20/30	17/30
Radner 2	19/30	-	27/30	21/30	27/30	24/30
Radner 3	24/30	27/30	-	13/30	14/30	14/30
IReST 3	19/30	21/30	13/30	-	7/30	3/30
IReST 6	20/30	27/30	14/30	7/30	-	9/30
IReST 10	17/30	24/30	14/30	3/30	9/30	-

*Tabelle 5: Anzahl der Punkte außerhalb des Äquivalenzbereichs (von +10 bis -10 Wörtern pro Minute Differenz der Lesegeschwindigkeit) beim normalsichtigen Probandenkollektiv.*

In der Tabelle ist für jede mögliche Text-Gegenüberstellung dargestellt, wie viele der Punkte außerhalb des Äquivalenzbereichs im Verhältnis zur gesamten Anzahl der Punkte (= Probanden) lagen.

Liegen alle Punkte eines Schaubilds innerhalb des Äquivalenzbereichs, so ist die Übereinstimmung bei allen Probanden für diese beiden Texte gegeben und kann angenommen werden. Diese Beobachtung konnte jedoch in keinem der

Schaubilder gemacht werden, weshalb im Folgenden wiederum vergleichend bewertet wird (bessere oder schlechtere Übereinstimmung).

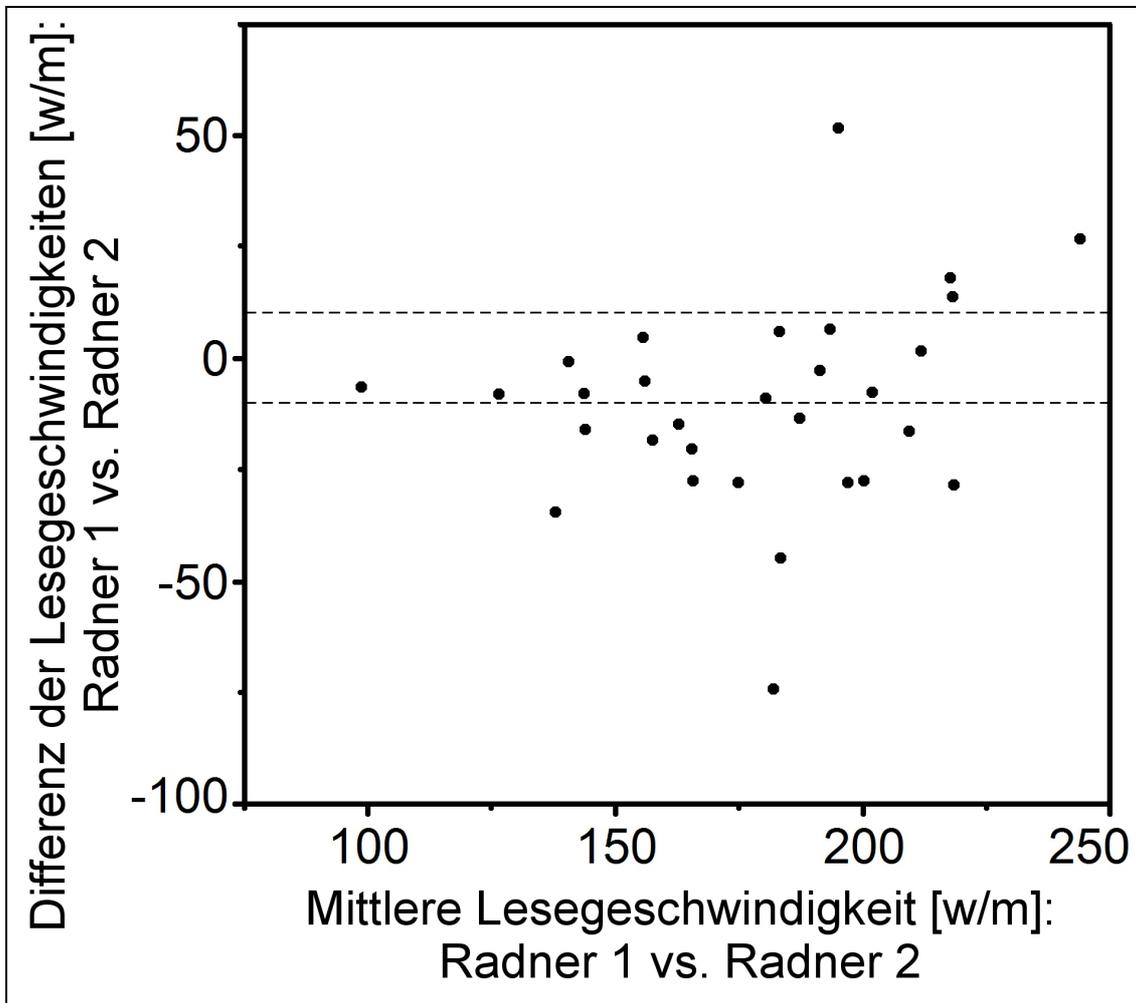


Abbildung 13: Radner 1 versus Radner 2 – Exemplarische Darstellung eines Bland-Altman Plots für das normalsichtige Probandenkollektiv.

Bland-Altman Plot mit der geringsten Anzahl an nicht äquivalenten Messungen der Lesegeschwindigkeit bei den Radner Texten.

Interpretation:

X-Achse: Mittelwert der Lesegeschwindigkeiten der beiden Texte; y-Achse: Differenz der Lesegeschwindigkeiten beider Texte. Jeder Punkt entspricht einem Probanden. Die gestrichelte Linie markiert der Äquivalenzbereich.

Dazu wurden zwei Bland-Altman-Plots exemplarisch ausgewählt, die erstens

die minimale Anzahl von Punkten außerhalb des Äquivalenzbereichs bei den *Radner* Texten zeigen (Abbildung 13) und die zweitens die maximale Anzahl von Punkten außerhalb des Äquivalenzbereichs bei den *IReST* darstellen (Abbildung 14).

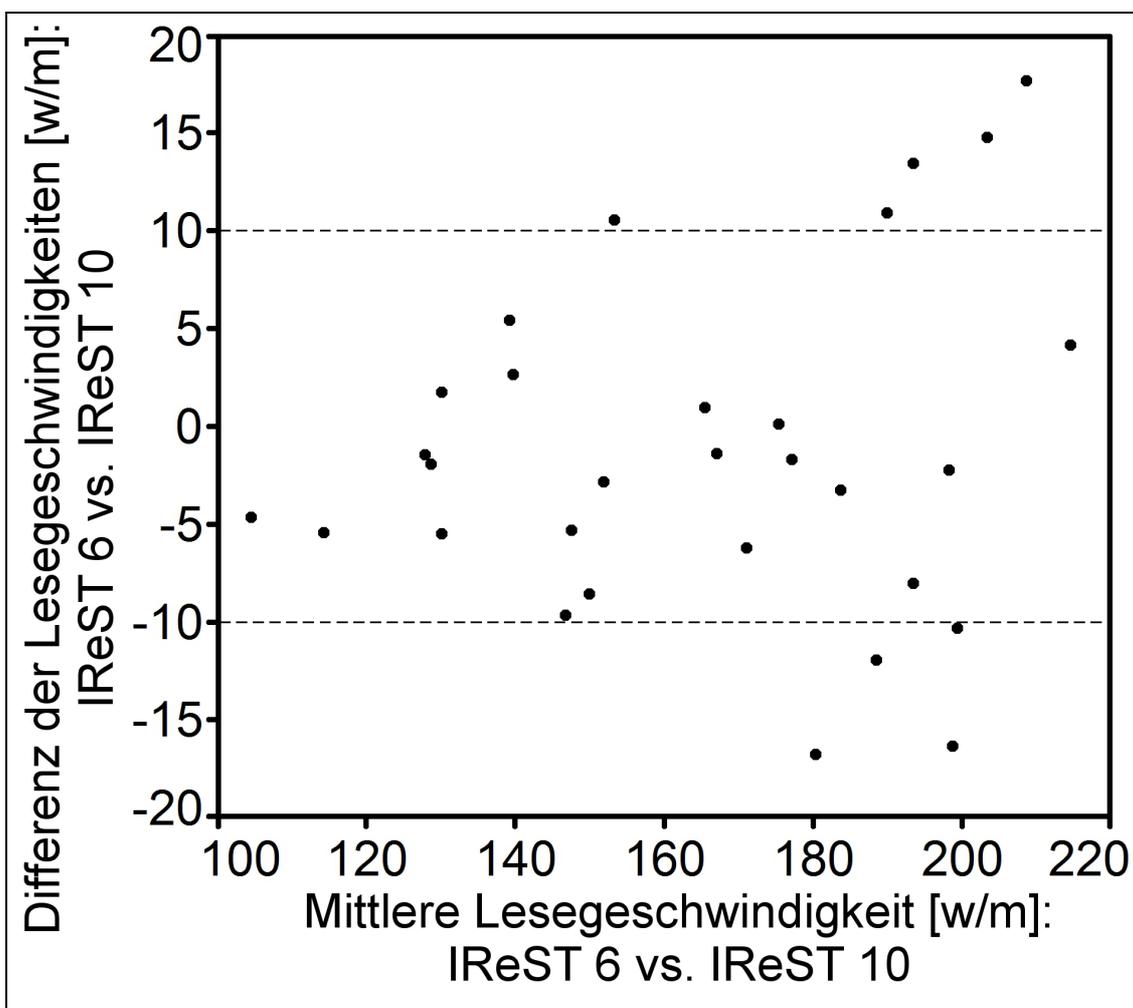


Abbildung 14: *IReST 3* versus *IReST 10* – Exemplarische Darstellung eines Bland-Altman Plots für das normalsichtige Probandenkollektiv.

*Bland-Altman Plot mit der höchsten Anzahl an nicht äquivalenten Messungen der Lesegeschwindigkeit bei den IReST.*

*Interpretation: gemäß Abbildung 13.*

Es ist ersichtlich, dass die *IReST* zwar keine vollständige Übereinstimmung zeigen, jedoch eine mit 3 bis 9 Punkten außerhalb des Äquivalenzbereichs

vergleichsweise höhere als die *Radner* Texte mit 19 bis 27 Punkten außerhalb des Äquivalenzbereichs.

Interessanterweise zeigen sich teilweise auch bessere Übereinstimmungen zwischen den Textsorten als innerhalb der *Radner* Texte. Die Anzahl der Punkte außerhalb des Äquivalenzbereichs liegt hierbei zwischen 13 und 27. Bemerkenswert ist zudem, dass *Radner* Text 3 die vergleichsweise beste Übereinstimmung zu den *IReST* (13 bis 14 Punkte außerhalb) zeigt, obwohl für diese Konstellation die schlechtesten Korrelationskoeffizienten errechnet wurden.

### 3.3 Das sehbehinderte Probandenkollektiv

#### 3.3.1 Aufstellung der sehbehinderten Studienteilnehmer

Das sehbehinderte Probandenkollektiv setzt sich aus 25 Studienteilnehmern zusammen. Auch deren Kenndaten sind tabellarisch dargestellt, inklusive Diagnose, Vergrößerungsbedarf und Kontrastsehen, um einen Eindruck über deren Sehfähigkeit zu bekommen (Tabelle 6).

ID <sub>sehbehindert</sub>	Alter	♀/♂	Diagnose	Vergrößerung	Kontrastsehen
1	49	♂	Morbus Best	2,5	1,95
2	91	♀	AMD (trocken)	4	1,35
3	74	♀	AMD (feucht)	2	1,35
4	83	♀	AMD (feucht)	10	0,9
5	80	♀	AMD (trocken)	2	1,35
6	83	♀	AMD (trocken)	2	1,95
7	81	♀	AMD (trocken)	2,5	1,05
8	78	♀	AMD (trocken)	2	1,5
9	84	♂	AMD (trocken)	10	0,45
10	59	♂	AMD (trocken)	12	1,2
11	82	♀	AMD (feucht)	2,5	1,35
12	69	♀	AMD (feucht)	6,25	1,2
13	75	♀	AMD (trocken)	10	0,45
14	73	♀	AMD (trocken)	4	1,35
15	84	♂	AMD (trocken)	2,5	1,65
16	85	♀	AMD (trocken)	3,5	1,35
17	85	♀	AMD (trocken)	6	1,65
18	83	♀	AMD (trocken)	2	1,35
19	82	♂	AMD (feucht)	2	1,35
20	82	♀	AMD (feucht)	3	1,35
21	91	♀	AMD (trocken)	3	1,35
22	59	♀	AMD (feucht)	4	1,35
23	78	♀	AMD (feucht)	4	1,35
24	81	♀	AMD (feucht)	12	1,05
25	74	♀	AMD (trocken)	3	1,05

Tabelle 6: Kenndaten sehbehinderter Probanden.

### 3.3.2 Richtwerte

Bei dem sehbehinderten Probandenkollektiv konnten im Hinblick auf die Fragestellungen dieser Studie prinzipiell vergleichbare Ergebnisse zu der Gruppe normalsichtiger Studienteilnehmer festgestellt werden. Außerdem liegen erwartungsgemäß die Lesegeschwindigkeiten beim sehbehinderten Probandenkollektiv generell niedriger (Tabelle 7).

Text	w/m ( $\pm$ SD)	Text	w/m ( $\pm$ SD)
Radner 1	97 ( $\pm$ 37,9)	IReST 3	95 ( $\pm$ 38,7)
Radner 2	98 ( $\pm$ 41,7)	IReST 6	94 ( $\pm$ 39,4)
Radner 3	83 ( $\pm$ 37,3)	IReST 10	96 ( $\pm$ 35,9)

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammer) für die gelesenen Texte (sehbehindert). In Wörtern pro Minute [w/m]. n=25 normalsichtige Probanden.

Der anschließenden statistischen Aus- und Bewertung liegt ein Regressionsmodell zugrunde; die für das sehbehinderte Probandenkollektiv ermittelten Daten finden sich in Tabelle 8.

Einflussgröße	Voranschlag	Probability  t	Untere 95%	Obere 95%
<b>Achsenabschnitt</b>	135,0	<0,0001*	119,1	150,9
<b>Radner vs IReST</b>	-1,2	0,2721	-3,3	0,9
<b>Radner1 vs Radner3</b>	4,3	0,0457*	0,1	8,4
<b>Radner2 vs Radner3</b>	5,4	0,0112*	1,3	9,6
<b>IReST3 vs IReST10</b>	0,5	0,8285	-3,7	4,6
<b>IReST6 vs IReST10</b>	-1,1	0,6137	-5,2	3,1
<b>Vergrößerung</b>	-8,8	<0,0001*	-11,6	-6,0

Tabelle 8: "Parameter Estimates" - mittels Regressionsanalyse erstellte Schätzung der Einflussgrößen für das sehbehinderte Probandenkollektiv.

Der "Achsenabschnitt" beschreibt die Basis der Zielgröße (Lesegeschwindigkeit), die folgenden Zeilen beschreiben die Einflussgrößen selbst: die Textsorte, die Textnummer (verknüpft mit der Textsorte) und den Vergrößerungsbedarf. Alle "Voranschläge", also die wahrscheinlichsten Schätzungen, sind in Wörtern pro Minute (w/m) angegeben. Die Grenzen für das Konfidenzintervall (w/m) sind unter "Untere 95%" und "Obere 95%"

aufgeführt. Die Signifikanzen sind unter "Probability |t|" zu finden; ein \* markiert signifikante Unterschiede.

### 3.3.3 Der Unterschied zwischen *Radner* und *IReST*

Bezüglich des Einflusses der Textsorten konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ( $p = 0,2721$ ). Quantitativ unterscheidet sich die Lesegeschwindigkeit zwischen einem *Radner*-Text und einem *International Reading Speed Text* maximal um circa 6,5 Wörter pro Minute (innerhalb des 95% Konfidenzintervalls); ein relevanter Unterschied ist somit ebenfalls auszuschließen. In Anbetracht dessen kann bei sehbehinderten Probanden von vergleichbaren Lesegeschwindigkeiten ausgegangen werden, unabhängig davon welche Lesetafeln verwendet werden.

### 3.3.4 Unterschiede innerhalb der Textsorten

Bezüglich der Textnummer kann dagegen bei den *Radner*-Texten sowohl für den Vergleich von *Radner*-Text 1 mit *Radner*-Text 3 ( $p = 0,0457$ ) als auch für den Vergleich zwischen dem zweiten und dritten *Radner*-Text ( $p = 0,0112$ ) ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Dabei ist nicht auszuschließen, dass die Unterschiede von Relevanz sind. Sie belaufen sich zum einen auf maximal 16,8 Wörter pro Minute und zum anderen auf maximal 19,2 Wörter pro Minute, während die Voranschläge (Tabelle 8, Seite 75) mit 8,5 und 10,8 Wörtern pro Minute bereits nahe dem Relevanzniveau liegen.

Die *IReST* liefern gegenteilige Ergebnisse. Sie zeigen weder signifikante Unterschiede ( $p = 0,8285$  und  $p = 0,6137$ ), noch eindeutig relevante Unterschiede. Vielmehr liegt der maximal ermittelte Einfluss für den Vergleich von *IReS*-Text 3 zu *IReS*-Text 6 bei 9,2 Wörtern pro Minute und für den Vergleich von Text 6 zu Text 10 bei 10,4 Wörtern pro Minute, also entweder knapp unter oder knapp über der Grenze zur Relevanz. Die bei der Regressionsanalyse wahrscheinlichsten Werte – die Voranschläge – sind bei 0,9 und -2,1 Wörtern pro Minute angesiedelt. Sie liegen definitiv unterhalb des Relevanzniveaus.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass der zum Lesen benötigte Vergrößerungsbedarf einen wesentlichen Einfluss auf die Lesegeschwindigkeit nimmt. Er ist eindeutig signifikant ( $p < 0,0001$ ) und gleichzeitig relevant (Voranschlag: 17,6 w/m pro Vergrößerungsstufe, maximal 23,2 w/m pro Vergrößerungsstufe) und kann als Maß für die das Lesen beeinträchtigende Sehbehinderung betrachtet werden.

Alles in allem zeigen die *IReST* wieder eine geringere Streuung bei der Messung von Lesegeschwindigkeiten als die *Radner Lesetafeln*. Dies wurde gemäß Abbildung 11 (Seite 67) wie beim normalsichtigen Probandenkollektiv für das sehbehinderte Probandenkollektiv gleichermaßen veranschaulicht (Abbildung 15, Seite 78) und tabellarisch dargestellt (Tabelle 9).

Differenz	Median	Oberes Quartil	Unteres Quartil	IQR
IReST 3 – IReST 6	2,9	6,5	-3,3	<b>9,8</b>
IReST 3 – IReST 10	0,9	3,4	-6,1	9,5
IReST 6 – IReST 10	-3,8	0,5	-6,1	6,6
Radner 1 – Radner 2	-4,3	2,8	-13,4	<b>16,2</b>
Radner 1 – Radner 3	9,3	30,6	0,6	30
Radner 2 – Radner 3	17,2	25,2	0,1	25,1

*Tabelle 9: Sehbehindertes Kollektiv - Perzentilangaben und interquartile range (IQR) für die Differenzen zwischen den Textnummern. Angaben in w/m. Fett: maximaler IQR für IReST und minimaler IQR für Radner.*

Auch hier ist ersichtlich, dass die *IReST* allesamt kompakt um einen Median von ungefähr Null streuen. Er liegt zwischen -3,8 und 2,9 Wörtern pro Minute, während er für die *Radner Lesetafeln* Werte zwischen -4,3 und 17,2 w/m annimmt.

Bezüglich der *IReST* umschließen die Quartile einen IQR von 9,8 w/m für die Differenz zwischen Text 3 und 6, einen IQR von 9,5 w/m für die Differenz von Text 3 und Text 10 und für die Differenz von Text 6 und Text 10 einen IQR von 6,6 w/m.

Bei den *Radner*-Texten werden größere Wertebereiche eingeschlossen. Sie

belaufen sich auf einen IQR von 16,2 w/m für die Differenz zwischen den Lesegeschwindigkeiten der *Radner*-Texte 1 und 2, auf einen IQR von 30,0 w/m bei den *Radner*-Texten 1 und 3 und für *Radner*-Text 2 und *Radner*-Text 3 auf einen IQR von 25,1 w/m.

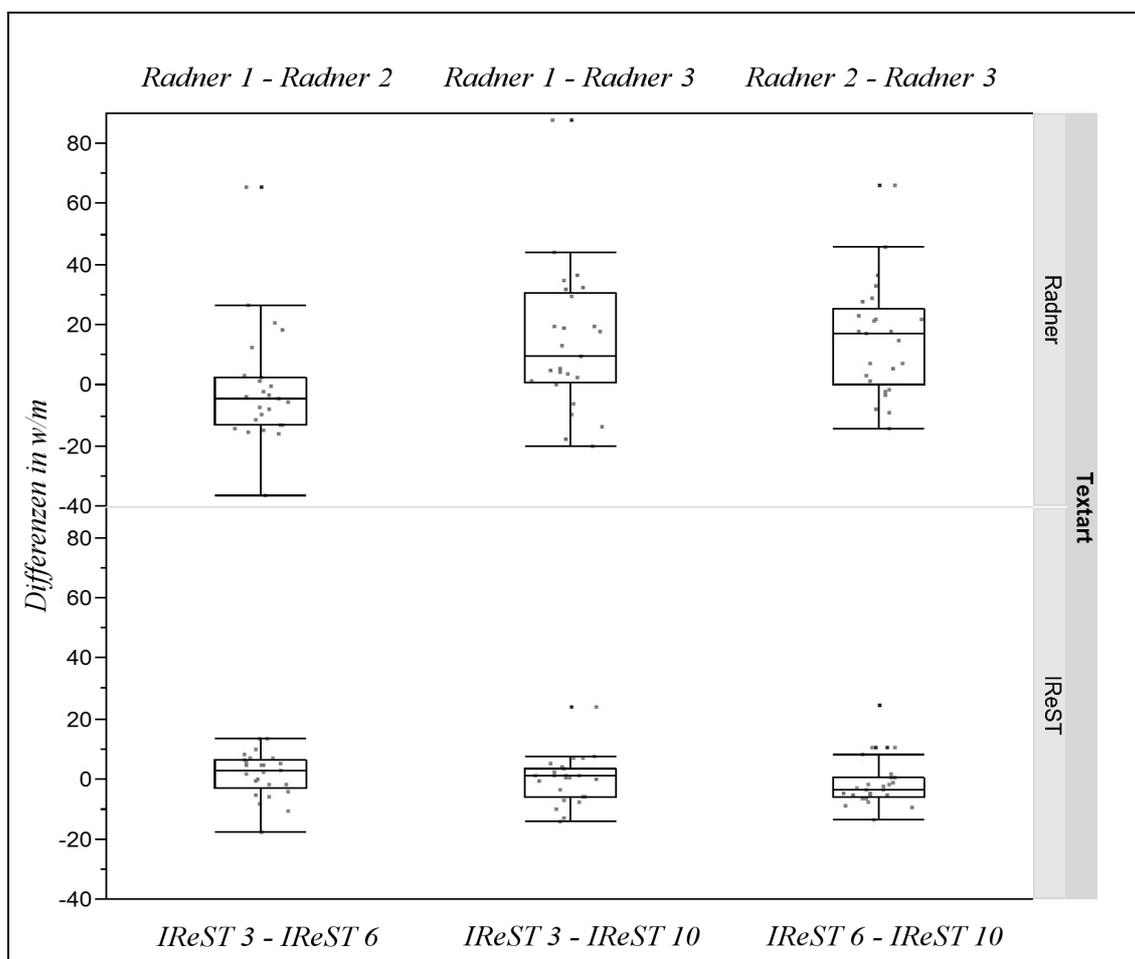


Abbildung 15: Differenzen zwischen den Lesegeschwindigkeiten für IReST und Radner-Texte in w/m (y-Achse) beim sehbehinderten Probandenkollektiv.

Jeder Punkt entspricht einem Probanden. In der oberen Hälfte sind die Differenzen für die *Radner*-Texte verzeichnet. Die Beschriftung (x-Achse) entspricht der Rechenvorschrift (d.h. Subtraktion, z.B. "*Radner* 1 – *Radner* 2" entspricht der Lesegeschwindigkeit für den erstgenannten Text minus der Lesegeschwindigkeit für den zweitgenannten Text). In der unteren Hälfte sind die Differenzen für die IReST-Lesegeschwindigkeiten zu finden.

Der Wert 0 ist, außer bei der Differenz zwischen den *Radner*-Texten 1 und 2,

innerhalb der beiden Quartile nicht aufzufinden, wie es auch beim normalsichtigen Probandenkollektiv der Fall war. Zudem trifft ein weiteres Mal die Beobachtung zu, dass der maximale IQR der *IReST* unterhalb dem minimalen IQR der *Radner*-Texte liegt.

Die *IReST* weisen somit wieder geringere Unterschiede als die Texte der *Radner Lesetafeln* auf und streuen weniger.

### 3.3.5 Korrelationen innerhalb und zwischen den Textsorten

Abbildung 16 (Seite 80) zeigt, inwiefern die Texte innerhalb einer Textsorte – *Radner* oder *IReST* – und auch untereinander korrelieren. Dabei sind wieder bei den *IReST* die größten Korrelationen zu verzeichnen. Sie liegen allesamt bei  $r = 0,98$ . Dementsprechend bilden die Punktwolken annäherungsweise winkelhalbierende Geraden.

Die *Radner*-Texte zeigen dagegen geringere Korrelationskoeffizienten – zwischen  $r = 0,81$  &  $0,89$  – wenn man sie mit sich selbst korreliert. Im Vergleich zum normalsichtigen Probandenkollektiv sind diese Werte im Schnitt jedoch höher. Somit zeigen sie für sehbehinderte Probanden, für die diese Texte auch entworfen wurden, bessere Korrelationen. Die Punktwolken fächern dementsprechend schmaler um eine Winkelhalbierende, aber immer noch breiter als bei den *IReST*.

Die Korrelationen zwischen den Textsorten zeigen ähnliche Ergebnisse wie beim normalsichtigen Probandenkollektiv, sind aber ebenfalls ein wenig höher angesiedelt. Sie belaufen sich auf  $r = 0,77$ - $0,94$ , wobei alle Werte unter  $r = 0,8$  auf den *Radner*-Text 3 entfallen.

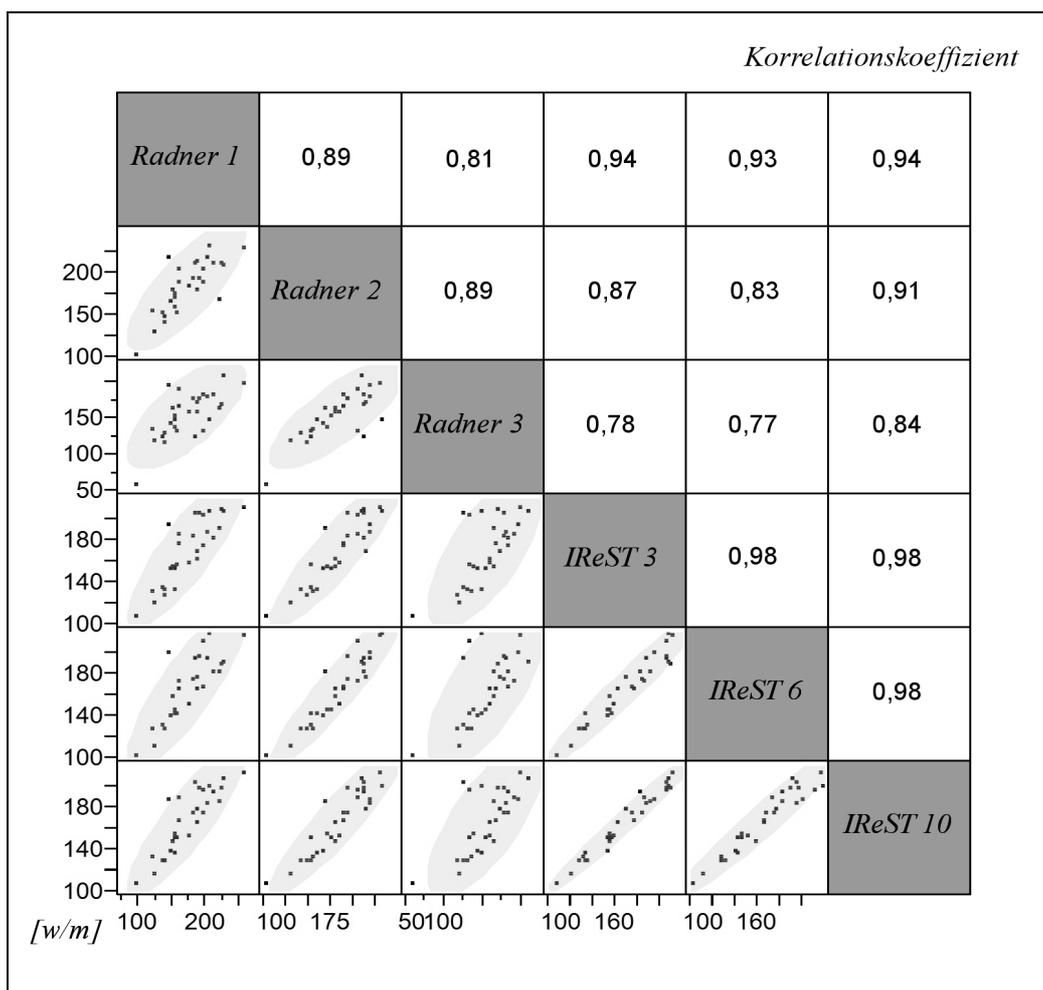


Abbildung 16: Korrelationen zwischen den 6 Texten für das sehbehinderte Probandenkollektiv.

Unterhalb der Diagonalen (graue Kästchen) veranschaulicht als Bild (die x-Achse bezieht sich auf die jeweilige Spalte & die y-Achse bezieht sich auf die jeweilige Zeile, in w/m); jeder Punkt entspricht einem Probanden. Oberhalb der grauen Kästchen angegeben als Korrelationskoeffizient  $r$  nach Pearson. Jedes weiße Kästchen beschreibt die Korrelation von 2 Texten, die der Beschriftung der grauen Kästchen in derselben Spalte und derselben Zeile entsprechen (z.B. 1. Zeile und 2. Spalte entspricht der Korrelation von Radner 1 zu Radner 2).

### 3.3.6 Übereinstimmung nach Bland-Altman

Auch beim sehbehinderten Probandenkollektiv wurde zusätzlich die Übereinstimmung der Texte mit Hilfe von Bland-Altman Plots geprüft.

Dabei wurde ebenfalls eine tabellarische Darstellung (Tabelle 10) gewählt, um die Daten der 15 erstellten Schaubilder vereinfacht wiedergeben zu können. Es

wurde ebenfalls ein Äquivalenzbereich von +10 bis -10 Wörtern pro Minute als Grundlage verwendet.

	<b>Radner 1</b>	<b>Radner 2</b>	<b>Radner 3</b>	<b>IReST 3</b>	<b>IReST 6</b>	<b>IReST 10</b>
<b>Radner 1</b>	-	13/30	15/30	11/30	10/30	14/30
<b>Radner 2</b>	13/30	-	15/30	17/30	14/30	13/30
<b>Radner 3</b>	15/30	15/30	-	12/30	14/30	12/30
<b>IReST 3</b>	11/30	17/30	12/30	-	4/30	3/30
<b>IReST 6</b>	10/30	14/30	14/30	4/30	-	4/30
<b>IReST 10</b>	14/30	13/30	12/30	3/30	4/30	-

*Tabelle 10: Anzahl der Punkte außerhalb des Äquivalenzbereichs (von +10 bis -10 Wörtern pro Minute Differenz der Lesegeschwindigkeit) beim sehbehinderten Probandenkollektiv.*

Eine vollständige Übereinstimmung (= alle Punkte liegen innerhalb des Äquivalenzbereichs) konnte wie beim normalsichtigen Probandenkollektiv nicht festgestellt werden, weshalb im Folgenden wiederum vergleichend bewertet wird.

Dazu sind zusätzlich zur Tabelle zwei Bland-Altman-Plots exemplarisch dargestellt, die wie folgt ausgewählt wurden: Abbildung 17 zeigt den Bland-Altman Plot mit der geringsten Zahl an Punkten außerhalb des Äquivalenzbereichs für die *Radner*-Texte, Abbildung 18 zeigt die maximale Anzahl von Punkten außerhalb des Äquivalenzbereichs bei den *IReST*.

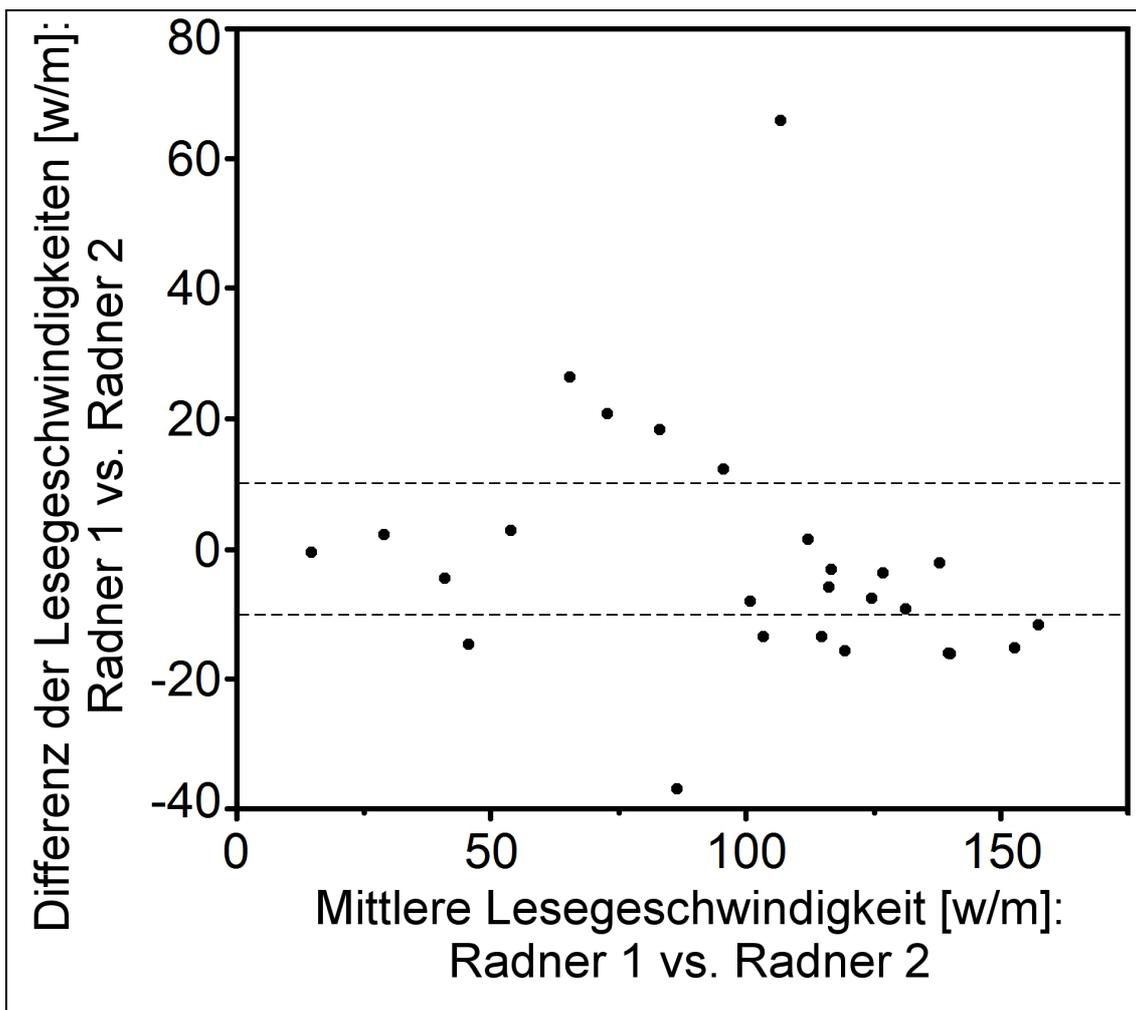


Abbildung 17: Radner 1 versus Radner 2 – Exemplarische Darstellung eines Bland-Altman Plots für das sehbehinderte Probandenkollektiv.

Bland-Altman Plot mit der geringsten Anzahl an nicht äquivalenten Messungen der Lesegeschwindigkeit bei den Radner Texten.

Interpretation:

X-Achse: Mittelwert der Lesegeschwindigkeiten der beiden Texte; y-Achse: Differenz der Lesegeschwindigkeiten beider Texte. Jeder Punkt entspricht einem Probanden. Die gestrichelte Linie markiert der Äquivalenzbereich.

Es ist ersichtlich, dass die IReST zwar keine vollständige Übereinstimmung zeigen, jedoch eine mit lediglich 3 bis 4 Punkten außerhalb des Äquivalenzbereichs vergleichsweise höhere als die Radner Texte mit 13 bis 15 Punkten außerhalb des Äquivalenzbereichs.

Insgesamt ließ sich beim sehbehinderten Probandenkollektiv eine bessere Übereinstimmung feststellen als beim normalsichtigen Probandenkollektiv. Die Übereinstimmungen der *Radner* Texte waren vergleichbar mit jenen der Textsorten untereinander (10 bis 17 Punkte außerhalb des Äquivalenzbereichs).

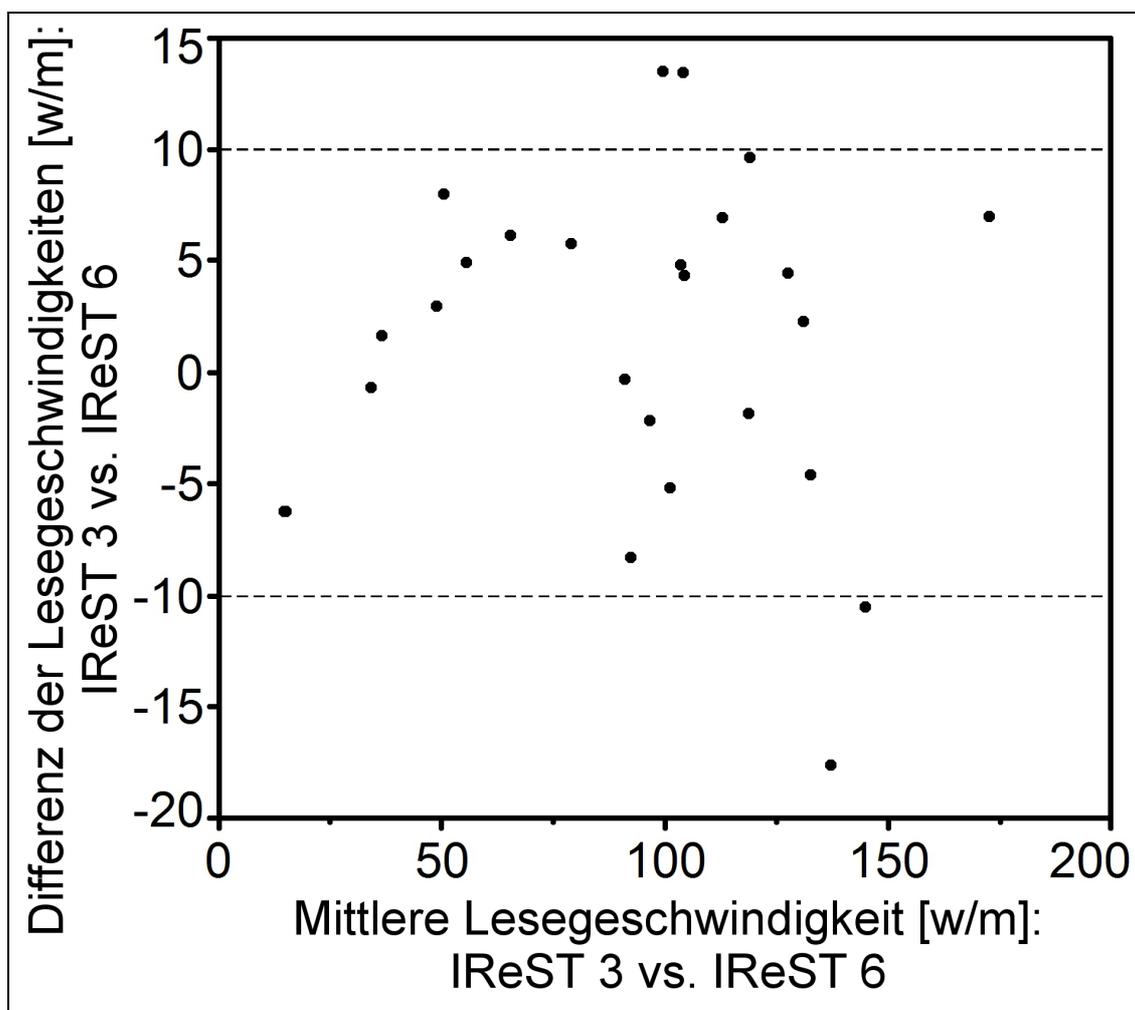


Abbildung 18: IReST 3 versus IReST 6 – Exemplarische Darstellung eines Bland-Altman Plots für das sehbehinderte Probandenkollektiv.

Einer der beiden Bland-Altman Plots mit der höchsten Anzahl an nicht äquivalenten Messungen der Lesegeschwindigkeit bei den IReST.

Interpretation: gemäß Abbildung 17.

### 3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Alles in allem sind zweierlei Aussagen zu treffen.

a) Es konnte sowohl für das normalsichtige als auch für das sehbehinderte Probandenkollektiv gezeigt werden, dass die *Radner Lesetafeln* und die *IReST* durchaus vergleichbare Ergebnisse bei der Bestimmung der Lesegeschwindigkeit liefern. Es macht weder einen signifikanten, noch einen relevanten Unterschied, welche Lesetafeln zu diesem Zweck eingesetzt werden. Dabei korrelieren die *Radner*-Texte und die *IReST* mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,69-0,84$ , zeigen jedoch keine vollständige Übereinstimmung nach Bland-Altman. Hierzu muss allerdings erwähnt werden, dass die Übereinstimmung teilweise sogar besser ausfällt, als bei den *Radner-Texten* untereinander.

Im übertragenen Sinne lassen sich somit zur Messung von in ihrer Größenordnung vergleichbaren Lesegeschwindigkeiten sowohl Einzelsätze als auch Textabschnitte verwenden.

b) Bezüglich der Homogenität und Streuung sind dagegen Unterschiede zwischen den beiden Textsorten zu verzeichnen. Die *IReST* zeigen im Vergleich (gemäß Regressionsanalyse) in keinem Fall signifikante und ebenfalls keine so großen Unterschiede wie die *Radner*-Texte.

Sie streuen weniger (Differenzen-Median betragsmäßig zwischen 0,9 und 6,7 w/m, maximaler IQR bei 13,9 w/m) als die aus Einzelsätzen bestehenden Stellvertreter der *Radner Lesetafeln* (Differenzen-Median betragsmäßig zwischen 4,3 und 22,7 w/m, minimaler IQR bei 16,2 w/m).

Zudem korrelieren die *IReST* untereinander sehr gut ( $r = 0,96-0,98$ ), während der Korrelationskoeffizient bei den *Radner*-Texten zwischen  $r = 0,69$  &  $0,89$  schwankt. Auch die Übereinstimmung nach Bland-Altman zeigt wesentlich bessere Ergebnisse für die *IReST* als für die *Radner*, wenn auch keine vollständige Übereinstimmung gefunden werden konnte – für keine der Textsorten.

Insgesamt ist eine bessere Reliabilität bei der Verwendung der *IReST* (stellvertretend für Textabschnitte) wahrscheinlich.

## 4. Diskussion

Die Lesefähigkeit von Patienten wird seit vielen Jahrzehnten in der augenärztlichen Routine geprüft. Diagnostisch exakte Hilfsmittel waren dabei lange Zeit rar, gewinnen aber mehr und mehr an Bedeutung; nicht zuletzt auch deshalb, weil die Frühmanifestationen einer AMD – als Nummer 1 der das Lesen beeinträchtigenden Augenerkrankungen in der westlichen Welt – anhand der Symptome kaum auszumachen sind, zugleich aber einer frühen therapeutischen Intervention bedürfen.

Seither fanden dafür überwiegend Lesetafeln mit einzelnen Sätzen Anwendung, da diese im Hinblick auf Vergleichbarkeit und Standardisierung (Satzbau, Wortwahl, Interpunktion, Thematik, etc.) präzise zu konstruieren sind. Eine Fülle von Lesetafeln konnte sich im Laufe der Jahre etablieren und findet in der augenärztlichen Routine Anwendung. Da ältere Nachleseproben nicht so gut standardisiert sind, beschränkte sich die Anwendung in wissenschaftlichen Studien größtenteils auf die *Radner Lesetafeln* im deutschsprachigen Raum [66], während die *MNRead Charts* den englischsprachigen Raum beherrschen [86].

Seit einigen Jahren stehen nun Lesetafeln mit standardisierten Textabschnitten, die *IReST*, als Alternative zur Verfügung. Einerseits sind Textabschnitte bezüglich ihrer Vergleichbarkeit und Standardisierung zwar wesentlich schwerer zu konstruieren, stellen aber andererseits tagtägliches Lesegut viel besser dar als teilweise etwas artifiziell erscheinende, hoch standardisierte Einzelsätze.

Bei der Entwicklung der *Radner Lesetafeln* musste für die ausgesprochen hohe Standardisierung der Sätze der Alltag in den Hintergrund gerückt werden. Um die Messergebnisse von einzelnen Sätzen dennoch auf die alltägliche Lesefähigkeit übertragen zu können, wurden Korrelationen von den einzelnen Sätzen der *Radner Lesetafeln* und ausgewählten Textabschnitten (Zuercher Reading Test) geprüft und als ausreichend erachtet [69, 70]. In der aktuelleren Studie (*Radner et al.*) von 2002 nehmen allerdings keine sehbehinderten Probanden teil, was weiterhin die Frage offen lässt, ob die Verlässlichkeit von

einzelnen Sätzen zur Bestimmung von Lesegeschwindigkeiten in Abgrenzung zu Textabschnitten im Falle einer Sehbehinderung ausreichend ist. Zwar existieren Studien zur interchart-Reliabilität der *Radner Lesetafeln* bei Sehbehinderten [71, 72], doch lässt das bis dato nur wenige Rückschlüsse über die sehbehinderte Probandengruppe, die eigentlich das Zielkollektiv darstellt, und deren alltägliche Leseherausforderungen zu.

Somit existierten genau genommen keine aktuellen Studien zur Evaluation von einzelnen Sätzen im Vergleich zu Textabschnitten im deutschsprachigen Raum: es wurde weder die Streuung innerhalb einer Lesetafel basierend auf einzelnen Sätzen mit einer Lesetafel basierend auf Textabschnitten verglichen, noch der Einsatz von diesen Lesetafeln bei einem sehbehinderten Probandenkollektiv evaluiert.

Doch selbst in anderssprachigen Regionen sind Daten hierzu schwer zu finden: *Ger V. Van Rens et al.* präsentierten 2013 auf dem jährlichen Treffen der Association for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO) eine Studie [80], in der die holländischen Varianten von *IReST* und den *Radner Lesetafeln* eingesetzt wurden; bei einem normalsichtigen Probandenkollektiv. Es konnten mittlere Lesegeschwindigkeiten ermittelt werden, die jenen der vorliegenden Studie sehr ähnlich sind: 176 w/m für *Radner* und 169 w/m für *IReST*. Ein Vergleich jedes gelesenen Textes (paarweise) mittels Regressionsanalyse wie von uns vorgenommen, um die Streuung innerhalb einer Textsorte festzustellen, wurde dort nicht durchgeführt.

In einer Studie von *Ramulu et al.* [79] wurden an 60 normalsichtigen Probanden Lesegeschwindigkeiten mit den *MNRead acuity charts* und der englischen Variante der *IReST* gemessen. Sie errechneten eine Korrelation der *MNRead charts* mit den *IReST* von  $r = 0,72$ . Allerdings wurden lediglich 77 Wörter jedes *IReST*-Abschnittes gelesen, was im Widerspruch zur Standardisierung der Textabschnitte in ihrer Gesamtheit steht. Zudem war die Fragestellung der Studie eine gänzlich andere als die der vorliegenden: es wurde ein Vergleich von stillem Lesen langer Textabschnitte (7300-7600 Wörter) und dem lauten Vorlesen von unvollständigen *IReST*-Textabschnitte oder *MNRead*-Einzelsätzen

angestellt. Dabei wurden zwar alltägliche Bedingungen mit dem stillem Lesen ideal simuliert, doch dauerte eine Testeinheit mehr als 30 Minuten und ist somit im klinischen Alltag kaum praktikabel. Erwähnenswert ist noch, dass beim stillen Lesen eine höhere Lesegeschwindigkeit erreicht werden kann als beim lauten Vorlesen.

In einer weiteren Studie von *Ramulu et al.* [78] wurden die Lesegeschwindigkeiten von 64 Patienten mit Glaukom (oder Glaukom-Verdacht) mittels *MNRead* (172 w/m [SD ±19]) oder englischen *IReST* (147 w/m [SD ±29]) ermittelt. Diese Werte weichen wesentlich stärker voneinander ab als in der vorliegenden Studie, doch ist dabei zu bedenken, dass die Leseeinschränkung wesentlich von der Art des Gesichtsfelddefekts abhängig ist. Aus diesem Grund darf ein Patient mit Glaukom (hpts. periphere Gesichtsfeldausfälle) nicht direkt mit einem Patienten mit Makulopathie (hpts. Defekte am Punkt des schärfsten Sehens) verglichen werden.

Von *Burggraaf et al.* [71] wurden mit der holländischen Variante der *Radner Lesetafeln* ebenfalls Lesegeschwindigkeiten bei 38 Patienten mit Sehbehinderung erhoben (mittlere maximale Lesegeschwindigkeit 154,8 w/m [SD 41,9 w/m]). Doch sind diese Werte aus einem Kollektiv mit besserer Sehschärfe beziehungsweise kleinerem Vergrößerungsbedarf als in unserer Studie entstanden. Ein direkter Vergleich ist daher nicht möglich. Darüber hinaus konnte von *Burggraaf et al.* für die holländischen *Radner Lesetafeln* eine gute test-retest-Reliabilität nachgewiesen werden, wobei dieses Ergebnis jedoch nur auf 15 der ursprünglichen 38 Probanden basiert. Eine gute test-retest Reliabilität lässt sich allerdings durch andere Studien für *Radner* wie auch für *MNRead* bestätigen [72, 87].

Aus genannten Gründen wurde die vorliegende Studie also zur Beantwortung zweier grundlegender Fragen vorgenommen. Erstens (a), um zu prüfen, ob bei einem normalsichtigen und einem sehbehinderten Probandenkollektiv, jeweils in ihrer Größenordnung vergleichbare Messwerte für die Lesegeschwindigkeit bei der Verwendung von den *Radner Lesetafeln* und den *IReST* zu erwarten sind. Und zweitens (b) wie die Streuung innerhalb der Textsorten ausfällt, ob sich

daraus eine Empfehlung zur Wahl der diagnostischen Hilfsmittel für Augenärzte fällen lässt und im übertragenen Sinne, welche Art von Text – einzelne Sätze oder Textabschnitte – für welchen Zweck besser geeignet sind.

An einem jungen gesunden Kollektiv (Alter: 18-35 Jahre) konnte bereits gezeigt werden, dass die *IReST* äußerst zuverlässige, reliable Messergebnisse liefern [74]. Wie zuverlässig die Messdaten der *IReST* (Deutsch) bei einem Kollektiv älterer Normalpersonen oder bei einem sehbehinderten Kollektiv sind und wie vergleichbar die Lesegeschwindigkeiten zu den *Radner Lesetafeln* ausfallen, die ihrerseits ebenfalls sehr robuste Ergebnisse liefern, wurde nun ermittelt.

Es konnte a) gezeigt werden, dass die standardisierten Textabschnitte (*IReST*) sich sehr gut eignen, um die Lesefähigkeit eines Patienten zu ermitteln. Hierbei fanden sich Korrelationen von  $r = 0,69-0,94$  zwischen den *Radner*-Texten und den *IReSTs*, während für beide Kollektive (1. gesund beziehungsweise 2. sehbehindert) keine signifikanten ( $p_1 = 0,0833$  und  $p_2 = 0,2721$ ) oder relevanten Unterschiede (1.  $<7,2$  w/m und 2.  $<6,5$  w/m) ausgemacht werden konnten.

Die Messwerte für Lesegeschwindigkeiten lagen also bei beiden Lesetafeln in einer vergleichbaren Größenordnung vor. Dadurch ist es denkbar, die Lesetafeln je nach Fragestellung einzusetzen bzw. zu ersetzen und somit die jeweiligen Vorteile zu nutzen.

Zudem b) zeigen die *IReST* eine geringere Streuung und enorm hohe Korrelationen ( $r = 0,96-0,98$ ) untereinander, während die Ergebnisse für die einzelnen Sätze der *Radner Lesetafeln* eine höhere Streuung belegen und eine geringere Korrelation beschreiben ( $r = 0,69-0,89$ ).

Allerdings wurden die drei Texte aus dem Fundus der deutschen *IReST* allesamt aus derselben performance category ausgewählt, sie bringen also schon primär sehr gute Vergleichbarkeiten mit sich, während die Texte der *Radner Lesetafeln* nach der vergleichbarsten Druckgröße ausgewählt wurden und deshalb die von *Radner et al.* geprüfte Homogenität der Testitems [66, 69] möglicherweise nur teilweise wiedergeben.

Alles in allem sind beide Textsorten gut zur Bestimmung von Lesegeschwindigkeiten geeignet; die *IReST* sind jedoch mit einer geringeren

Streuung verknüpft und deshalb besser geeignet bei wiederholten Messungen. Natürlich müssen hier einige Unwägbarkeiten bedacht werden, die trotz aller Bemühungen niemals gänzlich ausgeschlossen werden können. Da jeweils der Originaldruck der verwendeten Lesetafeln eingesetzt wurde, sind Unterschiede in Schriftart, Kontrast, Textausrichtung, Zeilenabstand, etc. in die Messergebnisse mit eingeflossen, wobei ein Effekt dieser Faktoren auf das Lesen bereits nachgewiesen werden konnte.

Bezüglich der Druckgröße sollte angemerkt werden, dass bei Probandenkollektiven wie den unseren der marginale Unterschied in den Zeichengrößen (*Radner* 2,05mm "N"-Höhe, *IReST* 2,2mm "N"-Höhe) dennoch unwesentlich ist. Beim normalsichtigen Kollektiv liegt das in der ausreichend guten Sehschärfe begründet (Fernvisus  $\geq 0,8$ , Lesevisus  $\geq 0,6$ ), wodurch die Schriftzeichen überschwellig sind, und beim sehbehinderten Kollektiv wurde durch eine zusätzliche Vergrößerung von 20% ein Ausgleich geschaffen. Dies gilt auch für den vereinheitlichten Abstand zum Lesegut (33cm bei beiden Lesetafeln).

Darüber hinaus unterscheiden sich die beiden Textkollektionen in ihrer Schwierigkeit (6. Schulstufe bei *IReST* und 3. Schulstufe bei *Radner*).

Deshalb sind die Studienergebnisse nicht generell auf einzelne Sätze und Textabschnitte übertragbar, sondern stellen vielmehr einen Vergleich der beiden Lesetafeln dar, die in Studien oder der augenärztlichen Diagnostik nunmal im Originaldruck verwendet werden. Bei normalsichtigen Lesenden ist allerdings von einem kleineren Einfluss der genannten Faktoren auszugehen.

Trotzdem ist eine Übertragung der Ergebnisse auf den Einsatz von einzelnen Sätzen und Textabschnitten zumindest denkbar:

Demnach sind Textabschnitte realitätsbezogener, scheinen mögliche Messfehler besser auszugleichen und bieten mehr Raum für einen sinnhaften Textinhalt, was wiederum auch einen Einfluss auf das Lesen hat. Darüber hinaus ist es äußerst präzise gelungen, eine Standardisierung für längere Textabschnitte zu entwickeln, die vergleichbare und reliable Messergebnisse zulässt. Textabschnitte eignen sich somit hervorragend als Grundlage für

Lesetafeln zur – auch wiederholten – Bestimmung der Lesegeschwindigkeit. Dabei ist gleichzeitig zu bedenken, dass die Messung der Lesegeschwindigkeit mit Textabschnitten einen größeren zeitlichen Aufwand und damit mehr Spielraum Störfaktoren wie Zwischenfragen, etc. bietet. Dies ist insbesondere dann auch ein gravierender Unterschied, wenn zeitgleich zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit der Lesevisus anhand kurz aufeinander folgender Messungen ermittelt werden soll. Mit einzelnen Sätzen ist das besser möglich und bei den *Radner Lesetafeln* (wie auch den *MNRead acuity charts*) ebenfalls Zielsetzung. Zudem könnten Patienten beim Lesen von längeren Abschnitten eher ermüden und auch leichter in einer Zeile verrutschen, was die Messung schwer beeinträchtigen und verzerren kann. Tatsächlich führten diese Zeilenrutscher zu einigen nachträglichen Ausschlüssen von Messdaten, wobei auch bei den dreizeiligen *Radner*-Texten der korrekte Zeilenanfang bisweilen nicht gefunden wurde. Wenn eine solche Fehlmessung auftritt, stehen drei *Radner Lesetafeln* und zehn homogene *IReST* zur Verfügung, die eine wiederholte Messung leicht ermöglichen.

Zusammenfassend kann also folgende Empfehlung ausgesprochen werden: die *Radner Lesetafeln* eignen sich sehr gut zur gleichzeitigen Messung von Lesevisus und Lesegeschwindigkeit, während die *IReST* dagegen bei einer reinen Messung der Lesegeschwindigkeit zu empfehlen sind und durch die hohe Homogenität der (zahlreichen) Testitems sehr viel Spielraum für wiederholte Messungen bieten.

Ein positiver Nebeneffekt der Studie waren Richtwerte für Lesegeschwindigkeiten bei einem gesunden Kollektiv von älteren Probanden. In Tabelle 11 sind diese Werte aufgeführt, inklusive der Lesegeschwindigkeiten für ein junges, gesundes Probandenkollektiv aus einer anderen Studie von *Hahn et al.* [73].

Die mittleren Lesegeschwindigkeiten der sehbehinderten Probanden sind ebenfalls beigefügt, allerdings spielt bei Sehbehinderungen der Schweregrad der Erkrankung und die Art des Gesichtsfeldausfalls eine tragende Rolle, weshalb an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden soll, dass diese

Werte bei einem an Makulopathien erkrankten Kollektiv ermittelt wurden.  
 Wie zu erwarten lesen ältere Normalsichtige geringfügig langsamer als jüngere und sehbehinderte Patienten mit Hilfsmitteln deutlich langsamer.

<b>Text</b>	<b>18-35 Jahre, normalsichtig</b>	<b>51-81 Jahre, normalsichtig</b>	<b>49-91 Jahre, sehbehindert</b>
<i>IReST 3</i>	175 (±12,8)	169 (±30,4)	95 (±38,7)
<i>IReST 6</i>	176 (±17,3)	165 (±31,4)	94 (±39,4)
<i>IReST 10</i>	176 (±17,2)	166 (±29,9)	96 (±35,9)

*Tabelle 11: Textbezogene Mittelwerte und Standardabweichungen für Lesegeschwindigkeiten bei drei verschiedenen Probandenkollektiven. Werte für das Kollektiv "18-35 Jahre, normalsichtig" aus [73]. Angaben in Wörtern pro Minute.*

Die Kollektive mit Probanden höheren Alters sind dabei weder alters- noch geschlechtsangepasst. Es liegt ein signifikanter Altersunterschied vor ( $p < 0,0001$ ), wobei die sehbehinderte Probandengruppe älter ist. Außerdem werden die Normalsichtigen zu 56,7% von Frauen vertreten, während die Sehbehinderten sogar zu 80,0% von Frauen vertreten werden.

Die offenkundigen Unterschiede zwischen den Probandenkollektiven liegen in den Rekrutierungsmöglichkeiten begründet. 69% der Pflegebedürftigen in Deutschland sind 75 Jahre alt oder älter wie aus der Pflegestatistik 2011 des Statistischen Bundesamtes [88] hervorgeht. Sehbehinderungen oder Blindheit sind dabei als Ursachen mit eingeschlossen. Ähnliche Angaben finden sich auch in Bezug auf das ausschließliche Vorliegen von Sehbehinderungen ohne sonstige Ursachen für Pflegebedürftigkeit: 63% der Sehbehinderten sind bereits über 50 Jahre alt – mit der Altersbedingten Makuladegeneration als kausalem Spitzenreiter [27]. Somit ist das höhere Alter der sehbehinderten Probanden zu erklären. Darüber hinaus ist es natürlich auch schwierig, vollständig normalsichtige Probanden im hohen Alter zu finden.

Frauen werden laut dem Statistischem Bundesamt in Deutschland älter als Männer [89], sind dabei aber häufiger von Erkrankungen betroffen, die Pflegebedürftigkeit auslösen. 65% der Pflegebedürftigen aller Altersklassen sind

weiblich. Damit wäre auch der überwiegende Frauenanteil zu erklären.  
Für die Fragestellungen dieser Studie und in Anbetracht dessen, dass beide Kollektive getrennt ausgewertet wurden, sind genannte Diskrepanzen jedoch vernachlässigbar.

## 5. Zusammenfassung

### Fragestellung

Um im augenärztlichen Alltag möglichst einfach die Lesegeschwindigkeit eines Patienten zu ermitteln, wurden hoch standardisierte Lesetafeln erschaffen. Ein Großteil davon basiert auf einzelnen Sätzen wie die deutschsprachigen *Radner Lesetafeln* (jeweils 14 Wörter pro Text), während die *International Reading Speed Texts* (durchschnittlich 132 Wörter pro Text), kurz *IReST*, auf der Grundlage von Textabschnitten erstellt wurden.

In dieser Studie soll untersucht werden, ob sich die Lesegeschwindigkeiten zwischen den Textsorten und deren Variabilität unterscheiden.

### Methoden

Von jeder Textsorte (=Lesetafel) wurden 3 Texte gewählt und von zwei Probandenkollektiven, 30 normalsichtigen Probanden (mittleres Alter 64,5 Jahre, SD  $\pm 7,7$ ) und 25 sehbehinderten Probanden mit Makulopathie (mittleres Alter 77,8 Jahre SD  $\pm 9,9$ ), in zufälliger Reihenfolge laut vorgelesen. Die Lesezeit wurde mittels Stoppuhr gemessen und anschließend die Lesegeschwindigkeit in "korrekt gelesenen Wörtern pro Minute" (w/m) errechnet.

Der Einfluss von Textsorte und Textnummer auf die Lesegeschwindigkeit wurde mittels Regressionsanalyse geprüft, zusätzlich wurden die Pearson Korrelationskoeffizienten berechnet und die Übereinstimmung nach Bland-Altman dargestellt.

### Ergebnisse

Beim normalsichtigen Probandenkollektiv lieferten beide Textsorten in ihrer Größenordnung vergleichbare Messwerte. Innerhalb der Textsorten ließen sich jedoch größere Unterschiede zwischen den *Radner* Texten als zwischen den *IReST* nachweisen. Die Korrelationskoeffizienten beliefen sich auf  $r = 0,69-0,78$  für *Radner* und  $r = 0,96-0,98$  für *IReST*; die Übereinstimmung nach Bland-Altman fiel für die *IReST* ebenfalls vergleichsweise besser aus. Es zeigte sich eine größere Streuung der Lesegeschwindigkeit für die *Radner* Texte als für die

*IReST* (IQR = 19,4-29,6 vs. 8,3-13,9).

Die Lesegeschwindigkeiten beim sehbehinderten Probandenkollektiv fielen insgesamt niedriger aus als beim normalsichtigen Probandenkollektiv, darüber hinaus waren die Ergebnisse (Regressionsanalyse, Korrelation, Übereinstimmung, Streuung) allerdings vergleichbar mit jenen des normalsichtigen Kollektives.

#### Fazit

Die *IReST*, stellvertretend für Textabschnitte, sind wegen ihrer geringeren Variabilität insbesondere bei wiederholten Messungen von Lesegeschwindigkeiten besser geeignet als die aus Einzelsätzen bestehenden *Radner Lesetafeln*.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Speckmann, E.-J., J. Hescheler, and R. Köhling, *Physiologie: mit Zugang zum Elsevier-Portal*. 5 ed. 2008: Elsevier, Urban&FischerVerlag.
2. Trauzettel-Klosinski, S., *Rehabilitation of lesions in the visual pathways*. Klin Monbl Augenheilkd, 2009. **226**(11): p. 897-907.
3. Klicpera, C. and B. Gasteiger-Klicpera, *Psychologie der Lese- und Schreibschwierigkeiten: Entwicklung, Ursachen, Förderung*. 1995: Beltz.
4. Elliott, D.B., et al., *Demographic characteristics of the vision-disabled elderly*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1997. **38**(12): p. 2566-75.
5. Kleen, S.R. and R.J. Levoy, *Low vision care: correlation of patient age, visual goals, and aids prescribed*. Am J Optom Physiol Opt, 1981. **58**(3): p. 200-5.
6. Knauer, C. and N. Pfeiffer, *The value of vision*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2008. **246**(4): p. 477-82.
7. Legge, G.E., et al., *Psychophysics of reading. Clinical predictors of low-vision reading speed*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1992. **33**(3): p. 677-87.
8. BVA. *Schlechtes Sehen im Straßenverkehr ist lebensgefährlich*. 2007 [cited 2014 22. August]; Available from: <http://www.augeninfo.de/presse/0511seh.pdf>.
9. Horton, J.C. and W.F. Hoyt, *The representation of the visual field in human striate cortex. A revision of the classic Holmes map*. Arch Ophthalmol, 1991. **109**(6): p. 816-24.
10. McFadzean, R., et al., *Representation of the visual field in the occipital striate cortex*. Br J Ophthalmol, 1994. **78**(3): p. 185-90.
11. O'Regan, J.K., *The control of saccade size and fixation duration in reading: the limits of linguistic control*. Percept Psychophys, 1980. **28**(2): p. 112-7.
12. Trauzettel-Klosinski, S., C. Dieling, and B. Pietsch, *The influence of visual field defects and other clinical parameters on reading performance: A retrospective study in a low vision population*. Visual Impairment Research, 2003. **5**: p. 83-100.
13. Whittaker, S.G. and J. Lovie-Kitchin, *Visual requirements for reading*. Optom Vis Sci, 1993. **70**(1): p. 54-65.
14. Aulhorn, E., *[Fixation width and fixation frequency of the contours presented in reading]*. Pflugers Arch, 1953. **257**(4): p. 318-28.
15. 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.
16. McConkie, G.W. and K. Rayner, *The span of the effective stimulus during fixation in reading*. Percept Psychophys, 1975. **17**: p. 578-86.
17. Legge, G.E., et al., *Psychophysics of reading. XI. Comparing color contrast and luminance contrast*. J Opt Soc Am A, 1990. **7**(10): p. 2002-10.
18. Legge, G.E., G.S. Rubin, and A. Luebker, *Psychophysics of reading--V. The role of contrast in normal vision*. Vision Res, 1987. **27**(7): p. 1165-77.
19. Rubin, G.S. and G.E. Legge, *Psychophysics of reading. VI--The role of contrast in low vision*. Vision Res, 1989. **29**(1): p. 79-91.
20. Gibson, E., *The dependency locality theory: a distance-based theory of*

- linguistic complexity*, in *Image, Language, Brain* 2000. p. 95-126.
21. Chung, S.T., J.S. Mansfield, and G.E. Legge, *Psychophysics of reading. XVIII. The effect of print size on reading speed in normal peripheral vision*. *Vision Res*, 1998. **38**(19): p. 2949-62.
  22. Mansfield, J.S., G.E. Legge, and M.C. Bane, *Psychophysics of reading. XV: Font effects in normal and low vision*. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1996. **37**(8): p. 1492-501.
  23. Mackensen, G., *Die Lesegeschwindigkeit. Grundlagen für eine klinische Funktionsprüfung*. *Klin Monatsbl Augenheilkd*, 1964. **144**: p. 215-219.
  24. Brown, G.C., et al., *Utility values and age-related macular degeneration*. *Arch Ophthalmol*, 2000. **118**(1): p. 47-51.
  25. Langelaan, M., et al., *Impact of visual impairment on quality of life: a comparison with quality of life in the general population and with other chronic conditions*. *Ophthalmic Epidemiol*, 2007. **14**(3): p. 119-26.
  26. BMAS, *Versorgungsmedizin-Verordnung 2008*, Bundesministerium für Arbeit und Soziales.
  27. Knauer, C. and N. Pfeiffer, *Blindness in Germany--today and in 2030*. *Ophthalmologie*, 2006. **103**(9): p. 735-41.
  28. Pascolini, D. and S.P. Mariotti, *Global estimates of visual impairment: 2010*. *Br J Ophthalmol*, 2012. **96**(5): p. 614-8.
  29. Trautner, C., et al., *Incidence of blindness in southern Germany due to glaucoma and degenerative conditions*. *Investigative ophthalmology & visual science*, 2003. **44**(3): p. 1031-1034.
  30. Congdon, N., et al., *Causes and prevalence of visual impairment among adults in the United States*. *Arch Ophthalmol*, 2004. **122**(4): p. 477-85.
  31. Klaver, C.C., et al., *Age-specific prevalence and causes of blindness and visual impairment in an older population: the Rotterdam Study*. *Arch Ophthalmol*, 1998. **116**(5): p. 653-8.
  32. Attebo, K., P. Mitchell, and W. Smith, *Visual acuity and the causes of visual loss in Australia. The Blue Mountains Eye Study*. *Ophthalmology*, 1996. **103**(3): p. 357-64.
  33. Brown, M.M., et al., *The burden of age-related macular degeneration: a value-based analysis*. *Curr Opin Ophthalmol*, 2006. **17**(3): p. 257-66.
  34. Rubin, G.S., *Vision rehabilitation for patients with age-related macular degeneration*. *Eye (Lond)*, 2001. **15**(Pt 3): p. 430-5.
  35. Jager, R.D., W.F. Mieler, and J.W. Miller, *Age-related macular degeneration*. *N Engl J Med*, 2008. **358**(24): p. 2606-17.
  36. Klein, R., et al., *Ten-year incidence and progression of age-related maculopathy: The Beaver Dam eye study*. *Ophthalmology*, 2002. **109**(10): p. 1767-79.
  37. eV und DOG eV, B., *Leitlinie Nr. 21–Altersabhängige Makuladegeneration AMD. S 2–4*, 2011.
  38. Akutsu, H., et al., *Psychophysics of reading--X. Effects of age-related changes in vision*. *J Gerontol*, 1991. **46**(6): p. P325-31.
  39. Colenbrander, A., *Measuring Vision and Vision Loss*. *Duane's Clinical Ophthalmology*, 2001. **5**.

40. Holz, F.G., et al., *Altersabhängige makuladegeneration*. 2011: Springer DE.
41. Rubin, G.S., et al., *Visual impairment and disability in older adults*. *Optom Vis Sci*, 1994. **71**(12): p. 750-60.
42. Williams, R.A., et al., *The psychosocial impact of macular degeneration*. *Arch Ophthalmol*, 1998. **116**(4): p. 514-20.
43. Holz, F.G., et al., *Modern pharmacotherapy of age-related macular degeneration*. *Internist (Berl)*, 2006. **47**(2): p. 192-8.
44. Friedman, D.S., et al., *Prevalence of age-related macular degeneration in the United States*. *Arch Ophthalmol*, 2004. **122**(4): p. 564-72.
45. Kourlas, H. and P. Abrams, *Ranibizumab for the treatment of neovascular age-related macular degeneration: a review*. *Clin Ther*, 2007. **29**(9): p. 1850-61.
46. Seddon, J.M., et al., *Association of CFH Y402H and LOC387715 A69S with progression of age-related macular degeneration*. *JAMA*, 2007. **297**(16): p. 1793-800.
47. Neuner, B., et al., *Smoking history and the incidence of age-related macular degeneration--results from the Muenster Aging and Retina Study (MARS) cohort and systematic review and meta-analysis of observational longitudinal studies*. *Addict Behav*, 2009. **34**(11): p. 938-47.
48. Clemons, T.E., et al., *Risk factors for the incidence of Advanced Age-Related Macular Degeneration in the Age-Related Eye Disease Study (AREDS) AREDS report no. 19*. *Ophthalmology*, 2005. **112**(4): p. 533-9.
49. Age-Related Eye Disease Study Research, G., *Risk factors associated with age-related macular degeneration. A case-control study in the age-related eye disease study: Age-Related Eye Disease Study Report Number 3*. *Ophthalmology*, 2000. **107**(12): p. 2224-32.
50. Age-Related Eye Disease Study Research, G., *A randomized, placebo-controlled, clinical trial of high-dose supplementation with vitamins C and E, beta carotene, and zinc for age-related macular degeneration and vision loss: AREDS report no. 8*. *Arch Ophthalmol*, 2001. **119**(10): p. 1417-36.
51. Smith, W., et al., *Risk factors for age-related macular degeneration: Pooled findings from three continents*. *Ophthalmology*, 2001. **108**(4): p. 697-704.
52. Holz, F.G., et al., *Bilateral macular drusen in age-related macular degeneration. Prognosis and risk factors*. *Ophthalmology*, 1994. **101**(9): p. 1522-8.
53. Li, M., et al., *CFH haplotypes without the Y402H coding variant show strong association with susceptibility to age-related macular degeneration*. *Nat Genet*, 2006. **38**(9): p. 1049-54.
54. Age-Related Eye Disease Study 2 Research, G., *Lutein + zeaxanthin and omega-3 fatty acids for age-related macular degeneration: the Age-Related Eye Disease Study 2 (AREDS2) randomized clinical trial*. *JAMA*, 2013. **309**(19): p. 2005-15.
55. Age-Related Eye Disease Study 2 Research, G., et al., *Secondary Analyses of the Effects of Lutein/Zeaxanthin on Age-Related Macular Degeneration Progression: AREDS2 Report No. 3*. *JAMA Ophthalmol*, 2014. **132**(2): p. 142-9.
56. Chew, E.Y., et al., *Long-term effects of vitamins C and E, beta-carotene, and zinc on age-related macular degeneration: AREDS report no. 35*.

- Ophthalmology, 2013. **120**(8): p. 1604-11 e4.
57. Nguyen, N.X., M. Weismann, and S. Trauzettel-Klosinski, *Improvement of reading speed after providing of low vision aids in patients with age-related macular degeneration*. Acta Ophthalmol, 2009. **87**(8): p. 849-53.
  58. Trauzettel-Klosinski, S., et al., *Reading strategies in normal subjects and in patients with macular scotoma - assessed by two new methods of registration*. Neuroophthalmology, 1994. **14**: p. 15-30.
  59. Timberlake, G.T., et al., *Reading with a macular scotoma. I. Retinal location of scotoma and fixation area*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1986. **27**(7): p. 1137-47.
  60. White, J.M. and H.E. Bedell, *The oculomotor reference in humans with bilateral macular disease*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1990. **31**(6): p. 1149-61.
  61. Messias, A., et al., *Eccentric fixation in Stargardt's disease assessed by Tubingen perimetry*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2007. **48**(12): p. 5815-22.
  62. Nilsson, U.L., C. Frennesson, and S.E. Nilsson, *Location and stability of a newly established eccentric retinal locus suitable for reading, achieved through training of patients with a dense central scotoma*. Optom Vis Sci, 1998. **75**(12): p. 873-8.
  63. Stelmack, J.A., R.W. Massof, and T.R. Stelmack, *Is there a standard of care for eccentric viewing training?* J Rehabil Res Dev, 2004. **41**(5): p. 729-38.
  64. Yehoshua, Z. and P.J. Rosenfeld, *Behandlungsansätze bei trockener AMD*, in *Altersabhängige Makuladegeneration*. 2011, Springer. p. 269-281.
  65. Mansfield, J., et al., *A new reading-acuity chart for normal and low vision*. Ophthalmic and Visual Optics/Noninvasive Assessment of the Visual System Technical Digest, 1993. **3**: p. 232-235.
  66. Radner, W., et al., *A new reading chart for simultaneous determination of reading vision and reading speed*. Klin Monbl Augenheilkd, 1998. **213**(3): p. 174-81.
  67. Maaijwee, K.J., et al., *[The Dutch version of the Radner Reading Chart for assessing vision function]*. Ned Tijdschr Geneesk, 2007. **151**(45): p. 2494-7.
  68. Radner, W., *Introducing a new reading chart*. Ophthalmology Times, 2008. **4**(2).
  69. Radner, W., et al., *The validity and reliability of short German sentences for measuring reading speed*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2002. **240**(6): p. 461-7.
  70. Ahn, S.J. and G.E. Legge, *Psychophysics of reading--XIII. Predictors of magnifier-aided reading speed in low vision*. Vision Res, 1995. **35**(13): p. 1931-8.
  71. Burggraaff, M.C., et al., *Feasibility of the Radner Reading Charts in low-vision patients*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2010. **248**(11): p. 1631-7.
  72. Stifter, E., et al., *Reliability of a standardized reading chart system: variance component analysis, test-retest and inter-chart reliability*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2004. **242**(1): p. 31-9.
  73. Hahn, G.A., et al., *New standardised texts for assessing reading performance in four European languages*. Br J Ophthalmol, 2006. **90**(4): p. 480-4.
  74. Trauzettel-Klosinski, S., K. Dietz, and I.R.S. Group, *Standardized assessment of reading performance: the New International Reading Speed Texts IReST*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2012. **53**(9): p. 5452-61.

75. Messias, A., et al., *New standardized texts in Brazilian Portuguese to assess reading speed--comparison with four European languages*. *Arq Bras Oftalmol*, 2008. **71**(4): p. 553-8.
76. Foss, D., *Decision processes during sentence comprehension: effects of lexical item difficulty and position upon decision time*. *Verbal Learning Verbal Behaviour*, 1969. **8**: p. 457-62.
77. Gibson, E., *Linguistic complexity: locality of syntactic dependencies*. *Cognition*, 1998. **68**(1): p. 1-76.
78. Ramulu, P.Y., et al., *Difficulty with out-loud and silent reading in glaucoma*. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013. **54**(1): p. 666-72.
79. Ramulu, P.Y., et al., *Description and validation of a test to evaluate sustained silent reading*. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013. **54**(1): p. 673-80.
80. Van Rens, G.V., et al., *Properties of the Dutch Reading Charts*, in *313 Low Vision Rehabilitation 2013: ARVO 2013 Annual Meeting Abstracts - Program Number: 2748* p. 1.
81. Optelec. *Optelec GmbH - Zeitleiste*. 2013 [cited 2013 18. Januar]; Available from: [http://www.optelec.com/de\\_DE/uber-uns/zeitleiste](http://www.optelec.com/de_DE/uber-uns/zeitleiste).
82. Weiß, C., *Basiswissen Medizinische Statistik*. 2008: Springer DE.
83. Toutenburg, H., *Lineare Modelle*. 2002: Springer DE.
84. Bland, J.M. and D.G. Altman, *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement*. *Lancet*, 1986. **1**(8476): p. 307-10.
85. Institute Inc., S., *JMP®*, 1989-2007: Cary, NC.
86. Mansfield, J.S., et al., *A new reading acuity chart for normal and low vision*. *Ophthalmic Vis Opt*, 1993. **3**: p. 232-235.
87. Patel, P.J., et al., *Test-retest variability of reading performance metrics using MNREAD in patients with age-related macular degeneration*. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011. **52**(6): p. 3854-9.
88. Statistisches\_Bundesamt, *Pflegestatistik 2011-Pflege im Rahmen der Pflegeversicherung, Ländervergleich-Pflegebedürftige*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2013.
89. Statistisches\_Bundesamt, *Bevölkerung und Erwerbstätigkeit-Sterbetafel Deutschland 2009/11*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2012.

## 7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie des Auges

Abbildung 2: Kognitive Verarbeitung von Bild und Schrift

Abbildung 3: Lesegesichtsfeld und Sehschärfe in Abhängigkeit von der retinalen Exzentrizität

Abbildung 4: Konfluierende Drusen bei AMD (Funduskopie)

Abbildung 5: Areoläre Atrophie bei AMD im OCT

Abbildung 6: Subfoveale occulte AMD in der Fluoreszenz-/Fundus-Angiographie

Abbildung 7: Auszug aus einer deutschen *Radner Lesetafel*

Abbildung 8: Textabschnitt aus der deutschen *IReST*-Ausgabe (*IReST 3*)

Abbildung 9: Präsentationsform der Lesetafeln

Abbildung 10: Verteilung der Residuen für beide Probandenkollektive als Histogramm

Abbildung 11: Differenzen zwischen den Lesegeschwindigkeiten für *IReST* und *Radner*-Texte in w/m beim normalsichtigen Probandenkollektiv

Abbildung 12: Korrelationen zwischen den 6 Texten für das normalsichtige Probandenkollektiv

Abbildung 13: *Radner 1* versus *Radner 2* – Exemplarische Darstellung eines Bland-Altman Plots für das normalsichtige Probandenkollektiv.

Abbildung 14: *IReST 3* versus *IReST 10* – Exemplarische Darstellung eines Bland-Altman Plots für das normalsichtige Probandenkollektiv.

Abbildung 15: Differenzen zwischen den Lesegeschwindigkeiten für *IReST* und *Radner*-Texte in w/m beim sehbehinderten Probandenkollektiv

Abbildung 16: Korrelationen zwischen den 6 Texten für das sehbehinderte Probandenkollektiv

Abbildung 17: *Radner 1* versus *Radner 2* – Exemplarische Darstellung eines Bland-Altman Plots für das normalsichtige Probandenkollektiv.

Abbildung 18: *IReST 3* versus *IReST 6* – Exemplarische Darstellung eines Bland-Altman Plots für das normalsichtige Probandenkollektiv.

## 8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kenndaten normalsichtiger Probanden

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen für die gelesenen Texte (normalsichtig)

Tabelle 3: "Parameter Estimates" – mittels Regressionsanalyse erstellte Schätzung der Einflussgrößen für das normalsichtige Probandenkollektiv

Tabelle 4: Normalsichtiges Kollektiv – Perzentilangaben und interquartile range (IQR) für die Differenzen zwischen den Textnummern

Tabelle 5: Anzahl der Punkte außerhalb des Äquivalenzbereichs beim normalsichtigen Probandenkollektiv

Tabelle 6: Kenndaten sehbehinderter Probanden

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen für die gelesenen Texte (sehbehindert)

Tabelle 8: "Parameter Estimates" – mittels Regressionsanalyse erstellte Schätzung der Einflussgrößen für das sehbehinderte Probandenkollektiv

Tabelle 9: Sehbehindertes Kollektiv – Perzentilangaben und interquartile range (IQR) für die Differenzen zwischen den Textnummern

Tabelle 10: Anzahl der Punkte außerhalb des Äquivalenzbereichs beim sehbehinderten Probandenkollektiv

Tabelle 11: Textbezogene Mittelwerte und Standardabweichungen für Lesegeschwindigkeiten bei drei verschiedenen Probandenkollektiven

## 9. Veröffentlichungen

Erste Ergebnisse dieser Studie wurden 2013 auf dem ARVO Kongress präsentiert. Siehe hierzu:

*2013: Trauzettel-Klosinski S, et al. ARVO Abstract 2747*

Eine Veröffentlichung mit den vollständigen Daten befindet sich derzeit im Begutachtungsprozess.

## 10. Erklärung zum Eigenanteil

Ehrenwörtliche Erklärung zu meiner Dissertation mit dem Titel:

*"Vergleich zweier deutschsprachiger, standardisierter Lesetafeln zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit"*

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit erkläre ich, dass ich die beigefügte Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen sind als solche gekennzeichnet.

Die der Dissertation zugrunde liegende Studie wurde in Zusammenarbeit mit Frau Prof. Dr. Trauzettel-Klosinski, Frau Prof. Dr. Xuan Nhung Nguyen und Frau Dr. Elke Altpeter konzipiert und von selbigen betreut. Sowohl die Daten-Recherche, die Durchführung der Versuche & Datenerhebung, sowie die statistische Auswertung wurden von mir selbst vorgenommen.

Ich versichere zudem, dass ich die vorliegende Dissertation nur in diesem und in keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe. Dem aktuellen Promotionsverfahren gehen keine gescheiterten Promotionsverfahren voraus.

Tübingen, den 03.09.2014

Tobias Marx

## 11. Danksagung

Zuerst möchte ich meiner Doktormutter, Frau Prof. Dr. Susanne Trauzettel-Klosinski, die mir diese Arbeit erst ermöglichte, und dem gesamten Team der Sehbehindertenambulanz Tübingen, das mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand, bedanken: bei meinen beiden äußerst hilfsbereiten Betreuerinnen Frau Prof. Dr. Nhung X. Nguyen und Frau Dr. Elke Altpeter, den Orthoptistinnen Angelika Cordey, Cornelia Gehrlich und jene, die ich nur flüchtig kennen lernen durfte.

Ein besonderer Dank gilt außerdem jenen Menschen, ohne deren Unterstützung ich diese Arbeit nicht zustande gebracht hätte: meinen Eltern, meiner Schwester, meiner Familie.

Darüber hinaus möchte ich Aline Naumann danken, die mir bei der statistischen Auswertung der Studie zur Seite stand.

Ein weiteres Wort des Dankes gebührt Herrn Dr. Manfred Mackeben für seine Anregungen, Maurice Jordan für seine konstruktiven Vorschläge, Julia Grünwald, die mich in Fragen der Statistik unterstützte und natürlich all jenen, die ich hier ohne böse Absicht vergessen habe.

Auch die gesamten Studienteilnehmer möchte ich nicht vergessen und mich herzlich bei ihnen bedanken.

Ohne Sie alle wäre diese Arbeit ebenfalls nicht möglich gewesen. Ich habe Ihnen/euch viel zu verdanken.