

**Technische
Fachhochschule
Berlin**
University of Applied Sciences

TFH

**Augenoptik/ Optometrie
im Fachbereich VII**

Diplomarbeit

Funktional-Optometrie

**Erklärung der Wirkungsweise visueller Übungen im
Hinblick auf die Physiologie des Sehens**

vorgelegt von

Carmen Koch

Betreuer: Prof. Peter Moest

Zweitgutachterin: Prof. Brigitte Krimpmann-Rehberg

Berlin, September 2002

Inhaltsübersicht

Funktional-Optometrie

Erklärung der Wirkungsweise visueller Übungen im Hinblick auf die Physiologie des Sehens

Inhaltsübersicht.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
1. Einleitung.....	1
2. Theoretische Grundlagen.....	3
3. Themenrelevante Begriffsdefinitionen.....	101
4. Methodische Vorgehensweise.....	129
5. Erklärung und Diskussion der Übungen.....	133
6. Schlussteil.....	230
Literatur- und Quellenverzeichnis.....	234
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	IX

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	2
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Ursprung des Visualtrainings (Vision Therapy)	3
2.2	Erkenntnisse zur Augenbewegung	5
2.2.1	Haltefunktion (Fixation/ position maintenance)	6
2.2.2	Sprungbewegungen (Saccaden)	8
2.2.3	Blickfolgebewegungen (Pursuit Eye Movements).....	17
2.2.4	Augenbewegungen beim Lesen	21
2.3	Erkenntnisse zur Akkommodation.....	25
2.3.1	Unschärfebedingte Akkommodation	25
2.3.2	Ruhezustand der Akkommodation.....	32
2.4	Erkenntnisse zur Vergenz	43
2.4.1	Tonische Vergenz	43
2.4.2	Akkommodative Vergenz	50
2.4.3	Fusionale Vergenz.....	58
2.5	Erkenntnisse zum visuellen Informationsverarbeitungsprozess	61
2.5.1	Visual-spatial skills („visuell-räumliche Verarbeitungsfähigkeit“). 63	
2.5.2	Visual analysis skills („Verarbeitungsfähigkeit visueller Informationen“)	72
2.5.3	Visual-motor integration skills („Auge-Bewegungs-Koordinationsfähigkeit“)	79
2.5.4	Auditory-visual integration skills („Auge-Ohr-Koordinationsfähigkeit“)	89
2.6	Erkenntnisse zum Aufbau der Netzhaut und der Reizweiterleitung .91	
2.6.1	Aufbau	91
2.6.2	Reizweiterleitung.....	93
2.6.3	Binokularer Wettstreit (binocular Rivalry).....	99
3	Themenrelevante Begriffsdefinitionen	101
3.1	Regelkreise: Efferenz- und Reafferenzprinzip.....	101
3.2	Lernfähigkeit bzw. Adaptation.....	103

3.3	Biofeedback.....	105
3.4	Open- und Close-Loop Bedingungen.....	106
3.5	Vestibuloocular-Reflex.....	107
3.6	Propriozeptoren.....	108
3.7	Motor overflow	109
3.8	Z-Achse.....	109
3.9	SILO- bzw. SOLI- Effekt.....	110
3.10	Physiologische Diplopie.....	113
3.11	Exzentrizität.....	114
3.12	Phorie.....	115
3.13	Orthostellung	115
3.14	Orthophorie	116
3.15	Eso-Phorie	116
3.16	Exo-Phorie.....	116
3.17	Vergenz-Ruhestellung.....	116
3.18	Ruhestellungsfehler	116
3.19	Heterophorie/ Winkelfehlsichtigkeit.....	117
3.20	Fixationsdisparation.....	117
3.21	Eso-Fixationsdisparation	118
3.22	Exo-Fixationsdisparation.....	118
3.23	Fixation disparity	119
3.24	AC/A Ratio	119
3.25	CA/C Ratio.....	120
3.26	Fusionale Vergenzreserven.....	122
3.27	Positive/ negative relative Akkommodation.....	123
3.28	Indirekte fusionale Vergenzreserven.....	124
3.29	Flexibilität	124
3.30	Anpassungsfähigkeit	125
3.31	Konvergenzexzess (convergence excess).....	126
3.32	Konvergenzinsuffizienz (convergence insufficiency).....	126
3.33	Divergenzexzess (divergence excess).....	127
3.34	Divergenzinsuffizienz (divergence insufficiency)	127
3.35	Akkommodationsexzess (accomodation excess)	127
3.36	Akkommodationsinsuffizienz (accommodation insufficiency).....	128
4	Methodische Vorgehensweise	129

5	Erklärung und Diskussion der einzelnen Übungen	133
5.1	O O-Divergenz- und Konvergenz-Übung	133
5.1.1	<i>Benötigte Übungsutensilien</i>	<i>133</i>
5.1.2	<i>Durchführung der Übung.....</i>	<i>134</i>
5.1.3	<i>Angesprochene Funktionen und Hintergründe</i>	<i>135</i>
5.1.4	<i>Wichtige Größen und Distanzen</i>	<i>146</i>
5.1.5	<i>Geeignete Zielpersonen.....</i>	<i>148</i>
5.1.6	<i>Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden.....</i>	<i>150</i>
5.1.7	<i>Ziel der Übung</i>	<i>151</i>
5.2	A A-Divergenz- und Konvergenz-Übung.....	152
5.2.1	<i>Benötigte Übungsutensilien</i>	<i>152</i>
5.2.2	<i>Durchführung der Übung.....</i>	<i>153</i>
5.2.3	<i>Angesprochene Funktionen und Hintergründe</i>	<i>153</i>
5.2.4	<i>Wichtige Größen und Distanzen</i>	<i>161</i>
5.2.5	<i>Geeignete Zielpersonen.....</i>	<i>162</i>
5.2.6	<i>Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden.....</i>	<i>162</i>
5.2.7	<i>Ziel der Übung</i>	<i>163</i>
5.3	MacDonald.....	164
5.3.1	<i>Benötigte Übungsutensilien</i>	<i>164</i>
5.3.2	<i>Durchführung der Übung.....</i>	<i>164</i>
5.3.3	<i>Angesprochene Funktionen und Hintergründe</i>	<i>165</i>
5.3.4	<i>Wichtige Größen und Distanzen</i>	<i>169</i>
5.3.5	<i>Geeignete Zielpersonen.....</i>	<i>169</i>
5.3.6	<i>Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden.....</i>	<i>170</i>
5.3.7	<i>Ziel der Übung</i>	<i>171</i>
5.4	Brock-Schnur	172
5.4.1	<i>Benötigte Übungsutensilien</i>	<i>172</i>
5.4.2	<i>Durchführung der Übung.....</i>	<i>172</i>
5.4.3	<i>Angesprochene Funktionen und Hintergründe</i>	<i>175</i>
5.4.4	<i>Wichtige Größen und Distanzen</i>	<i>190</i>
5.4.5	<i>Geeignete Zielpersonen.....</i>	<i>191</i>
5.4.6	<i>Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden.....</i>	<i>191</i>
5.4.7	<i>Ziel der Übung</i>	<i>192</i>
5.5	Sprungbewegungs-Übungen	193
5.5.1	<i>Benötigte Übungsutensilien</i>	<i>193</i>

5.5.2	<i>Durchführung der Übung</i>	196
5.5.3	<i>Angesprochene Funktionen und Hintergründe</i>	197
5.5.4	<i>Wichtige Größen und Distanzen</i>	207
5.5.5	<i>Geeignete Zielpersonen</i>	209
5.5.6	<i>Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden</i>	209
5.5.7	<i>Ziel der Übung</i>	210
5.6	Akkommodations Rock $\pm 2,0$ dpt (mono)	211
5.6.1	<i>Benötigte Übungsutensilien</i>	211
5.6.2	<i>Durchführung der Übung</i>	211
5.6.3	<i>Angesprochene Funktionen und Hintergründe</i>	212
5.6.4	<i>Wichtige Größen und Distanzen</i>	216
5.6.5	<i>Geeignete Zielpersonen</i>	218
5.6.6	<i>Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden</i>	218
5.6.7	<i>Ziel der Übung</i>	219
5.7	Akkommodations Rock $\pm 2,0$dpt (bino)	220
5.7.1	<i>Benötigte Übungsutensilien</i>	220
5.7.2	<i>Durchführung der Übung</i>	220
5.7.3	<i>Angesprochene Funktionen und Hintergründe</i>	221
5.7.4	<i>Wichtige Größen und Distanzen</i>	227
5.7.5	<i>Geeignete Zielpersonen</i>	227
5.7.6	<i>Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden</i>	228
5.7.7	<i>Ziel der Übung</i>	229
6	Schlussteil	230
6.1	Zusammenfassung	230
6.2	Ausblick	232
	Literatur- und Quellenverzeichnis	234
	Abkürzungsverzeichnis	VII
	Abbildungsverzeichnis	IX

1 Einleitung

Durch das heutzutage verstärkte Gesundheitsbewusstsein wächst zunehmend das Interesse, Fehlsichtigkeiten und auch andere mit dem Sehen verbundene Beschwerden vorzubeugen. Des Weiteren steigt das Bedürfnis, Maßnahmen zu finden, welche die Leistungsfähigkeit des visuellen Systems steigern könnten. Hierdurch wäre es dann gleichzeitig vielleicht auch möglich, vorhandene Sehprobleme „alternativ“ zu behandeln. In der klassischen Augenoptik, wie sie derzeit in Deutschland überwiegend gelehrt wird, findet man hierzu jedoch keine oder nur wenige Antworten.

Dabei gab es die ersten Ansätze zu „alternativen Behandlungsmöglichkeiten“ schon Ende des 19. Jahrhunderts. Man entwickelte z.B. Leitfäden für die Strabismus-Therapie. Zu Beginn waren die Erfolge jedoch noch mäßig und die Behandlungsmöglichkeiten wurden nie in dem Maße wissenschaftlich anerkannt, dass ihre Ausübung unterrichtet oder ein Berufsabschluss darin möglich gewesen wäre. Die Effektivität der Behandlungen nahm mit der Entwicklung neuer Techniken und dem größeren Wissen über physiologische Vorgänge schnell zu. In Deutschland kam es trotz dieser Fortschritte nie zum wirklichen Durchbruch dieser Verfahren. Auch die Arbeit der Orthoptistinnen, die früher ebenfalls einen kleinen Teil der Therapiemöglichkeiten durchgeführt hatten, beschränkt sich heute hauptsächlich noch auf die Diagnose der binokularen Fähigkeiten.

In Amerika führten die nachweisbaren Erfolge und das gestiegene Interesse hingegen dazu, dass Anfang der siebziger Jahre damit begonnen wurde, die Ausübung von **Visualtraining/ Vision Therapy (VT)** zu unterrichten und diese Qualifikation auch zu bescheinigen. Die ersten beiden Organisationen waren das „College of Optometrists in Vision Development“ (St. Louis) und die Abteilung für „Binocular and Perception of the American Academy of Optometry“. Etwa zur gleichen Zeit begann man, VT auch in die Lehrpläne der Colleges of Optometry aufzunehmen. Heute ist sowohl die Theorie als auch die praktische Ausübung der Diagnose und Behandlung von visuellen Fehlfunktionen fester Bestandteil aller

Colleges of Optometry. Die wissenschaftliche Anerkennung führte sogar dazu, dass in 43 Staaten der USA die Ausübung von VT, Orthoptik oder eines anderen Synonyms in die Definition des Berufsbildes des Optometristen aufgenommen wurde.¹

Mittlerweile kommt es auch in Deutschland aufgrund des, wie anfangs erwähnt, gewachsenen Gesundheitsbewusstseins zu einer erhöhten Nachfrage nach diesen Methoden. Doch das Wissen über sinnvolle Maßnahmen ist noch wenig verbreitet und außerdem sehr umstritten, so dass eine flächendeckende Nutzung der Anwendung eher mühsam vorangeht. Erst seit April 2002 hat die WVAO eine einzige Möglichkeit in Deutschland geschaffen, durch die Teilnahme an mehreren Seminaren über die Anwendung „alternativer“ Behandlungsmöglichkeiten, die Zertifizierung zum Funktional-Optometristen zu erlangen.² Auch die Zertifizierung hat aber bisher keine berufsrechtlichen Konsequenzen. Das Gesprächsthema VT und die Diskussionen darüber wecken jedoch gleichfalls immer stärker das Interesse mehr über die funktionale und behavioristische Auffassung des Begriffes Sehen zu erfahren.

1.1 Zielsetzung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, einen umfassenden Einblick in die funktionale und behavioristische Thematik des Begriffes Sehen zu geben. Der erste Teil der Arbeit fasst aus diesem Grunde die bisherigen Erkenntnisse und Forschungsergebnisse zu den einzelnen Komponenten des Sehens und der Wahrnehmung zusammen. Der inhaltliche Schwerpunkt allerdings liegt im zweiten Teil der Diplomarbeit. Dieser beschäftigt sich mit der Analyse der im VT eingesetzten Übungen. Hierbei gilt es, die Wirkungsweise der Übungen im Hinblick auf die Physiologie des Sehens zu untersuchen und so die Möglichkeit zu bieten, deren Effektivität nachzuvollziehen. Zu diesem Zwecke werden zu Beginn die Durchführung und das benötigte Übungsmaterial erläutert. Danach erfolgt eine Diskussion der mit der Übung angesprochenen Sehfunktionen, und abschließend sind die zu erreichenden Ziele aufgeführt.

¹ Press, L.: Applied concepts in vision therapy, St Louis (Mosby) 1997, S.5

² Mündliche Mitteilung von Herrn Glaser, WVAO-Geschäftsführer, 27.08.2002

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Ursprung des Visualtrainings (Vision Therapy)

Schon 1852 forschten Reymond und auch 1854 Mac-Kenzie nach einer nicht invasiven Behandlungsmöglichkeit für Strabismus Patienten. Den ersten Grundbaustein legte allerdings Javal, ein französischer Ophthalmologe, als er Ende des 19. Jahrhunderts die ersten standardisierten Vorschläge zur Strabismustherapie machte. Kurze Zeit später erkannten die Ophthalmologen, dass in den meisten Fällen der Behandlungen von Augenmuskelungleichgewichten nicht der angebliche schwache Muskel aufgebaut wird, sondern dass die Therapie eher die Signale zur Steuerung der Muskeln veränderte.

1928 legte der amerikanischer Optometrist A. M. Skeffington mit „Procedure in ocular examination“ ein weiteres und bis heute eigentlich das wichtigste Fundament für optometrisches Visualtraining. Er entwarf ein breites Konzept über die visuelle Wahrnehmung und deren Anpassungsfähigkeit an Umwelteinflüsse.³

Skeffington entwickelte ein Modell, welches Sehen als die Schnittmenge aus vier Unterfunktionen zusammenfasste (Abbildung 1):⁴

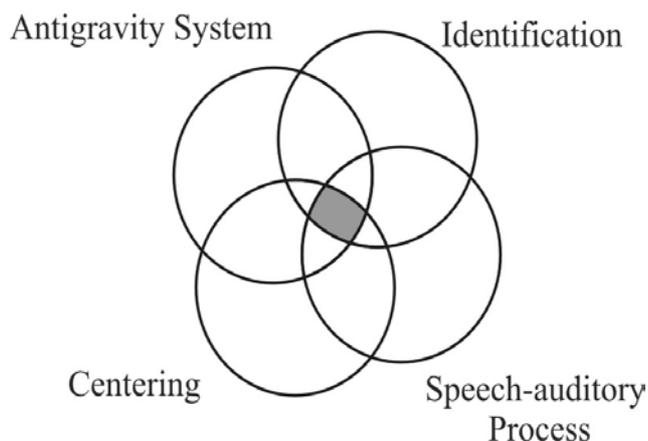


Abbildung 1: Modell nach Skeffington

³ Press, L.: Applied concepts in vision therapy, St Louis (Mosby) 1997, S.2f.

⁴ Collier, S.: Seminarunterlagen Visualtraining I, WVAO-Seminar Berlin, 27-28.5.2000, S.4ff.

Antigravity System:

Unter dem „Antigravity System“ versteht Skeffington eine Sammelstelle für Informationen bezüglich des Gleichgewichtes und der eigenen Position im Raum.⁵ Dieses System, so beschreibt Skeffington, wird benötigt, um die Frage zu beantworten: „Wo bin ich?“. Es liefert die Grundlage, auf welcher man sich orientiert und räumliche Zuordnungen macht. Hauptinformationsquelle für das „Antigravity System“ sind die Augenbewegungen.

Centering

Als „Centering“ Prozess definiert Skeffington das Aufsuchen eines im Raum befindlichen Objektes, sowie das Ausrichten des Körpers, des Kopfes, der Augen und der Aufmerksamkeit auf etwas, was dem Informationsprozess dient. Der „Centering“ Prozess ist eng verknüpft mit der räumlichen Organisation.⁶ Nach Skeffington dient er der Beantwortung der Frage: „Wo ist es?“ Die wichtigste Komponente liefert im „Centering“ Prozess das binokulare Sehen.

Identification

Den „Identification“ Prozess benötigt man nach Skeffington, um dem Betrachteten einen Sinn zu geben. Damit man Auskunft auf die Frage: „Was ist es?“ bekommen kann, ist erforderlich, dass das Objekt bestimmt wird. Details aus dem Gesamtbild müssen differenziert und unterschieden werden. Hierzu ist man nur in der Lage, wenn das Bild hinreichend scharf auf der Netzhaut abgebildet wird.⁷ Durch die Akkommodation wird der „Identification“ Prozess erst ermöglicht.

Speech-auditory Process

Skeffington beschreibt unter dem „Speech-auditory Process“ alle weiteren Vorgänge, die zur Analyse und zur Übertragung des Gesehenen gehören.⁸ Es dient der Beantwortung der Frage: „Wie ist es?“ und fasst alle Prozesse der Verarbeitung und Wahrnehmung zusammen.

⁵ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.34f.

⁶ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.34f.

⁷ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.34f.

⁸ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.34f.

Auf dieser Grundlage entwickelte Skeffington das **Optometric Extension Program (OEP)**, welches bis heute dem Visualtraining als Grundlage dient.

Jede Trainingseinheit im Visualtraining wird nach dem OEP deshalb aus vier Übungen aufgebaut. Man erhofft sich durch das Ansprechen jeder dieser Unterfunktionen, einen höheren Trainingserfolg, welcher auch langfristig erhalten bleibt.

Die in jeder Trainingseinheit im Einzelnen angesprochenen Funktionen sind also:⁹

- Augenbewegungen (Motorik)
- Binokularsehen (Vergenz)
- Akkommodation
- Verarbeitung/ Wahrnehmung.

Um später die Wirkungsweise der Übungen zu erklären, werden nun als Grundlage in den folgenden Kapiteln die bisher gewonnenen Erkenntnisse über die einzelnen Unterfunktionen zusammengefasst.

2.2 Erkenntnisse zur Augenbewegung

Um korrekte Augenbewegungen ausführen zu können, benötigt man zuerst einmal Informationen über den eigenen Aufenthaltsort. „Wo bin ich?“ so beschreibt Skeffington den 1. Kreis. Zur Bestimmung des eigenen Standortes sind Informationen erforderlich wie: die Lage unserer Augen in den Augenhöhlen, das Verhältnis der Augenhöhlen zum Kopf, die Lagebeziehung zwischen Kopf und Körper und letzten Endes, das Wissen über die Position des Körpers zu den wirkenden Gravitationskräften. Erst danach wird es möglich, das sich im Raum befindende Objekt zu bestimmen, es zu fixieren und zu verfolgen.

Das Augenbewegungssystem ist sehr eng mit dem vestibulären und dem propriozeptiven System (Kapitel 3.5 und Kapitel 3.6) des Körpers verbunden. Das Bewegungssehen des Menschen beruht auf einem Reafferenzprinzip (Kapitel 3.1).

⁹ Collier, S.: Seminarunterlagen Visualtraining I, WVAO-Seminar Berlin, 27-28.5.2000, S.2ff.

Widersprüchliche Informationen der Gleichgewichtsorgane, der Augen und der Rezeptoren in der Haut und dem Körper führen zu Schwindel, welcher häufig verbunden ist mit ruckartigen Augenbewegungen (Nystagmus).¹⁰

2.2.1 Haltefunktion (Fixation/ position maintenance)

Aufgrund der Haltefunktion unserer Augen, welche im starken Maße beeinflusst wird durch den Vestibuloocular-Reflex (Kapitel 3.5), sind wir in der Lage, einen unbewegten Objektpunkt foveal abzubilden und diesen zur weiteren Betrachtung dort festzuhalten.¹¹ Die Haltefunktion wird für alle Arten von Augenbewegungen benötigt. Sie verdient deshalb auch eine besondere Beachtung. In Wahrheit ist die Bezeichnung etwas irreführend, denn auch während der Fixation („starrer Blick“) finden kleinste Bewegungen statt. Gay et al. unterscheidet die „micro“ Bewegungen, welche nur mit speziellen Instrumenten messbar sind, in „rapid flicks“ (wahrscheinlich verursacht durch das saccadische System) und in „slow drifts“ (wahrscheinlich verursacht durch das Blickfolge- [pursuit] System).¹² Diese kleinen Augenbewegungen scheinen zum einen dazu zu dienen, Fixationsfehler zu korrigieren und somit das Zielobjekt exakt in die Fovea zu führen, und zum anderen ist es wahrscheinlich, dass man durch sie eine retinale Adaptation/ Ermüdung verhindern kann.

Zum groben Überprüfen der Haltefunktion der Augen schlägt Gay vor, den Probanden aufzufordern, zuerst monokular einen Objektpunkt in 40cm Entfernung, danach auch in 6m Entfernung, zu fixieren. Der Proband sollte dabei in der Lage sein, das Objekt mindestens fünf Sekunden lang anzublicken. Während dieser Zeit sollten keinerlei sichtbare Bewegungen der Augen zu beobachten sein.

Um eine Fixation aufrechtzuerhalten, muss die Aufmerksamkeit auf das zu fixierende Objekt gerichtet sein. Kinder, die das Zielobjekt zu schnell verlieren bzw. loslassen, demonstrieren damit eine niedrige Haltefunktion. Diese Kinder verhalten sich auch im täglichen Leben auffällig, da ein bestimmtes Objekt nur

¹⁰ Christner, J.: Abiturwissen: Nerven, Sinne und Hormone, Stuttgart 1993, S.56f.

¹¹ Silbernagel, S., Despopoulos, A.: Taschenbuch der Physiologie, Stuttgart 1987, S. 298

¹² Griffin, J.: Binocular anomalies procedures for vision therapy, 2nd edition, New York 1982, S.370

kurzzeitig ihre Beachtung findet, so dass ständige Blickwechsel die Folge sind. Ein derartiges Verhalten ist meistens mit Aufmerksamkeitsdefiziten und Impulsivität verbunden. Beim Testen der Folgebewegungen (Kapitel 2.2.3) wird dieses Verhalten besonders deutlich, da hierbei hauptsächlich die Haltefunktion gefragt ist.

Die Abbildung 2 zeigt die mittels Eye-Trac aufgezeichneten Augenbewegungen verschiedener Personen während der Beobachtung eines unbewegten Objektpunktes. Person A weist eine normale Haltefunktion auf. Person B benötigt hingegen einige Drifts um die Fixation aufrechtzuerhalten. Seine Haltefunktion würde man aber noch als normal einstufen. Bei Person C zeigt die Haltefunktion deutliche Defizite; hier würde man von einer schwachen Haltefunktion sprechen.

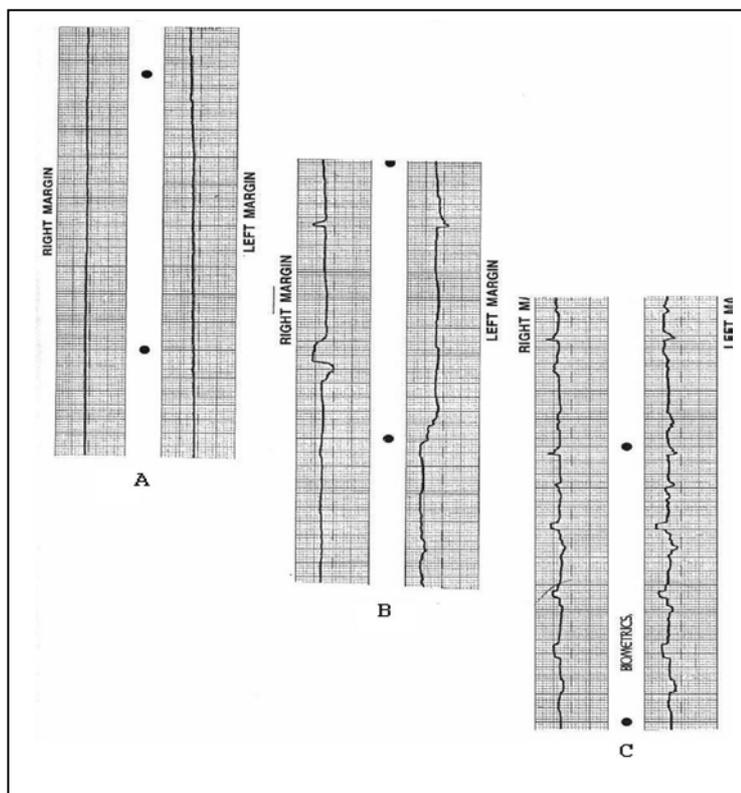


Abbildung 2:
aufgezeichneten
Augenbewegungen mittels
Eye-Trac während des
Fixierens eines unbewegten
Objektpunktes.¹³

Eine eingeschränkte Haltefunktion kann eine Folge sein von:

- Konzentrationsmangel
- Ermüdung
- Wirkung von Medikamenten
- Nystagmus
- Pathologischen Gründen.

¹³ Griffin, J.: Binocular anomalies procedures for vision therapy, 2nd edition, New York 1982, S.371

Außer im Falle von pathologischen Ursachen ist Griffin der Ansicht, dass die Haltefunktion der Augen oft durch funktionale Trainingsübungen verbessert werden kann.¹⁴

2.2.2 Sprungbewegungen (Saccaden)

Saccaden sind schnelle Bewegungen des Auges von einem Fixierpunkt zu einem anderen.^{15 16} Sie sind die schnellsten somatischen Bewegungen, die durch unser muskuläres System hervorgerufen werden können. Für eine Saccade von z.B. 40° benötigt man ca. 100ms, wohingegen eine Bewegung des Unterarms um 40° im schnellsten Fall ca. 300ms dauert.¹⁷

Saccaden werden im Allgemeinen als ballistische Bewegungen angesehen, deren Bahn nach Beginn der Bewegung nicht mehr beeinflusst werden kann. Saccadische Bewegungen unterteilt man nach ihrer Größe in feine (fine) bzw. grobe (gross) Saccaden. Feine Saccaden ermöglichen beim Lesen eine Serie von Fixationen entlang einer Schriftzeile auszuführen. Größere, gröbere Saccaden sind typisch für das tägliche Sehen, wenn sich die Aufmerksamkeit von einem Objekt auf ein anderes zuwendet. Unter natürlichen Bedingungen überschreiten Saccaden gewöhnlich nicht einen Winkel von 20° und die kleinsten ausführbaren Sprungbewegungen liegen zwischen 2' und 5' (Yarbus 1967).¹⁸ Etwa 40ms¹⁹ (bzw. 35-85ms²⁰) bevor die saccadische Bewegung ausgelöst wird, beginnt die Unterdrückung (saccadic suppression) bzw. Auslassung (omission) des Seheindrucks.²¹ Sie dient zum Schutz, da man ansonsten aufgrund der hohen Geschwindigkeit unscharfe und verschmierte Bilder wahrnehmen würde. Die Unterdrückung des Seheindrucks kann bis zu 200ms nach Beendigung der Einstellbewegung anhalten. Dabei verläuft die prä-saccadische Verringerung der Wahrnehmungsfähigkeit steiler als die postsaccadische Wiederherstellung, wie in

¹⁴ Griffin, J.: Binocular anomalies procedures for vision therapy, 2nd edition, New York 1982, S.372

¹⁵ Solan, H.: Eye movements problems in achieving readers: un update, Am J Optom & Physiol Optics, 1985, Vol.62, S. 812-819

¹⁶ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.216

¹⁷ Monty, R., Senders, J.: Eye movements and psychological processes, New Jersey 1976, S.39

¹⁸ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.216

¹⁹ Griffin, J.: Binocular anomalies procedures for vision therapy, 2nd edition, New York 1982, S.346

²⁰ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 121

²¹ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 121

Abbildung 3 dargestellt. Während des Zeitraums der eigentlichen Augenbewegung ist die Wahrnehmungsfähigkeit nahezu auf „0“ abgesunken.

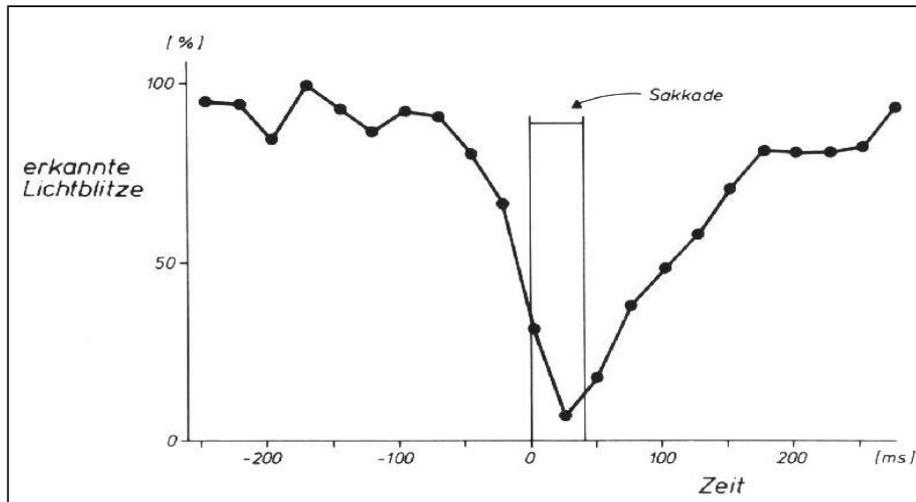


Abbildung 3: Zeitverlauf der saccadischen Suppression. Vor, während und nach der Saccade wurden Lichtblitze dargeboten, die von der Person zu erkennen waren.²²

Die prä- und postsaccadischen Unterdrückungen des Seheindrucks widersprechen der Theorie, dass der Verwischungseffekt alleine für die Suppression verantwortlich sei. Eine Suppression auf Grund des Verwischungseffektes könnte nicht so früh vor der eigentlichen Bewegung einsetzen und danach noch anhalten. Man geht deshalb davon aus, dass die kortikalen Efferenzen (Kapitel 3.1) zum Start einer Saccade gleichzeitig einen inhibitorischen Effekt auf die Verarbeitungszentren ausüben und die Wahrnehmung so blockiert wird.²³

Ähnliche Suppressionseffekte wie bei Saccaden sind auch beim Lidschluss (blinks) zu verzeichnen. Die Aufnahmeempfindlichkeit nimmt hier schon 100-150ms vor Einsetzen des Lidschlusses ab. Die Empfindlichkeit sinkt dann bis zum vollständigen Schließen des Lides nahezu auf „0“ und erreicht erst ca. 200ms danach wieder ihren Ausgangswert.²⁴

Saccaden treffen, wenn sie größer als 10° sind, in der Regel das Ziel nicht mit der ersten, sondern erst mit einer zweiten (Korrektur-) Saccade.²⁵ Bei kleinen Amplituden (bis 10°) treten meist „Überschuß-Saccaden“(overshoots), bei größeren

²² Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S.121

²³ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S.122

²⁴ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S.123

²⁵ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 14

Amplituden (größer 10°) „Unterschuß-Saccaden“ (undershoots) auf, die dann durch eine „Korrektur-Saccade“ in das Ziel gebracht werden.²⁶ Die erste Saccade überbrückt dabei ca. 90% des Gesamtweges, die Korrektur-Saccaden den Rest.

Aufgrund von Forschungsergebnissen entwickelten Becker und Fuchs (1969) folgende Hypothese: Saccaden über einen Winkel von mehr als 15° werden als „Bündel“ („package“) von zwei Saccaden vorprogrammiert. Den wahrscheinlichen Ablauf einer statischen Saccade (aus dem Ruhezustand in den Ruhezustand) beschreiben Becker und Fuchs und auch Mester²⁷ wie folgt:

1. „Nach einer Latenz von ca. 230ms erfolgt eine große Saccade über ca. 90% des Gesamtweges zum Ziel.“²⁸ Die Augen beschleunigen dabei sehr schnell, so dass sie das Maximum der Geschwindigkeit von ca. $550^\circ/\text{s}$ auf der Hälfte der Flugbahn erreicht haben. Danach nimmt die Geschwindigkeit in gleicher Art und Weise wieder ab, bis die Augen auf der Zielposition gelandet sind.²⁹
2. „Im Anschluss an diese Saccade erfolgt in einem Zeitraum von 70ms eine Fehlermessung durch das okulomotorische System (Restfehlermessung).“
3. Es wird über Fortsetzung oder Abbruch des „package“-Programmes entschieden: Das okulomotorische System antizipiert einen Fehler von 10% der Gesamtamplitude in gleicher Richtung und vergleicht ihn mit dem Restfehler. Bei großer Differenz oder Vorzeichendifferenz der Fehlerwerte wird das vorprogrammierte Bündel unterbrochen.
4. Wird das Programm akzeptiert, erfolgt die zweite Saccade mit einer Latenz von ca. 130-160ms zum Ziel.
5. Wird das Programm unterbrochen, so gibt es zwei Alternativen:
 - Tritt der Fehler am Anfang des 70ms Messintervalls ein, so erfolgt eine zweite Saccade mit normaler Latenz von ca. 260ms.
 - Tritt der Fehler erst gegen Ende des 70ms Messintervalls ein, folgt der vorprogrammierten kurzen Latenz von ca. 130-160ms eine normale, so dass die Gesamtlatenz ca. 390 ms beträgt.“³⁰

²⁶ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 117f.

²⁷ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 118

²⁸ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 22

²⁹ Monty, R., Senders, J.: Eye movements and psychological processes, New Jersey 1976, S.39

³⁰ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 22

Zwischen der Genauigkeit und der Latenz einer Saccade konnte Becker keinen Zusammenhang finden.

Die Gründe, warum mit zunehmender Amplitude der Fehler der Erstsaccade zunimmt, liegt nach Parablanc, Masse und Echallier darin begründet, dass bei kleiner Exzentrizität (Kapitel 3.11) das Auflösungsvermögen des engeren fovealen Bereiches ausreicht, um die gewünschte genaue Informationsaufnahme durchzuführen. Bei größeren Exzentrizitäten liegt der anvisierte Zielpunkt so weit außerhalb der Fovea, dass vermutlich unter anderem, wegen der Größe der rezeptiven Felder (Kapitel 2.6.2), eine größere saccadische Korrektur nötig ist (retinooptische Theorie).³¹

Während des Heranwachsens eines Kindes kommt es zu einer stetigen Verbesserung der saccadischen Bewegungen. Vorschüler und junge Schulkinder führen diese meistens mit wenig Genauigkeit aus. Sie haben größere Probleme eine konstante Konzentration aufzubringen. Stattdessen zeigen sie eher eine Bewegung, welche von Kopf und Körper unterstützt wird. Sie sind meist zappelig und benötigen eine größere motorische Unterstützung (motor overflow; Kapitel 3.7) als ältere Kinder oder Erwachsene. Klinisch kann man sagen, dass die Fähigkeit, exakte und genau abgestimmte Augenbewegungen mit minimaler Kopfunterstützung und ohne motor overflow, spätestens ab einem Alter von 8-9 Jahren gegeben sein müsste.³²

Um eine Saccade auszuführen, ist es notwendig, dass das Objekt des Interesses gesucht, begriffen und losgelassen wird. Dieser Prozess wird im Amerikanischen als „reach-grasp-release information-processing sequence“ bezeichnet.

Um ein Ziel im Raum lokalisieren und eine exakte Fixation ausführen zu können, ist die Funktion des Suchens und Erlangens („reach“) nötig. Die Fähigkeit, dieses Ziel dann in einer kontinuierlichen Fixation zu halten und nicht gleich zum nächsten Objekt weiterzugehen, erfordert die Funktion des Greifens („grasp“). Denn nur, wenn das Zielobjekt „gegriffen“ wird, kann es untersucht werden und der Betrachter kann Informationen über das Objekt erhalten und es so im übertragenen Sinne „begreifen“. Bevor nun ein neues Objekt als Ziel des Interesses angesteuert

³¹ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 118

³² Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.218f.

werden kann, muss die Aufmerksamkeit von dem fixierten Objekt getrennt werden. Man spricht nun vom Prozess des Lösens („release“).³³

Auch in der Neurophysiologie unterscheidet man beim willentlichen Blickwechsel folgende Stufen:

1. „Fixation oder Haltefunktion des Auges:
(...)Während der Fixation ist die Aufmerksamkeit auf das Fixationsziel gerichtet. Dieser Zustand der Fixation unterscheidet sich von demjenigen bei dem die Augen einfach in Ruhe sind,
2. Lösen der Fixation:
Dies ist die erste (notwendige) Voraussetzung für die Durchführung eines Blicksprunges. (...)
3. Entscheidung:
Sofern es sich um einen willentlichen Blicksprung handelt ..., muß vor Beginn der Augenbewegung eine Entscheidung voran gehen.
4. Bestimmung von Richtung und Größe der Saccade:
Da die zielgerichteten Blicksprünge vorprogrammiert sind, müssen die Zielkoordinaten vor Beginn der Bewegung mit Hilfe des retinalen Bildes des Zielobjektes festgelegt werden [„retinooptische Theorie“]. Man muss davon ausgehen, dass dabei eventuell die Richtung und die Größe getrennt bestimmt werden.
5. Nach Fertigstellung des motorischen Programms können so genannte Motorneuronen in den Augenmuskelkernen aktiviert werden und schließlich die Augenmuskeln in Bewegung setzen.“³⁴

Neuere „spatiotopische“ Theorien der Saccadenprogrammierung gehen davon aus, dass neben retinalen vorwiegend „räumlich-extraretinale“ Informationen über die Augenpositionen für die Programmierung entscheidend sind.³⁵ Dies würde bedeuten, dass eine verbesserte räumliche Vorstellung (visuo-spatial localization) zu einer Verbesserung der Genauigkeit von Saccaden größerer Amplitude führen könnte.

³³ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.220

³⁴ Fischer, B.: Neurophysiologische Grundlagen willkürlicher Zielgerichteter Blicksprünge, Bücherei des Augenarztes Band 121 Augenbewegung und visuelle Wahrnehmung, Stuttgart 1990, S.44-46

³⁵ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 116

Die Dauer und die Geschwindigkeit einer Saccade sind abhängig von:

◆ der Amplitude (Größe der Saccade)

Im Mittel gibt Fey folgende Werte an:³⁶:

- bei 10°-Saccaden ca. 350°/s
- bei 20°-Saccaden ca. 500°/s
- bei 40°-Saccaden ca. 550°/s

Zur Höchstgeschwindigkeit V_{\max} und zur Geschwindigkeit bei kleineren Saccaden (10°, 5°, 10°) findet man von weiteren Autoren die in Tabelle 1 aufgeführten Daten:

Author	V_{\max}	V_{10°	V_{5°	$V_{10'}$
KORNHUBER	600°/s	-	-	-
TRINCKER	450°/s	200-300°/s	150°/s	-
BAHILL/STARK	420-520°/s ²⁾	222-263°/s ¹⁾	-	11-15°/s ¹⁾
SCHAFFITZEL	620°/s	217-348°/s	-	-
SYKA	800°/s	-	-	-
ECKMILLER	800°/s	-	-	-
GRÜSSER	200-600°/s ¹⁾	-	-	-
BECKER, FUCHS	370-580°/s ³⁾	-	-	-
VOSSIUS	305°/s	210°/s	150°/s	-
FUCHS	500-700°/s	-	-	-

Tabelle 1: Winkelgeschwindigkeiten saccadischer Augenbewegungen³⁷

¹⁾ mittlere Geschwindigkeit

²⁾ Höchstgeschwindigkeit bei einer 10°-Amplitude

³⁾ Höchstgeschwindigkeit bei einer 40°-Amplitude

◆ den Lichtverhältnissen

Saccadische Bewegungen im Dunkeln oder bei hellem homogenen Gesichtsfeld haben gegenüber Saccaden zwischen zwei Fixationspunkten eine um 10% erhöhte Dauer und eine um 16% verlangsamte Maximalgeschwindigkeit.³⁸

◆ der Reizstruktur

³⁶ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 15

³⁷ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 119

³⁸ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 15

- ◆ den Aufmerksamkeits- und Ermüdungsprozessen
Wie viel Aufmerksamkeit zum Ausführen der Saccade benötigt wird, kann man durch zusätzliche kognitive (z.B. Rechnen) und motorische Anforderungen während der Ausübung der Saccade überprüfen. Sind keine Automatismen entwickelt worden, so lässt die Fähigkeit, exakte Augenbewegungen auf längere Zeit durchzuführen, schnell nach. Die zusätzlichen Aufgaben sind als potentielle Störfaktoren präsent und verringern so, die für die Augenbewegungen vorhandene Aufmerksamkeit. Ist die Person überfordert, bricht eines der Systeme zusammen und es kommt zum Abbruch oder zum Ausführen der Aufgabe auf einem niedrigeren Leistungsniveau.

Wichtig für die funktionale Betrachtungsweise der saccadischen Augenbewegungen ist natürlich die Fragestellung, ob das saccadische System anpassungsfähig bzw. lernfähig ist. Hierzu veröffentlichte Fey folgende experimentelle Ergebnisse:³⁹

In seinen Versuchen versetzte er während der Ausführung horizontaler Saccaden das Ziel ebenfalls in horizontaler Richtung. Die Experimente fanden in einem abgedunkelten Raum statt. Ziele und Korrekturziele waren schwach leuchtende rote lichtemittierende Dioden (LEDs 2,25cd/m²) von 4,6mm Durchmesser. Die Zielversetzung wurde ca. 10-15ms nach Beginn der Erstsaccade vorgenommen. Fey unterschied vier Versuchseinheiten.

Serie 1: symmetrische Zielversetzung um +10° nach außen.

Während dieses Versuches wurde das Ziel, welches zuerst in einem 40° Winkel aufleuchtete um +10° verschoben, so dass das Korrekturziel dementsprechend 50° von dem eigentlichen Startpunkt entfernt lag. Die Probanden sollten also „Überschuß-Saccaden“ (overshoots) erlernen.

Serie 2: symmetrische Zielversetzung um -10° nach innen.

Entsprach Versuchsordnung eins, das Korrekturziel wurde jedoch um -10° verringert. Es lag damit nur 30° vom Startpunkt entfernt. Dieser Versuch diente zur Untersuchung des Lernprozesses von „Unterschuß-Saccaden“ (undershoots).

³⁹ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 31ff.

Serie 3: asymmetrische Zielversetzung bei Rechtssprüngen um $+10^\circ$ und bei Linkssprüngen um -10° .

Der Proband musste folglich bei Rechtssprüngen overshoots und bei Linkssprüngen undershoots erlernen. Der visuell dargebotene Zielwinkel lag nach rechts 50° und nach links 30° vom eigentlichen Startpunkt entfernt und das Korrekturziel entsprechend jeweils 40° .

Serie 4: asymmetrische Zielversetzung bei Rechtssprüngen um -10° und bei Linkssprüngen um $+10^\circ$.

Entsprach Versuchsordnung drei, jedoch in spiegelverkehrter Ausführung. Der visuell dargebotene Zielwinkel lag nach links 50° und nach rechts 30° vom eigentlichen Startpunkt entfernt.

Alle Versuche wurden in drei Abschnitte gegliedert:

- ◆ Die Vorperiode entsprach 100 Hin- und Rücksaccaden ohne Zielversetzung
- ◆ Trainings- oder Hauptperiode von 200 Hin- und Rücksaccaden mit Zielversetzung
- ◆ Nachperiode mit 100 Hin- und Rücksaccaden wiederum ohne Zielversetzung.

Ein Hin- und Rücksprung dauerte rund fünf Sekunden.

Die Resultate der Versuche waren erstaunlich. Zum einen bemerkte keiner der 20 Versuchspersonen die Zielversetzung, obwohl die Ziele um den drei- bis fünffachen Wert des Unsicherheitsbereiches (10%) versetzt wurden. Das System akzeptierte den für das Erreichen des Ziels notwendigen Korrekturwinkel als eigenen Vorhersagefehler. Fey erklärte dies mit dem vermutlichen Fehlen eines Bezugspunktes.

Des Weiteren konnte er einen Lerneffekt bei allen Versuchspersonen während der Hauptperiode und während der Nachperiode (bedingt durch den negativen Nacheffekt) nachweisen, wenn die Zielversetzung konstant gehalten wurde.

In Abbildung 4 sind die okulomotorischen Lerneffekte in Abhängigkeit von dem „Zuwachswinkel“ bei symmetrischer Zielversetzung in Richtung (Serie 1) oder gegen die Richtung (Serie 2) der Erstsaccade dargestellt. Der Zuwachswinkel hat den Wert Null, wenn nach Darbietung des visuellen Reizes die Augen mit der ersten

Saccade genau an der Stelle eintreffen, an welcher das Ziel dargeboten wurde. Landet die Versuchsperson allerdings rechts von der Zielposition, so ergibt sich ein positiver, landet sie links, ein negativer Wert für den Zuwachswinkel. Dementsprechend kann man auch sagen, dass der Zusatzwinkel bei einer Vergrößerung eines Rechtsprunges (offene Kreise) und bei Verkleinerung eines Linkssprunges (ausgefüllte Kreise) positiv ist. Bei einer Verkleinerung eines Rechtsprunges bzw. Vergrößerung eines Linkssprunges hingegen ist er negativ.

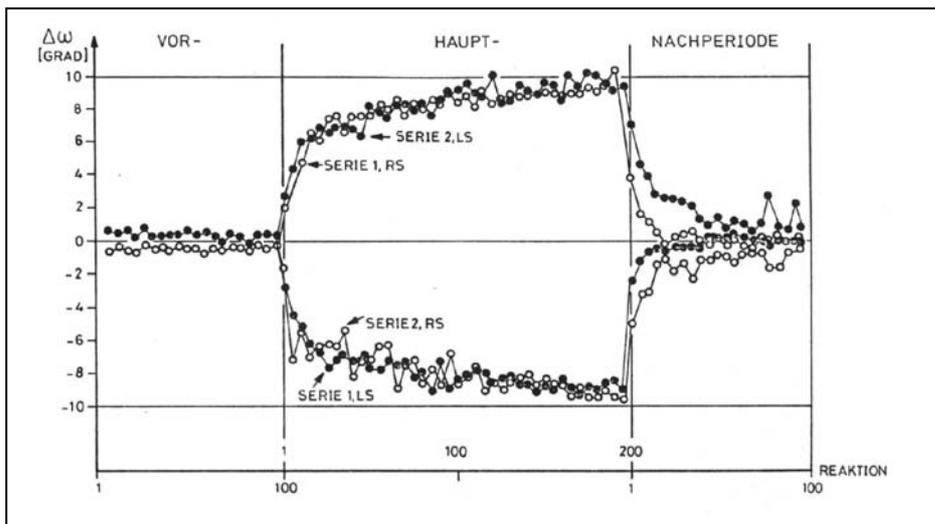


Abbildung 4: okulomotorische Lerneffekte bei symmetrischer Zielversetzung (Serie 1) und gegen die Richtung (Serie 2) der Erstsaccade. Dargestellt über den „Zuwachswinkel“. RS= Rechtssprünge, LS= Linkssprünge⁴⁰

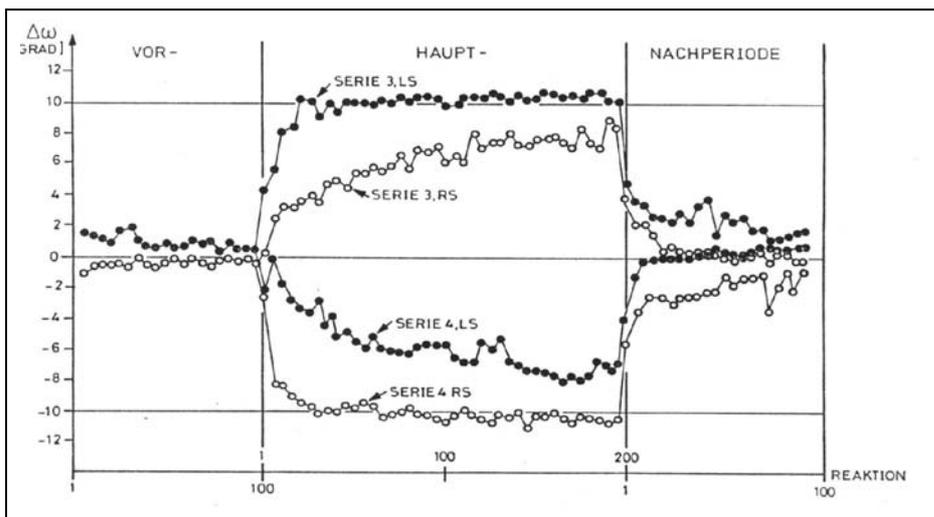


Abbildung 5: Lerneffekte der asymmetrischen Sprungbewegungen der Serien 3 und 4. RS= Rechtssprünge, LS= Linkssprünge⁴¹

⁴⁰ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 60

Betrachtet man den Betrag des Zusatzwinkels, so sind die vier Lernkurven der Serie 1 und 2 nahezu gleich. Ebenso fallen je zwei Kurven der Serien 3 und 4 bei Spiegelung um die Nullachse zusammen und ergeben zwei Lernkurven, jeweils eine für das undershoot- und das overshoot-Lernen (Abbildung 5). Insgesamt erhält man demnach drei Lernkurven, eine für die symmetrischen Zielversetzungen und zwei – eine stark beschleunigte und eine wesentlich gedämpftere – bei den asymmetrischen Zielversetzungen. Berechnet man allerdings den mittleren Lernprozess einer Serie (3 bzw. 4) durch Mittelwertbildung über die beiden Sprungrichtungen, so entspricht dieser mittlere Lernprozess dem Lernverlauf bei symmetrischer Zielversetzung in den Serien 1 und 2. Dies deutet Fey so, dass der effektive Lernfortschritt in allen vier Serien gleich ist.

Da die erzielten Lerneffekte bei den asymmetrischen Serien 3 und 4 nicht gleichschnell erlernt wurden, kann dies auch nicht über eine retinal-motorische Verschiebung des Nullpunktes, welche man erwartet hatte, erklärt werden. Fey fand jedoch in den Ergebnissen seiner Versuchsserien folgende Gesetzmäßigkeit:

Der Lernfortschritt bei konstanter Zielversetzung ist umso größer und schneller, je weiter der zu Beginn der Saccadenprogrammierung aufleuchtende Zielpunkt entfernt lag. Er verläuft also proportional zu dem visuell exponierten Zielwinkel. Der Lernfortschritt ist eine Folge der Maßstabsänderung für die Berechnung der Saccade auf der Grundlage der visuell exponierten Zielwinkel.⁴²

Fey erhielt des Weiteren Hinweise darauf, dass der erzielte Lerneffekt auch für Ziele auftrat, auf die keine Übung erfolgt war.

2.2.3 Blickfolgebewegungen (Pursuit Eye Movements)

Zum Auslösen einer gleitenden Augenfolgebewegung sind hauptsächlich bewegte Reize durch das Gesichtsfeld wichtig. Zusätzlich sind Folgebewegungen auch durch „induzierte“ Bewegungswahrnehmungen herbeizuführen, wenn an Stelle des Ziels das Bezugssystem bewegt wird. Doch es löst nicht jede Bewegung eine gleitende

⁴¹ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 61

⁴² Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 66

Augenbewegung aus. Die Entscheidung, ein bewegtes Objekt durch gleitende Augenbewegungen zu „verfolgen“, ist auf Interaktionen zwischen peripheren und zentralen Verarbeitungssystemen zurückzuführen.⁴³ Durch das System der höheren Kontrollvorgänge ist der Mensch in der Lage, sich für einen bewussten Fixationsort zu entscheiden.

Vergleicht man die Latenzen bei Saccaden und gleitenden Augenfolgebewegungen, so zeigen sich deutliche Vorteile für die gleitenden Augenbewegungen. Eine gleitende Bewegung bei der Verfolgung eines Reizes kann schon nach ca. 125ms (im Vergleich zu 230ms bei Saccaden) ausgelöst werden. Allerdings ist die Verfolgungsgeschwindigkeit von Folgebewegungen nicht mit den Geschwindigkeiten einer Saccaden vergleichbar (Tabelle 2 im Vergleich zu Tabelle 1). Die Leistungsbeschränkung scheint darauf zurückzuführen zu sein, dass retinale Bildverschiebungen nur bis zu einer bestimmten Geschwindigkeitsgrenze mit gleitenden Augenfolgebewegungen beantwortet werden können.⁴⁴ Methling grenzt die Geschwindigkeit der Folgebewegungen in der ein sicheres Erkennen eines verfolgten Objektes noch gewährleistet werden kann auf kleiner 30°/s ein.⁴⁵

Author	max. Geschwindigkeit	kritische Zone
SYKA	80°/s	50-80°/s
GRÜSSER/GRÜSSER-CORNEHLS	-	30-50°/s
GRÜSSER	80°/s	60 - 80 °/s
BAUMGARTNER	100°/s	-
KORNHUBER	100°/s	-
CRATTY	-	40-50°/s
KOLERS	50°/s	50°/s
SHIKMAN	90°/s	30-40°/s
JOHNSON	-	28-57°/s
RASHBASS	-	30-40°/s
ROBINSON	-	20°/s
WESTHEIMER	-	25-30°/s
DRISCHEL	-	26-27°/s

Tabelle 2: Geschwindigkeiten von gleitenden Augenbewegungen.⁴⁶

⁴³ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 124

⁴⁴ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 125

⁴⁵ Methling, D.: Bestimmen von Sehhilfen, Stuttgart 1996, S.281

⁴⁶ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 125

Folgebewegungen testet man durch monokulares Verfolgen eines Objektes. Bei binokularer Durchführung muss darauf geachtet werden, dass man zusätzlich noch eine Form der Version mit testet. Folgebewegungen teilt man mittels ihres Verlaufes in gleitende (smooth) und ruckartige (jerky) Bewegungen ein.

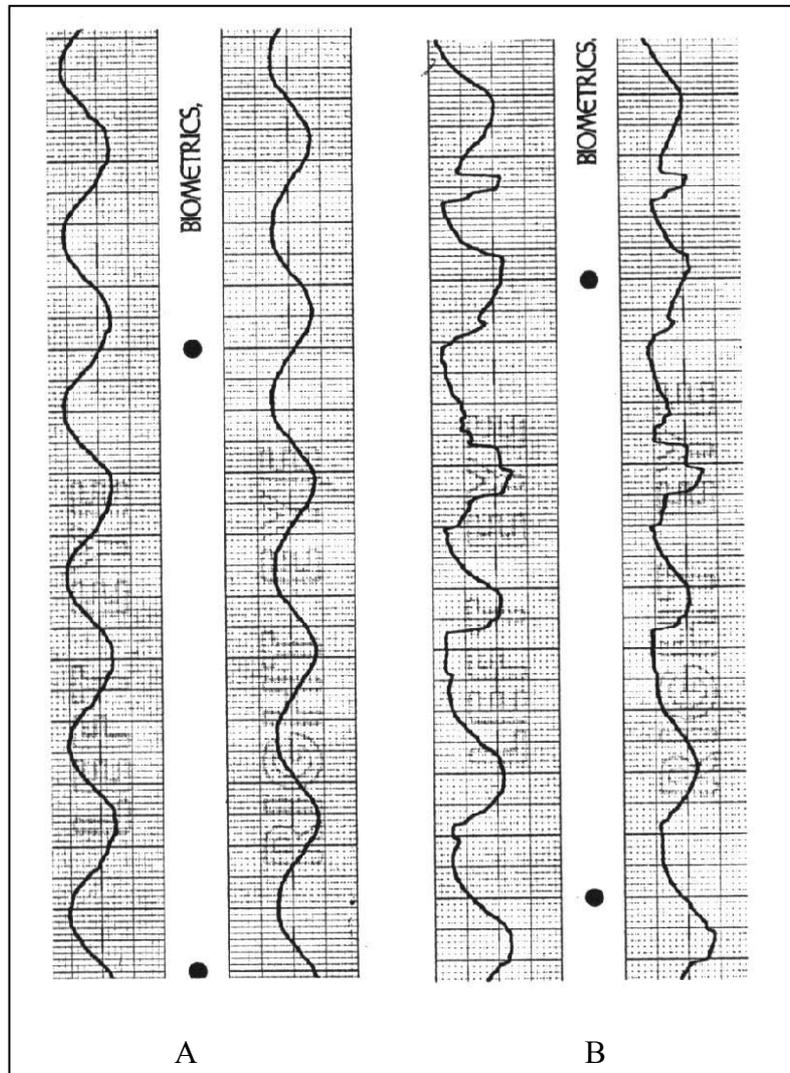


Abbildung 6:
Gleitende (smooth)
und ruckartige (jerky)
Folgebewegungen
aufgezeichnet mit
einem Eye-Trac.⁴⁷

Personen mit mangelhaften Augenfolgebewegungen klagen häufig über Schwindel, Übelkeit, asthenopische Beschwerden und ein ineffektives Sehen beim Verfolgen bewegter Objekte. Des Weiteren haben sie meist eine Menge anderer Leiden.

Da Folgebewegungen hauptsächlich unbewusst ablaufen, stellt sich die Frage, ob funktionale Trainingsmethoden der Person mit Störungen bei den Augenfolgebewegungen überhaupt helfen können. Bei der Durchführung von

⁴⁷ Griffin, J.: Binocular anomalies procedures for vision therapy, 2nd edition, New York 1982, S.368

Folgebewegungen spielen jedoch auch Kopfbewegungen, Automatismen sowie Ausdauer eine Rolle. An diesen Aspekten kann gearbeitet werden, so dass die Bewegungen mehr reflexartig und automatisch ablaufen. In vielen Fällen, so berichtet Griffin, profitieren deshalb diese Personen von funktionalen Trainingsübungen. Die Augenfolgebewegung wird genauer und gleitender.⁴⁸

Mester fasst die Vor- und Nachteile von Saccaden und Augenbewegungen, wie in Tabelle 3 zu sehen ist, zusammen:

	Saccaden	gleitende Augenfolgebewegungen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle, teilweise simultane Korrektur • hohe, amplitudenangepasste Winkelgeschwindigkeit: 30° → 600-800°/s 5° → 150°/s 10° → 15°/s • objektungebundene, willentliche Auslösung 	<ul style="list-style-type: none"> • kontinuierliche Informationsaufnahme • Anpassung an Geschwindigkeit des Sehobjektes • Folgeregelung • Latenz 150 ms
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Suppression oder Omission • Latenz ca. 200 ms • Programmsteuerung 	<ul style="list-style-type: none"> • Geschwindigkeitsbegrenzung bei ca. 100°/s • Sehschärfereduzierung ab ca. 50°/s • abnehmende Zielgenauigkeit bei zunehmender Winkelgeschwindigkeit und Notwendigkeit zu Korrektursakkaden

Tabelle 3: Vergleich Saccaden und gleitende Folgebewegungen⁴⁹

⁴⁸ Griffin, J.: Binocular anomalies procedures for vision therapy, 2nd edition, New York 1982, S.368

⁴⁹ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S. 128

2.2.4 Augenbewegungen beim Lesen

Lese-/ Rechtschreibschwierigkeiten und deren Ursachen sind in den letzten Jahren verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet worden. Man ist sich einig, dass Faktoren wie beispielsweise ein ineffektives visuelles System derartige Schwierigkeiten hervorrufen können. Auf Grund dessen wurden auch Augenbewegungen beim Lesen und deren Trainingsmöglichkeiten untersucht.

Zeichnet man die Augenbewegungen beim Lesen mittels eines Eye-Trac auf, so erhält man das in Abbildung 7 dargestellte Diagramm.

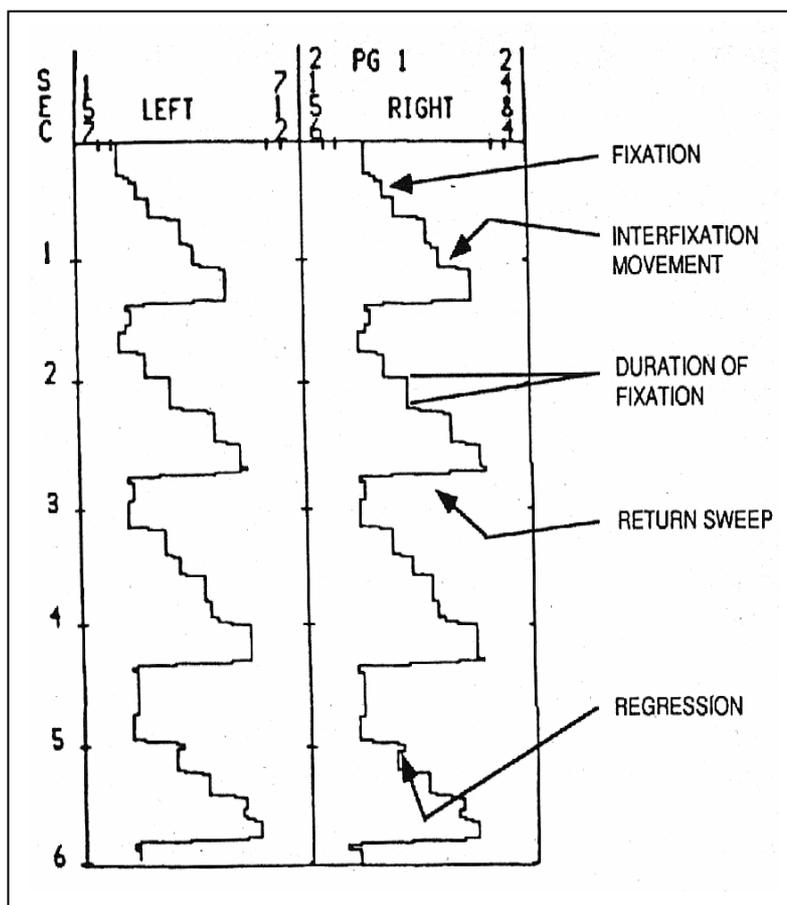


Abbildung 7:
Augenbewegungen
beim Lesen
aufgezeichnet von
einem Eye-Trac⁵⁰

Fixationen:

In dieser Zeit bewegen sich die Augen nicht und die angeblickten Buchstaben werden foveal abgebildet.

⁵⁰ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.226

Duration of Fixation:

Die Dauer von Fixationen nimmt ca. 90% der Lesezeit in Anspruch und spiegelt die Zeit des Verarbeitens wider.⁵¹ Die Länge der Fixationspausen bei normalen Lesern ist abhängig vom Alter. Je jünger bzw. ungeübter der Leser ist, desto kürzer ist die Verweildauer und desto weniger Informationen werden in dieser Zeit aufgenommen.

Interfixation Movement:

Jede Fixation wird getrennt durch eine Saccade oder einer „interfixation“ Bewegung. Diese bringt jeweils eine neue Region des Textes in die Fovea, so dass eine detaillierte Analyse stattfinden kann. Eine Saccade tritt im Durchschnitt alle sieben bis acht Buchstaben bzw. alle 1,33 bis 1,5 Wörter auf.

Regression:

Rücksprünge sind Bewegungen der Augen von rechts nach links. Es wird vermutet, dass sie zur genaueren Inspektion von Textelementen oder zur Wiederholung einzelner Wörter dienen. Eventuell sind es aber auch Ausgleichsbewegungen, um die ineffektiven Augenbewegungsgewohnheiten aufzuheben. Unter normalen Lesern beträgt die Anzahl der Rücksprünge ca. 10% - 20% der gesamten Augenbewegungen. Treten mehr als 20% Rücksprünge auf, so wird das Lesen ineffektiv. Bei Dyslexie fand man sogar Rücksprunganteile von 75%.

Return sweep:

Am Zeilenende findet eine ausholende Bewegung von rechts nach links in die nächste Zeile statt. Diese wird als return sweep bezeichnet.

Die Effektivität des Lesens wird anhand von drei Faktoren bewertet: Der Anzahl der Fixationen, der Rücksprünge (Regression) und der gelesenen Wörter im entsprechenden Schwierigkeitsgrad.⁵² Lesen zwei Personen eine bestimmte Anzahl gleicher Wörter genauso schnell, so bedeutet dies nicht, dass sie auch gleich effektiv lesen. Angenommen eine Person liest z.B. 300 Wörter pro Minute, was 100

⁵¹ Solan, H.: Eye movement problems in achieving readers: un update, Am J Optom & Physiol Optics, 1985, Vol.62, S. 812-819

⁵² Solan, H.: Eye movement problems in achieving readers: un update, Am J Optom & Physiol Optics, 1985, Vol.62, S. 812-819

Wörtern in 20 Sekunden entspricht. Während des Lesens werden 75 Fixationen aufgezeichnet. Im Durchschnitt beträgt also jede Fixation 0,266s oder 266ms (20/75) und im Mittel können dabei 1,33 Wörter (100/75) wahrgenommen werden. In dieser Zeit verarbeitet man sowohl Informationen des Textes als auch der Raumposition. Würde diese Person hingegen 100 Fixationen in dieser Zeit ausführen, so blieben für die Verarbeitung während jeder Fixation hingegen nur 0,2s bzw. 200ms (20/100). Die durchschnittliche überblickte Wortlänge beträgt hierbei genau ein Wort (100/100).

Längere Fixationspausen haben demnach den Vorteil, dass die Fähigkeit steigt, mehr Informationen aufzunehmen, diese zu organisieren und zu verarbeiten. Das Lesen wird komfortabler und weniger anstrengend.

Vergleicht man das Leseverhalten in den verschiedenen Schuljahren (Tabelle 4), so kann man auch hier den Lerneffekt anhand einer Abnahme der Fixationen und Regression, ebenso wie an einer Zunahme der Verarbeitungsdauer und der Verständnisrate, erkennen.

Grade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Colli mati on
Fixations (including regressions) per 100 words	224	174	155	139	129	120	114	109	105	101	96	94	90
Regressions per 100 words	52	40	35	31	28	25	23	21	20	19	18	17	15
Average span of recognition (in words)	0.45	0.57	0.65	0.72	0.78	0.83	0.88	0.92	0.95	0.99	1.04	1.06	1.11
Average duration of fixation (in seconds)	0.33	0.30	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24
Rate with comprehen sion (in words per minute)	80	115	138	158	173	185	195	204	214	224	237	250	280

Tabelle 4: Durchschnittswerte des Leseverhaltens in den einzelnen Schuljahren⁵³

⁵³ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.41

Durch Visualtraining konnte in vielen Fällen, so berichten Solan und Griffin, eine Steigerung in der Effektivität des Lesens erreicht werden. Abbildung 8 zeigt die Veränderung der Augenbewegungen vor und nach fünf Wochen Visualtraining.

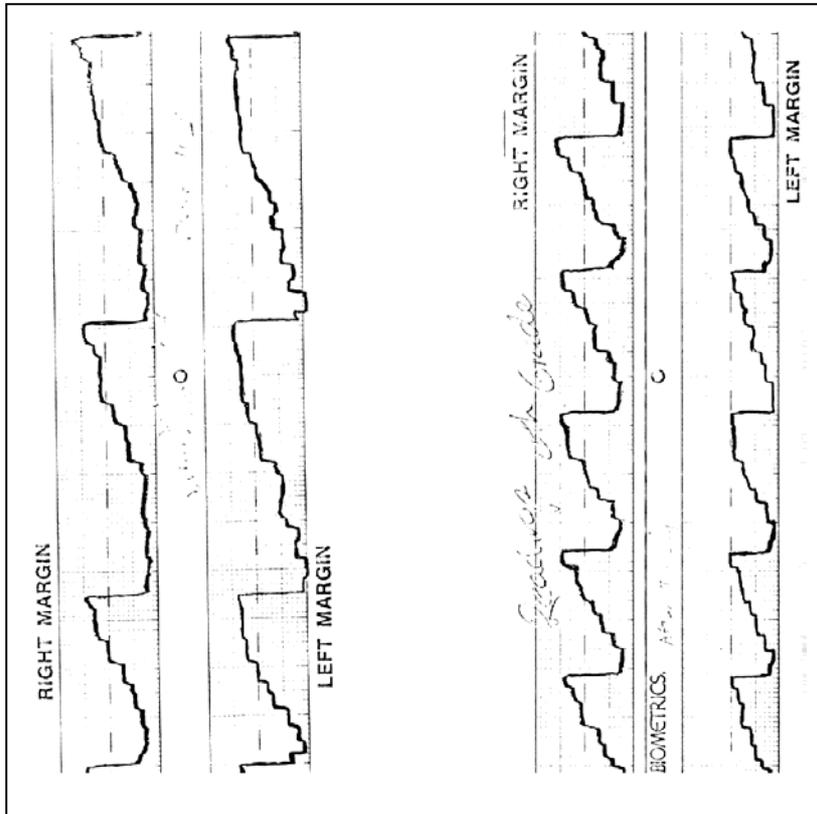


Abbildung 8:
Augenbewegungen
beim Lesen vor und
nach 5 Wochen VT⁵⁴

Bei Untersuchungen von Sportlern und Autofahrern fand man ebenfalls, dass die Häufigkeit der Fixationen mit der Erfahrung durch Training abnahm. Anfänger zeigten eine deutlich höhere Anzahl von Fixationen als Profis. Die Fixationstrategie hingegen unterschied sich bei beiden Gruppen nur unwesentlich. Höfner und Hoskovec führten dies darauf zurück, dass Probanden mit geringer Erfahrung vermutlich den größten Teil der Information zentral-foveal aufnahmen, während bei geübten Personen die Fähigkeit zur peripher-retinalen Verarbeitung steigt. Ebenso entspricht dieser Befund den Erwartungen, die auf der Grundlage der saccadischen Latenz und Suppression ermittelt wurden. Je häufiger Saccaden ausgeführt werden, desto weniger Zeit bleibt effektiv für die Reizaufnahme und deren Verarbeitung.⁵⁵

⁵⁴ Griffin, J.: Binocular anomalies procedures for vision therapy, 2nd edition, New York 1982, S.352

⁵⁵ Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988, S.129ff.

2.3 Erkenntnisse zur Akkommodation

Die Hauptaufgabe des Akkommodationssystems besteht darin, ein klares Bild, der in verschiedenen Entfernungen betrachteten Objekte, auf der Netzhaut zu erzeugen. Die Reaktion der Akkommodation in der normalen visuellen Umgebung wird durch verschiedene komplexe und feine Verknüpfungen von optischen und nicht optischen Faktoren bestimmt. Zu den Einflüssen zählen sowohl objektive Eigenschaften der Stimuli wie Farbe, Ortsfrequenz, Helligkeit und Kontrast, als auch subjektive Faktoren des Betrachtens wie das Gefühl der Nähe, Emotion, Motivation, kognitive Aktivität und Vorstellung.⁵⁶ In der Regel beschreibt man die Akkommodationsantwort bestehend aus vier Teilfunktionen:

- unschärfebedingte Akkommodation oder „klassischer optischer Reflex“ (classical optical-reflex)
- tonische Akkommodation
- proximale Akkommodation, sie wird durch das Entfernungsempfinden stimuliert
- dem Akkommodationsbetrag, welcher durch eine Veränderung der Vergenzstellung hervorgerufen wird („vergence accommodation“, Kapitel 2.4.2).

2.3.1 Unschärfebedingte Akkommodation

Der normale Fokussierungsvorgang wird mittels eines Kontrollsystems gesteuert, welches auf Unschärfe des Netzhautbildes anspricht und ein Signal zum Ziliarmuskel/ Linsen Mechanismus sendet, um ein klares Bild zu erzeugen. Diese Reaktionsantwort läuft über das „phasische“ System (phasic) ab und wird im Amerikanischen auch „klassischer optischer Reflex“ (classical optical-reflex) bezeichnet.⁵⁷ Studien über die akkommodative Reaktion haben ergeben, dass das Akkommodationskontrollsystem ein dual-mode Verhalten aufzeigt.

⁵⁶ Winn, B., Gilmartin, B., Mortimer, L., Edwards, N.: The effort on open- and closed-loop accommodation, *Ophthal. Physiol. Opt.*, 1991, Vol. 11, S. 335-339

⁵⁷ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, *Am J Optom & Physiol Optics* 1988, Vol.65, S.464-475

Somit ist die vereinheitlichte Theorie über Augenmuskelkontrollsysteme der verschiedenen Augenmuskeluntersysteme (Versionen, Vergenzen) auch auf die Akkommodation übertragbar.⁵⁸

Alle Kontrollsysteme bestehen aus langsamen und schnellen Komponenten. Die schnellen Komponenten scheinen vorprogrammiert, wohingegen die langsamen Komponenten eine kontinuierliche Feedbackkontrolle (Kapitel 3.3) zeigen. Welche Komponenten zur Akkommodationsänderung beitragen, ist abhängig von der Dioptrienänderung pro Sekunde. Liegt sie über 2,5dpt/s, dann wird das schnelle Kontrollsystem aktiviert, bei niedrigeren Werten kommt es zu einer Akkommodationsänderung durch das langsame Kontrollsystem.

Ist nach Beendigung einer Augenbewegung noch ein akkommodativer Fehler vorhanden, so entscheidet die Größe des Fehlers darüber, welches Kontrollsystem aktiviert wird.⁵⁹

Die Akkommodation wird nach Berke zuerst durch die groben Objektstrukturen ausgelöst, welche die Richtung der Akkommodationsänderung bestimmen. Je mehr sich der Akkommodationszustand dem Zielzustand nähert, desto feinere Details werden auflösbar. Diese sorgen dann für die Feineinstellung der Akkommodation. Die Akkommodation erfolgt nicht exakt auf den Einstellpunkt, außer wenn dieser annähernd mit der Akkommodationsruhelage übereinstimmt. Weiter entfernte Objekte führen zu einer Überakkommodation. Bei näheren gelegenen Objekten hingegen neigt man zur Unterakkommodation.⁶⁰

Die Latenzzeit der Akkommodation beträgt im Mittel $370 \pm 80\text{ms}$ ⁶¹ und ist unabhängig von der Größe der Dioptrienänderung.⁶² Danach erfolgt die Akkommodationsreaktion. Die hierfür benötigte Zeit verhält sich exponentiell zu der Dioptrienänderung und beinhaltet eine Zeitkonstante von 250ms (Campbell and Westheimer, 1960; Shirachi et al., 1978; Tucker and Charman, 1979)⁶³, in der 63%

⁵⁸ Hung, G.H., Ciuffreda, K.J.: Dual-mode behaviour in the human accommodation system, *Ophthalm. Physiol. Opt* 1988, Vol. 8, S.327-332

⁵⁹ Hung, G.H., Ciuffreda, K.J.: Dual-mode behaviour in the human accommodation system, *Ophthalm. Physiol. Opt* 1988, Vol. 8, S.327-332

⁶⁰ Berke, A.: *Biologie des Auges*, Mainz 1999, S. 156

⁶¹ Schor, C., Ciuffreda, K.: *Vergence eye movements*, Woburn (Butterworth) 1983, S.107ff

⁶² Heron, G., Winn, B.: Binocular accommodation reaction and response times for normal observers, *Ophthalm. Physiol. Opt.*, 1989, Vol.9, S.176-183

⁶³ Hung, G.H., Ciuffreda, K.J.: Dual-mode behavior in the human accommodation system, *Ophthalm. Physiol. Opt* 1988, Vol. 8, S.327-332

des Endwertes der Akkommodation vorgenommen wird. Die Dauer der gesamten Reaktionszeit (Latenz plus Akkommodationsänderung) beträgt schätzungsweise 1s.⁶⁴

Tabelle 5 zeigt Reaktions- und Änderungszeiten der Akkommodation von acht Personen für verschieden große Dioptrienwechsel.

	1dpt		2dpt		3dpt		4dpt	
	Reaction	Response	Reaction	Response	Reaction	Response	Reaction	Response
SS	0,32	0,82	0,36	0,97	0,38	1,19	0,34	1,12
AH	0,33	0,83	0,28	0,86	0,31	1,04	0,31	1,28
MC	0,35	0,82	0,32	0,80	0,30	0,68	0,30	1,10
NIP	0,33	0,62	0,34	0,79	0,31	0,90	0,40	1,10
DB	0,42	0,69	0,39	0,85	0,45	0,98	0,42	1,02
DW	0,38	0,81	0,32	0,76	0,27	1,23	0,34	1,44
ES	0,27	0,80	0,23	0,70	0,28	0,98	0,28	0,96
SL	0,33	0,69	0,32	1,10	0,42	1,50	0,32	1,21
Mean (± SD)	0,34 ± 0,04	0,76 ± 0,08	0,32 ± 0,05	0,87 ± 0,12	0,34 ± 0,07	1,06 ± 0,26	0,34 ± 0,05	1,15 ± 0,15

Tabelle 5: Akkommodationsreaktions- und -änderungszeiten für verschieden große Dioptrienänderungen⁶⁵

Heron und Winn fanden des Weiteren in ihrer Studie (1989) eine Abhängigkeit des Akkommodationsvorganges von der Richtung des Dioptrienwechsels. Die Akkommodationszeit für Fern-Nah-Sprünge lag im Mittel bei 0,82s ± 0,12s. Im Gegensatz dazu wurde für den Wechsel von Nähe zur Ferne im Mittel 1,03s ± 0,22s benötigt. (nach Berke: 0,75s bzw. 1,2s⁶⁶)

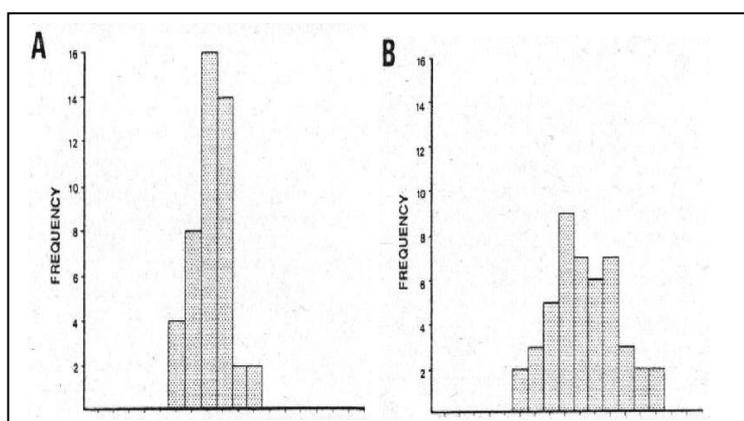


Abbildung 9:

A: Akkommodationszeiten für Fern-Nah-Sprünge

B: Akkommodationszeiten für Nah-Fern-Sprünge⁶⁷

⁶⁴ Schor, C., Ciuffreda, K.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.107ff.

⁶⁵ Heron, G., Winn. B.: Binocular accommodation reaction and response times for normal observers, Ophthal. Physiol. Opt. 1989, Vol.9, S. 176-183

⁶⁶ Berke, A.: Biologie des Auges, Mainz 1999, S. 156

⁶⁷ Heron, G., Winn. B.: Binocular accommodation reaction and response times for normal observers, Ophthal. Physiol. Opt. 1989, Vol.9, S. 176-183

Die Latenz- und Reaktionszeit im monokularen Sehen unterschied sich nicht signifikant von der im binokularen Sehen. Dies brachte Heron und Winn zu der Annahme, dass die Informationen über die Unschärfe des fixierten Objektes der Hauptfaktor zur Stimulierung der Akkommodation ist und der Impuls über die akkommodative Vergenz nur eine untergeordnete Rolle spielt.

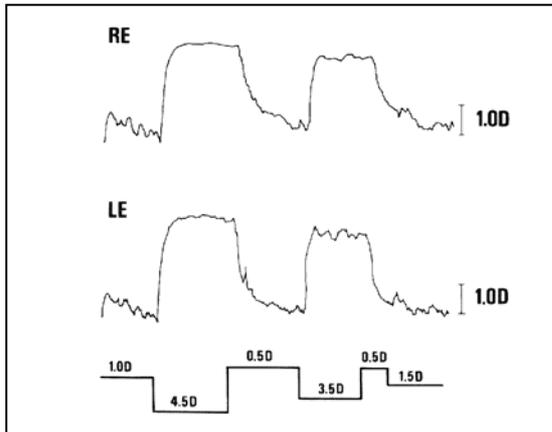


Abbildung 10: Koppelung zwischen dem Akkommodationszustand des rechten und des linken Auges⁶⁸

Unterschiede in der Latenzzeit zwischen rechtem und linkem Auge konnten von Heron und Winn nicht gefunden werden. Auch die Rolle des Führungsauges hatte keinen signifikanten Einfluss. Jedoch bestätigte ihre Studie eine eindeutige, hohe Koppelung des Akkommodationszustandes zwischen den beiden Augen (Abbildung 10).

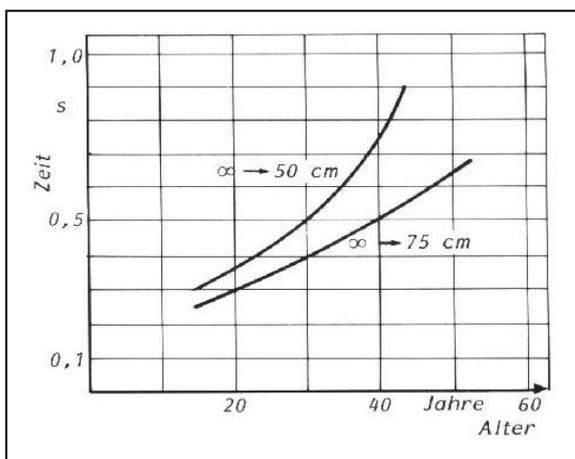


Abbildung 11: Einstellzeiten für die Akkommodation in Abhängigkeit vom Alter⁷⁰

Wie Abbildung 11 zeigt, ist die Reaktionszeit der Akkommodation zusätzlich vom Alter abhängig. So nimmt die Reaktionszeit der Akkommodation mit zunehmendem Alter ebenfalls zu.⁶⁹

⁶⁸ Heron, G., Winn, B.: Binocular accommodation reaction and response times for normal observers, Ophthal. Physiol. Opt. 1989, Vol.9, S. 176-183

⁶⁹ Methling, D.: Bestimmen von Sehhilfen, Stuttgart 1996, S.295f.

⁷⁰ Methling, D.: Bestimmen von Sehhilfen, Stuttgart 1996, S.295

Im Durchschnitt beträgt die Akkommodationsänderung ca. 5dpt/s. Die maximale Änderungsgeschwindigkeit liegt bei ca. 15dpt/s.⁷¹

Um die Akkommodationsflexibilität zu testen, verwendet man Flipper mit $\pm 2,0$ dpt. Man prüft dann, wie oft der Proband beim Wechsel durch die Plus- und Minusgläser innerhalb einer Minute einfach und scharf sehen kann. Zwei Umdrehung pro Minute ($2^{\circ}/_{\text{min}} = \text{cycles per minute}$) entsprechen hierbei einer Neutralisation von jeweils zweimal $+2,0$ dpt und zweimal $-2,0$ dpt. Der zu betrachtende Text befindet sich während der Durchführung in der harmonischen Leseentfernung des Probanden (vgl. Seite 81). Die Buchstabengröße sollte so gewählt werden, dass sie eine Visusstufe unterhalb des maximalen Visus liegt. Die Normwerte zur Akkommodationsflexibilität werden von Scheiman zusammengefasst, wie in Tabelle 6. Die binokular erzielbaren Werte liegen hierbei unter den monokularen, da sie nicht nur von der Akkommodationsflexibilität abhängig sind, sondern ebenfalls indirekt von der Größe der positiven und negativen fusionalen Vergenzreserve (Kapitel 3.28).

Monokular:

Alter in Jahren	Normwert	Standardabweichung
6	5,5 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 2,5^{\circ}/_{\text{min}}$
7	6,5 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 2^{\circ}/_{\text{min}}$
8-12	7 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 2,5^{\circ}/_{\text{min}}$
13-30	11 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 5^{\circ}/_{\text{min}}$

Binokular:

Alter in Jahren	Normwert	Standardabweichung
6	3 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 2,5^{\circ}/_{\text{min}}$
7	3,5 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 2,5^{\circ}/_{\text{min}}$
8-12	5 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 2,5^{\circ}/_{\text{min}}$
13-30	8 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 5^{\circ}/_{\text{min}}$
30-40	9 $^{\circ}/_{\text{min}}$	$\pm 5^{\circ}/_{\text{min}}$

Tabelle 6: Normwerte der Akkommodationsflexibilität in Abhängigkeit vom Alter⁷²

⁷¹ Methling, D.: Bestimmen von Sehhilfen, Stuttgart 1996, S.281

⁷² Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Management of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S.21

Die Reaktionszeit der Akkommodation scheint von äußeren Faktoren relativ unabhängig zu sein, denn Charman und Heron 1979 konnten ferner keinen Zusammenhang der Reaktionszeit mit der Ortsfrequenz des betrachteten Objektes herleiten. Dafür bewiesen Phillips 1974 und Owens 1980 eine Koppelung zwischen der Akkommodationsgenauigkeit und der Ortsfrequenz. Die Akkommodationseinstellung ist am exaktesten und am einfachsten durch Ortsfrequenzen anzuregen, für die der Betrachter die höchste Kontrastempfindlichkeit zeigt.

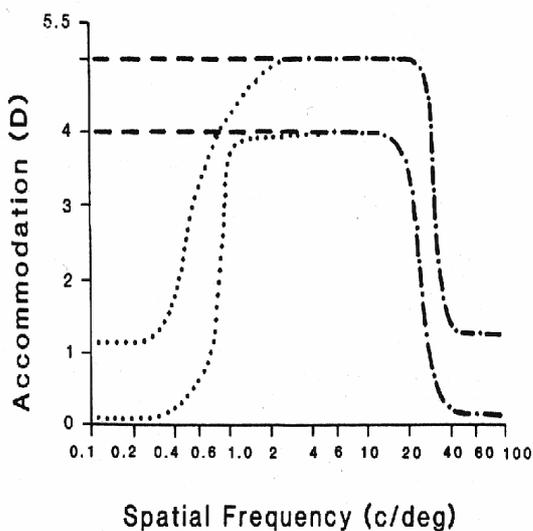
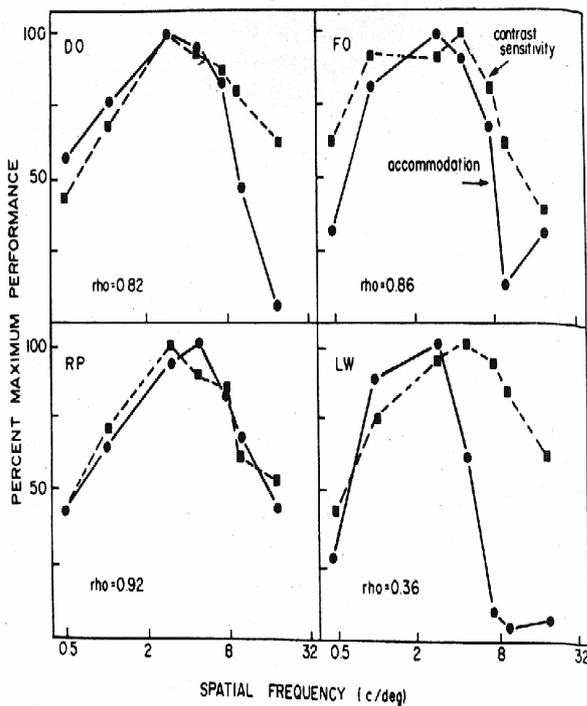


Abbildung 12:
 Akkommodation in
 Abhängigkeit von der
 Ortsfrequenz⁷³

⁷³ Schor, C., Ciuffreda, K.: Vergence eye movments, Woburn (Butterworth) 1983, S.108

Die genaueste Einstellung der Akkommodation fand man bei ca. 5 Perioden pro Grad.⁷⁴ Für Ortsfrequenzen außerhalb von 1 und 25 Perioden pro Grad war der Kontrast so schwach bzw. so fein, dass die Unschärfe, welche normalerweise das Akkommodationssystem aktiviert, nicht bemerkt wurde (Abbildung 12). Unterhalb und oberhalb dieser Ortsfrequenzen kam es zu keiner Akkommodationsreaktion und der Akkommodationszustand bewegte sich in Richtung des stimulusfreien Zustandes (empty field level; Kapitel 2.3.2).⁷⁵

Die Wahrnehmung der Unschärfe und die daraus entstehende Steuerung der Akkommodation sind des Weiteren abhängig von der Objektgröße bzw. der exzentrischen Lage (Kapitel 3.11) des Stimulus. Phillips bestimmte die Akkommodationsgenauigkeit für direkte foveale Reize auf 100%. Bei einer Exzentrizität oder Ausdehnung des Objektes von $1,5^\circ$ liegt die Akkommodationsgenauigkeit lediglich noch bei 50%. Exzentrizitäten von 5° bzw. 10° entsprechen dann einer Amplitude von 20% bzw. 0%.⁷⁶

Dies führte zu der Annahme, dass der Akkommodationsanreiz, welcher durch exzentrisch gelegene Objekte ausgelöst wird, in etwa proportional zum Visus abnimmt (genau genommen sogar in einem etwas größeren Verhältnis).

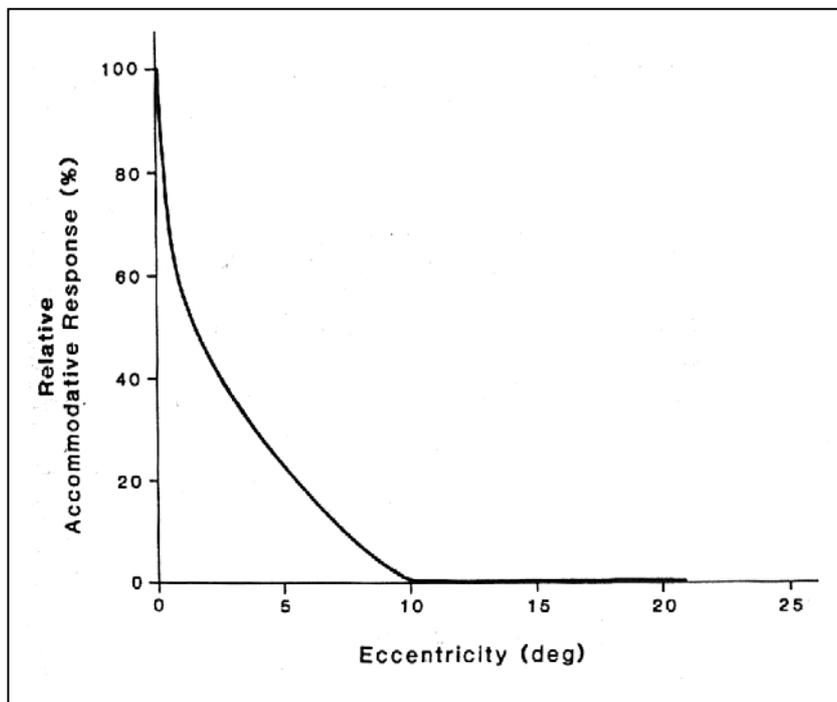


Abbildung 13:
Akkommodation
in Abhängigkeit
von der
Exzentrizität⁷⁷

⁷⁴ Berke, A.: Biologie des Auges, Mainz 1999, S. 156

⁷⁵ Schor, C., Ciuffreda, K.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.108ff.

⁷⁶ Schor, C., Ciuffreda, K.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.113

⁷⁷ Schor, C., Ciuffreda, K.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.113

Aus diesen Ergebnissen schloss Phillips, dass für Objekte, welche außerhalb der 10° Zone um die Fovea abgebildet werden, lediglich das Vergenzsystem (vergence accommodation) und/oder willentliche Faktoren (voluntary accommodation) den Antrieb für das Akkommodationssystem liefern können. Im Gegensatz dazu wird die Akkommodationsreaktion für Objekte innerhalb der 10° Zone durch die Summe der durch Unschärfe (stimulus-drive accommodation), willentlichen Faktoren (voluntary accommodation) und dem Vergenzsystems (vergence accommodation) ausgelösten Reize produziert.

Auch weitere Studien von Hung, Ciuffreda und Semmlow ergaben, dass bei zunehmender Exzentrizität des Stimulus dessen Effektivität (Wirkung) abnimmt und dass sich deshalb der Akkommodationszustand dem Ruhezustand der Akkommodation nähert.

2.3.2 Ruhezustand der Akkommodation

Die Augenlinse nimmt bei Fehlen von visuellen Stimuli (open-loop; Kapitel 3.4) einen relativ stabilen Akkommodationszustand ein. Dieser wird, da die Einstellentfernung meist im Endlichen liegt, als mittlere Ruheposition (intermediate resting position) bezeichnet.⁷⁸ Der eingenommene Akkommodationszustand wird durch die tonische Akkommodation verursacht. In der englischsprachigen Literatur benennt man diesen Zustand auch als „resting“ oder „dark focus of accommodation“.

Um die tonische Akkommodation (TA) zu messen, müssen jegliche akkommodativen Stimuli ausgeschaltet werden. Die Messung kann deshalb z.B. im völlig dunklen Raum (dark room), im völlig strukturlosen weißen Raum (empty field) oder durch aufsetzen einer gefärbten Kontaktlinse mit einer Pupillenöffnung von 0,05mm durchgeführt werden. Wie die Studie von M. Bullimore, B. Gilmartin und R.E. Hogan 1986 ergab, sind die Messergebnisse der TA im dunklen Raum von Skiaskopie und Infra-Rot-Refraktometern mit denen des Badal He-Ne-Laser

⁷⁸ Bullimore, M., Gilmartin, B., Hogan, R.E.: Objective and subjective of tonic accommodation, Ophthal. Physiol. Opt. 1986 Vol.6 S. 57-62

Optometers, welcher in Forschungslaboratorien verwendet wird, annähernd vergleichbar. Somit hätte jeder Optometrist die Möglichkeit, die TA zu messen.

Die TA unterliegt individuellen Schwankungen. Im Durchschnitt beträgt sie ca. 1,5dpt mit einer Standardabweichung von $\pm 0,7$ dpt.⁷⁹

Gilmartin berichtet, dass die Ruheposition durch das stationäre Gleichgewicht („steady-state equilibrium“) oder einer autonomen Balance des sympathischen und parasympathischen Systems entsteht (Abbildung 14).⁸⁰ Für die Akkommodation bzw. die Kontraktion der Augenlinse sorgt überwiegend der cholinerge Effekt des parasympathischen Systems. Die Beeinflussung durch das sympathische System (adrenoerge) hingegen ist gering und langsam.

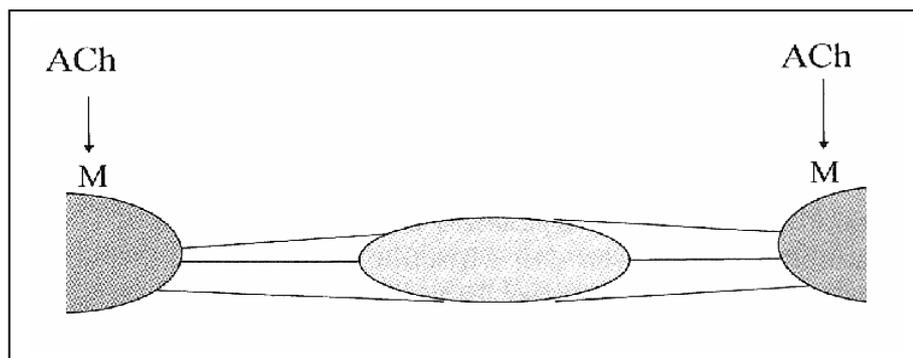


Abbildung 14: Akkommodationsruhelage. Gleichgewicht von sympathischer und parasympathischer Innervation⁸¹

Durch Medikamente kann man dieses Gleichgewicht stören und damit die TA verlagern. Gilmartin und Hogan untersuchten deshalb 1985 die Auswirkungen verschiedener Medikamente, welche häufig am Auge eingesetzt werden, auf die TA. Zum einen beobachteten sie die Effekte von Timolol, einem nicht selektivem β -Blocker. Dieser Wirkstoff kommt häufig bei chronischem Offenwinkelglaukom zur Senkung des Augeninnendruckes zur Anwendung.

⁷⁹ Bullimore, M., Gilmartin, B., Hogan, R.E: Objective and subjective of tonic accommodation, Ophthal. Physiol. Opt. 1986 Vol.6 S. 57-62

⁸⁰ Gilmartin, B.: A review of the role of sympathetic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation Ophthal. Physiol. Opt. 1986 Vol.6 S. 23-37

⁸¹ Vogel, W., Berke, A.: Okuläre Pharmakologie, Stuttgart 1998, S.43

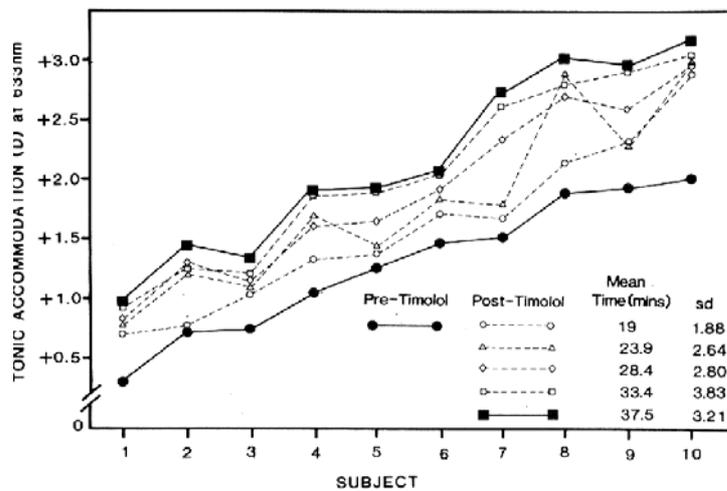


Abbildung 15:
Beeinflussung der TA
unter Wirkung des
Medikamentes Timolol.⁸²

Wird das sympathische System durch den Einsatz von β -Blockern inhibiert, so kommt es, unabhängig von den Ausgangszuständen der TA, zu einem Anstieg der TA. Die Beeinflussung des Akkommodationszustandes durch Timolol konnte allerdings nur unter open-loop Bedingungen (Kapitel 3.4) gemessen werden. Unter close-loop Bedingungen (Kapitel 3.4) fand man keinen Effekt auf die Sehschärfe, den Refraktionszustand, die Amplitude der Akkommodation oder die Augenbewegungs-Balance.

Ein weiter Wirkstoff, den Gilmartin und Hogan testeten, war Tropicamid. Dieser dient zur Pupillenerweiterung und zur Akkommodationsparese bei Refraktionsbestimmungen. Die Wirkung ist antimuskarinergerg, d.h. es hemmt einen Teil der Rezeptoren, welche zur Weiterleitung der parasympathischen Aktivierung durch Acetylcholin dienen.

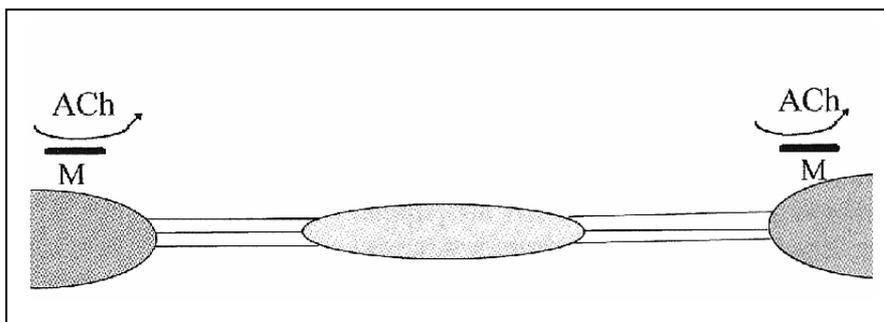


Abbildung 16: Blockierung der muskarinergen Rezeptoren. Eingenommener Zustand entspricht Fernakkommodation.⁸³

⁸² Gilmartin, B.: A review of the role of sympathetic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation. *Ophthalm. Physiol. Opt.* 1986 Vol.6 S. 23-37

⁸³ Vogel, W., Berke, A.: *Okuläre Pharmakologie*, Stuttgart 1998, S.43

Hemmt man durch Tropicamid das parasympathische System so bewirkt dies eine diskontinuierliche Abnahme der TA (Abbildung 17). Je höher also der Ausgangswert der TA ist, desto stärker tritt eine Hemmung durch das sympathische System ein.

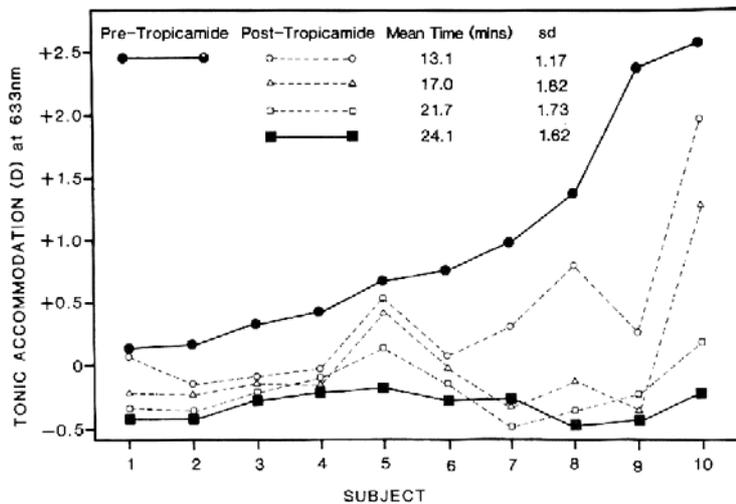
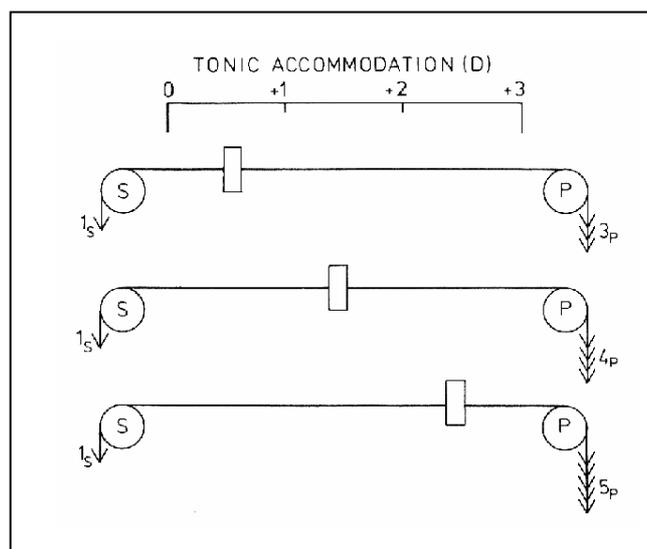


Abbildung 17:
Diskontinuierliche
Abnahme der TA unter
Wirkung des
Medikamentes
Tropicamid.⁸⁴

Gilmartin entwickelte auf der Grundlage dieser und weiterer Studien über medikamentöse Einflüsse das in Abbildung 18 dargestellte Modell zur Entstehung der Ruheposition.



**Abbildung 18: Modell zur
Entstehung der Ruheposition⁸⁵**

⁸⁴ Gilmartin, B.: A review of the role of sympathetic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation Ophthal. Physiol. Opt. 1986 Vol.6 S. 23-37

⁸⁵ Gilmartin, B.: A review of the role of sympathetic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation Ophthal. Physiol. Opt. 1986 Vol.6 S. 23-37

Die Größe der TA wird durch den Anteil der parasympathischen Wirkung bestimmt. Der sympathische Anteil hingegen ist bei allen Ruhepositionen ungefähr gleich groß. Jedoch wächst die hemmende Wirkung des sympathischen Systems mit der Größe des parasympathischen Anteiles an. Sympathisches und parasympathisches System wirken also nicht nur antagonistisch, sondern auch in diesem Fall synergistisch.

Anhaltende Nah- bzw. Fernsicht, so konnten Ebenholtz 1983 und Ehrlich 1987 nachweisen, kann eine vorübergehende Veränderung der TA bewirken.⁸⁶ Es entstanden sowohl positive als auch negative Verschiebungen der vorher gemessenen TA, je nachdem wie hoch die dioptrisch aufzubringende Akkommodationsleistung war (Abbildung 19). Man bezeichnet diesen Effekt als akkommodative Hysterese.

Besonders interessant an dieser Studie war, dass bei Personen keine Veränderung der TA auftrat, wenn sie in eine Entfernung blickten, die ihrer TA entsprach. Diese Ergebnisse gaben zur Vermutung Anlass, dass Leute deren Bildschirmarbeitsplatzentfernung mit dem Wert der TA korreliert, ein geringeres Risiko haben, an visuellen Unbehagen zu leiden.

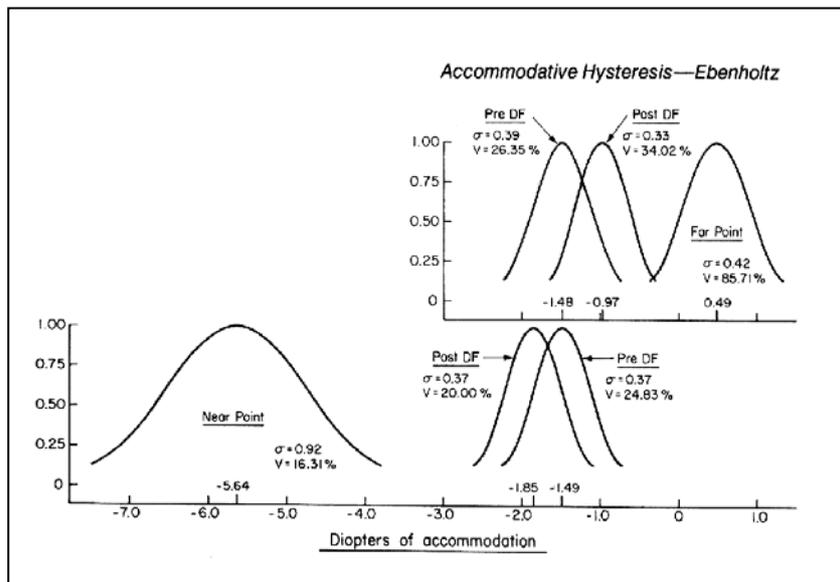


Abbildung 19:
Hysterese-Effekt⁸⁷

⁸⁶ Ebenholtz, S.M.: Accommodative hysteresis: relation to resting focus, Am J Optom & Physiol Optics, 1985, Vol. 62, S.755-762

⁸⁷ Ebenholtz, S.M.: Accommodative hysteresis: relation to resting focus, Am J Optom & Physiol Optics, 1985, Vol. 62, S.755-762

Basierend auf diesen Erkenntnissen entwarf Ehrlich das in Abbildung 20 abgebildete Modell. Es beschreibt den Ort der Akkommodationsruhelage als die Position, in welcher auf das System am wenigsten Stress ausgeübt wird.

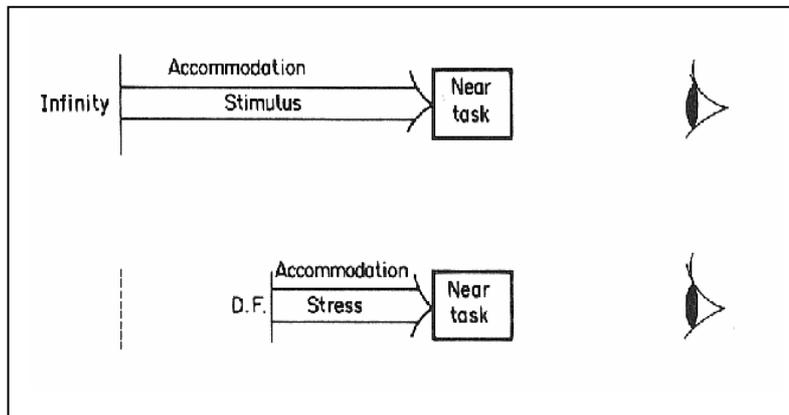


Abbildung 20:
Nahpunkt-Stress-Modell. Abweichende Entfernungen vom dark focus lösen Stress aus.⁸⁸

Dieses Modell könnte auch zur Erklärung des bereits erwähnten Effektes dienen, dass die Akkommodation nicht exakt auf den Einstellpunkt erfolgt, außer wenn dieser annähernd mit der Akkommodationsruhelage übereinstimmt. Es verdeutlicht, weshalb man bei weiter entfernten Objekten eher zur Über- bzw. bei näher gelegenen Objekten zur Unterakkommodation tendieren könnte.⁸⁹

Nimmt man die in der Nervenphysiologie bisher gefundenen Erkenntnisse hinzu, so könnte man folgende Vermutungen im Bezug auf den Hysterese-Effekt anstellen. Ein Dauerzustand der Akkommodation benötigt zur Aktivierung/ Innervierung des Zilarmuskels eine konstante Ausschüttung und Aufnahme der Überträgerstoffe am synaptischen Spalt (Übergang von Nerven zur Muskelfaser). Bei manchen Zellen kommt es bei Dauerreizung zu einem Gewöhnungseffekt, welcher dazu führt, dass das Rezeptorpotential herabgesetzt wird. Um zu einer erneuten Erregung bzw. zur gleichen Impulsfrequenz zu gelangen, ist demnach eine erhöhte Ausschüttung nötig. Man spricht in diesem Falle von einer Adaptation.⁹⁰ An der glatten Muskulatur, aus welcher der Zilarmuskel besteht, tritt dieser Gewöhnungseffekt nur im geringen Maße auf. Der Hysterese-Effekt jedoch könnte als eine Folge dieser Adaptation gewertet werden.

⁸⁸ Ehrlich, D.L.: Near vision stress: Vergence adaptation and accommodative fatigue, Ophthal. Physiol. Opt., 1987, Vol. 7, S. 353-357

⁸⁹ Berke, A.: Biologie des Auges, Mainz 1999, S. 156

⁹⁰ Vogel, G., Angermann, H.: dtv-Atlas zu Biologie Band 2, München 1984, S.347

Bei weiteren Studien zur TA fanden M. Bullimore und B. Gilmartin unterschiedliche Beträge der TA in verschiedenen refraktiven Gruppen. So stellten sie fest, dass bei Personen, deren Myopien erst spät begonnen hatten (late-onset Myopia), der Betrag der TA geringer war als der von Emmetropen, Hyperopen und Personen, deren Myopie schon früh begann.^{91 92}

Personen mit einer niedrigen TA neigten eher zu dem Hysterese-Effekt, welcher durch den parasymphathischen Anstieg der TA entstand, als Personen mit einem hohen Ausgangswert. M. Bullimore und B. Gilmartin folgerten daraus, dass bei Personen mit geringer TA die sympathisch erzeugte Hemmung unangemessen funktioniert und sie deshalb eher zu Hysterese-Effekten tendieren. Der Einfluss des sympathischen Nervensystems ist anscheinend besonders wichtig, um ein Gleichgewicht zu erzeugen und die entstehende positive Akkommodation schnell wieder abzubauen.⁹³

Betrachtet man die Ergebnisse der Winn et al. Studie von 1991, so können auch kognitive Leistungen den Akkommodationszustand verändern.⁹⁴ Sowohl unter close- als auch unter open-loop Bedingungen wurden Veränderungen des Akkommodationszustandes gefunden. War die mentale Verarbeitung direkt mit dem visuellen Stimulus (z.B. Suche nach Buchstaben) verbunden, kam es zu größeren Veränderungen des Akkommodationszustandes, als bei kognitiven Leistungen, welche nur zufällig mit der visuellen Aufgabe verknüpft waren (z.B. Lösen einer Rechenaufgabe während des Betrachtens eines visuellen Objektes).

Die Veränderungen unter close-loop Bedingungen waren, wie erwartet, sehr gering, denn sie werden durch die optischen Faktoren begrenzt. Die Tiefenschärfenanforderungen lassen eine maximale Änderung des Akkommodationszustandes von $\pm 0,25$ dpt zu.

Unter open-loop Bedingungen konnte Winn et al. hingegen sogar eine Beziehung zwischen der durch kognitive Verarbeitung hervorgerufenen Veränderung der TA und dem Ausgangslevel der TA herleiten. Je niedriger das Ausgangslevel, desto

⁹¹ Bullimore, M., Gilmartin, B.: Aspects of Tonic Accommodation in Emmetropia and Late-Onset Myopia Am J Optom & Physiol Optics, 1987, Vol.64, S.499-503

⁹² Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.15f.

⁹³ Bullimore, M.A., Gilmartin, B.: Tonic Accommodation, Cognitive Demand, and Ciliary Muscle Innervation Am J Optom & Physiol Optics 1987, Vol.1, S.45-50

⁹⁴ Winn, B., Gilmartin, B., Mortimer, L., Edwards, N.: The effort on open- and closed-loop accommodation, Ophthal. Physiol. Opt., 1991, Vol. 11, S. 335-339

mehr wächst die TA an. Es scheint eine proportionale Verknüpfung zu bestehen, da die Neigung der im Mittel erzeugten Veränderung, sowohl bei kognitiven Aufgaben, welche mit der Sehaufgabe verbunden waren als auch bei zusammenhangloser Betrachtung eines Sehobjektes, auftrat (Abbildung 21).

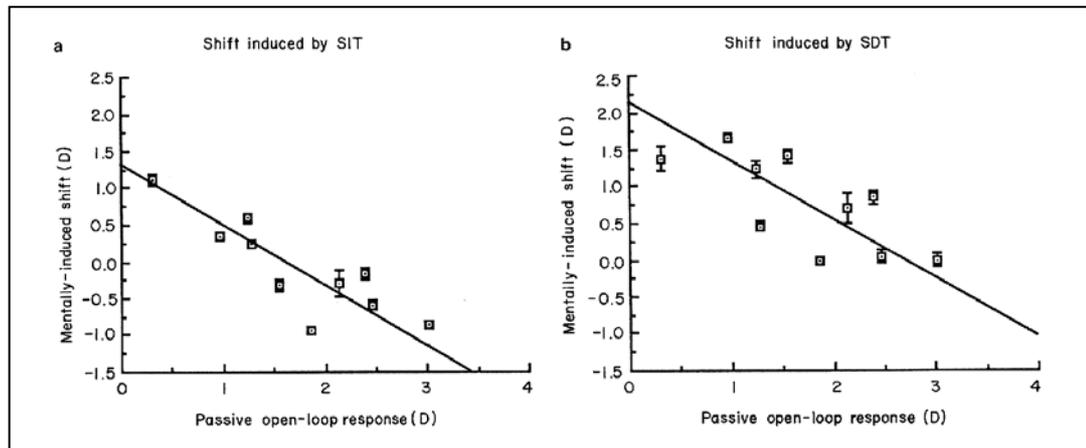


Abbildung 21: Korrelation zwischen passiver TA und der durch mentale Aufgaben verursachten Akkommodationszustandsänderung der TA. a) mentale Aufgabe verbunden mit der Sehaufgabe b) mentale Aufgabe indirekt verbunden mit der Sehaufgabe.⁹⁵

Die Beeinflussung der TA bei beiden Aufgaben unterscheidet sich lediglich im passiven Ausgangslevel. Hierfür spricht eine unterschiedlich große Hintergrundaktivität während der Ausübung der Aufgabe, welche sicherlich von einer Kombination der beiden Faktoren Näheempfinden und mentaler Leistung abhängig ist.

Die Vermutung, dass es eine Koppelung zwischen kognitiven Faktoren und dem Näheempfinden gibt, hatten auch Rosenfield und Gilmartin. Sie entwickelten folgende Formel zur Abschätzung der durch mentale Verarbeitung erzeugten Veränderung der TA:

$$\text{Veränderung der TA} \approx [\text{proximale Akko. (i.d.R. 2,5dpt)} - \text{TA (Ausgangslevel)}] \times 0,6 \frac{\text{dpt}}{\text{dpt}}$$

Formel 1: zur Abschätzung der durch mentale Verarbeitung erzeugten Veränderung der TA.⁹⁶

⁹⁵ Winn, B., Gilmartin, B., Mortimer, L., Edwards, N.: The effort on open- and closed-loop accommodation, *Ophthalm. Physiol. Opt.*, 1991, Vol. 11, S. 335-339

⁹⁶ Winn, B., Gilmartin, B., Mortimer, L., Edwards, N.: The effort on open- and closed-loop accommodation, *Ophthalm. Physiol. Opt.*, 1991, Vol. 11, S. 335-339

Wendet man die Formel 1 auf die Person mit dem niedrigsten TA-Ausgangslevel von 0,31dpt in der Studie an, so ergibt sich eine Veränderung der TA von 1,5dpt = $[2,5\text{dpt} - 0,31\text{dpt}] * 0,6^{\text{dpt}/\text{dpt}}$. Dieser Wert stimmt annähernd mit der tatsächlich gemessenen Veränderung von 1,38dpt überein.

Birnbaum entwickelte eine weitere Theorie des Nahpunktstress, welche durch mentale Leistung verursacht wird. Allerdings ist die Theorie unabhängig von dem TA-Ausgangslevel. Er vermutete, dass Stressfaktoren (z.B. kognitive Verarbeitung des gelesenen Textes) das sympathische Nervensystem stärker stimulieren und so eine erhöhte sympathische Innervierung des Ziliarmuskels hervorgerufen wird. Der Akkommodationszustand würde dann durch die hemmende Wirkung des Sympathikus herabgesetzt und der Einstellpunkt befände sich folglich in Richtung Ferne versetzt. Da die Person weiterhin scharf sehen muss, würde der Ziliarkörper eine stärkere parasympathische Innervierung/ Aktivierung benötigen. An dieser zusätzlichen Innervierung/ Aktivierung der Akkommodation wäre gleichzeitig eine Konvergenzbewegung der Augen gekoppelt. Als Konsequenz würde die Konvergenz dazu tendieren, dichter als die Akkommodation zu liegen.⁹⁷

Die Tendenz zu einer esophoren Bewegung bei kürzeren Perioden der anhaltenden Nahfixation bewies Birnbaum auch in seiner Studie 1985.⁹⁸ Hier zeigten 18% der Testpersonen eine signifikante Änderung von über $5^{\text{cm}}/\text{m}$ in Richtung Eso-Phorie (Kapitel 3.15) und nur 2% überhaupt eine Bewegung in Richtung Exo-Phorie (Kapitel 3.16).

Ehrlich fand 1987 in seiner Studie ebenfalls einen Zusammenhang zwischen dem Akkommodationsstress (= benötigte Akkommodation – TA) und der entstandenen Änderung der Phorie in Richtung Eso-Phorie. Allerdings führte Ehrlich die Esobewegung auf ein Ermüden der Akkommodation und nicht alleine auf die einsetzende sympathische Wirkung zurück. Ehrlich folgerte, dass durch das Nachlassen der Akkommodation zusätzliche Akkommodation innerviert/ aktiviert wird und dass dies zu einem Anstieg der akkommodativen Konvergenz führte (Abbildung 22). Bei einer Dauerbelastung der Akkommodation über zwei Stunden

⁹⁷ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.39

⁹⁸ Birnbaum, M.: An esophoric shift associated with sustained fixation, Am J Optom & Physiol Optics 1985, Vol. 62, S. 732-735

findet er des Weiteren einen Anstieg der TA mit zunehmendem Ausgangslevel (Abbildung 23).⁹⁹

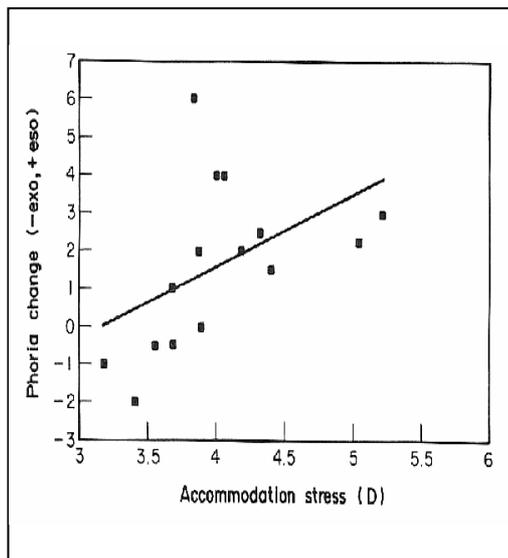


Abbildung 22: Änderung der Phorie mit zunehmenden Akkommodationsstress¹⁰⁰

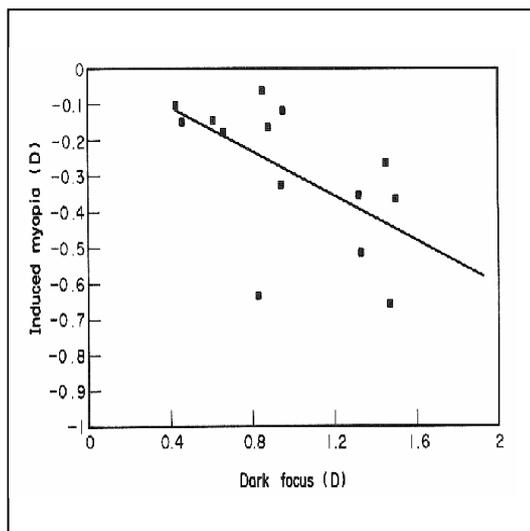


Abbildung 23: Zunahme der TA mit wachsendem TA-Ausgangslevel¹⁰¹

Der in Abbildung 23 zu sehende Anstieg der TA mit zunehmendem Ausgangslevel widerspricht den Ergebnissen der bisher erwähnten Studien. Auch in der Studie von Bullimore und Gilmartin fand man keinen linearen Anstieg der TA mit zunehmendem Ausgangslevel. Betrachtet man nur die in Abbildung 24 entstandene

⁹⁹ Ehrlich, D.L.: Near vision stress: Vergence adaptation and accommodative fatigue, *Ophthalm. Physiol. Opt.*, 1987, Vol. 7, S. 353-357

¹⁰⁰ Ehrlich, D.L.: Near vision stress: Vergence adaptation and accommodative fatigue, *Ophthalm. Physiol. Opt.*, 1987, Vol. 7, S. 353-357

¹⁰¹ Ehrlich, D.L.: Near vision stress: Vergence adaptation and accommodative fatigue, *Ophthalm. Physiol. Opt.*, 1987, Vol. 7, S. 353-357

Veränderung der TA unter Anwendung von Kochsalzlösung/ Saline (unveränderten Zustand), so war deren Anstieg bei mittlerem Ausgangslevel am größten.

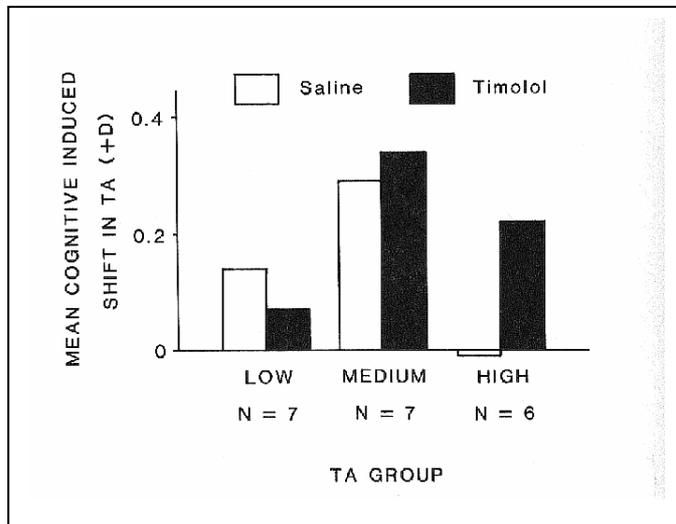


Abbildung 24: Veränderung der TA unter Kochsalzlösung und Timolol.¹⁰²

Innerhalb dieser Diplomarbeit ist eine zuverlässige Aussage über den Einfluss von Naharbeit auf die TA nicht möglich. Widersprüchliche Aussagen können allein durch die geringe Teilnehmerzahl an den einzelnen Studien begründet sein. Im Durchschnitt lag die Anzahl der Testpersonen bei ca. 20.

¹⁰² Bullimore, M.A. und Gilmartin, B.: Tonic Accommodation, Cognitiv Demand, and Ciliary Muscle Innervation Am J Optom & Physiol Optics 1987, Vol.1, S.45-50

2.4 Erkenntnisse zur Vergenz

Nach der DIN 5340 Nr. 442 beschreibt die Vergenzstellung eine Stellung der beiden Augen zueinander, die durch den Winkel zwischen den Fixierlinien und dem Winkel zwischen den Vertikalmeridianen bestimmt wird.¹⁰³ Die eingenommene Vergenzstellung wird durch vier Teilfunktionen charakterisiert:

- Tonische Vergenz
- Akkommodative Vergenz
- Fusionale Vergenz
- Psychische Vergenz.

2.4.1 Tonische Vergenz

Bei Fehlen von visuellen Stimuli nehmen die Augen mittels tonischer Vergenz, welche durch einen Tonus in den äußeren Augenmuskeln verursacht wird, eine bestimmte Vergenzstellung ein. Diese Vergenzstellung wird auch als Vergenz-Ruhestellung („resting“) oder „dark vergenz position“ bezeichnet (Kapitel 3.17). Im Mittel liegt sie bei 3° Konvergenz oder 120cm.¹⁰⁴ Sie ist der Ausgangspunkt für alle aktiven Vergenzreaktionen und dient als Referenzpunkt zur Beurteilung aller Entfernungsempfindungen, welche über das Vergenzsystem vermittelt werden.

Werden zentrale Kontrollmechanismen z.B. durch Abnahme der Helligkeit oder unter Einfluss von Alkohol, Hypoxia oder Barbituraten reduziert, so gehen die Augen zunehmend in eine mittlere Vergenzstellung über¹⁰⁵. Diese scheint eng mit dem Ruhe- bzw. Tonuszustand verbunden zu sein. Aufgrund dieser Erkenntnisse liegt auch die Vermutung nahe, dass in diesen Fällen sensorische Prozesse die Genauigkeit der fusionalen Vergenz einschränken. Dafür würden auch die Versuche mit Kleinkindern (unter sechs Monaten) hinsichtlich der Genauigkeit ihrer Fixation von Objekten sprechen. Diese können Objekte am genauesten fixieren, wenn die

¹⁰³ DIN 5340, Begriffe zur Physiologischen Optik, Berlin (Beuth) 1998, S.31

¹⁰⁴ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.43

¹⁰⁵ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.40

Objekte in ihrer dem Ruhe- bzw. Tonuszustand entsprechenden Vergenzstellung liegen. Die Genauigkeit der Fixation nimmt in den ersten sechs Monaten sehr schnell zu. In dieser Zeit entwickeln sich auch die sensorischen Mechanismen des Binokularsehens sehr rasch.

Daraus folgernd könnte man also annehmen, dass Personen mit unterentwickelten sensorischen Prozessen dazu neigen, eher eine Vergenzstellung einzunehmen, welche in Richtung ihres Ruhe- bzw. Tonuszustandes versetzt ist.

Wie Prismenadaptationsversuche zeigen, scheint die tonische Vergenzstellung, ebenfalls, ähnlich der tonischen Akkommodation, anpassungsfähig zu sein. Verändert man den fusionalen Vergenzbedarf durch Tragen von Prismen, so konnte man in Versuchen eine Verschiebung der tonischen Vergenzstellung beobachten.¹⁰⁶ Die Verschiebung fand in der Richtung statt, in welcher der fusionale Vergenzbedarf höher war. Die Reduzierung des fusionalen Vergenzbedarfes wurde solange vorgenommen, bis sie dem vorherigen (gewohnten) Level entsprach.

Blickt man z.B. durch Prismen Basis außen, so wird die Einstellebene vom Träger weg verschoben. Er benötigt nun einen erhöhten Konvergenzaufwand, um Objekte in der Nähe zu betrachten und einen niedrigeren Divergenzaufwand für weiter entfernte Objekte. Dieser unsymmetrische fusionale Aufwand ruft zuerst innerhalb kürzester Zeit (5-15min) eine Vergenzantwort hervor, welche sich in einer anomalen Phorie (Kapitel 3.12) und einer „fixation disparity“ (Kapitel 3.23) zeigt.¹⁰⁷ Danach findet eine kontinuierliche Verschiebung statt, bis wieder die ursprüngliche laterale (seitliche) Phorie und die Fusionsreserven erreicht sind. Auch die Vergenzgenauigkeit nimmt wieder zu. Am Anfang neigt der Träger dazu, die mit der Vergenzstellung gekoppelten Entfernungen falsch einzuschätzen. In dem oben genannten Beispiel wird im weiteren Verlauf die Entfernung zu gering eingeschätzt und so davor gegriffen.

Schor entwickelte das in Abbildung 25 dargestellte Modell zur Erklärung des Adaptationsvorganges. Er geht davon aus, dass durch die Prismen eine erhöhte retinale Disparation erzeugt wird. Diese stimuliert das Fast-Fusion-System (schnelles Fusionsystem), welches zur Beseitigung der retinalen Disparation

¹⁰⁶ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.68

¹⁰⁷ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.56f.

zuständig ist. Vorübergehend entsteht eine größere „fixation disparity“ (steady-state).

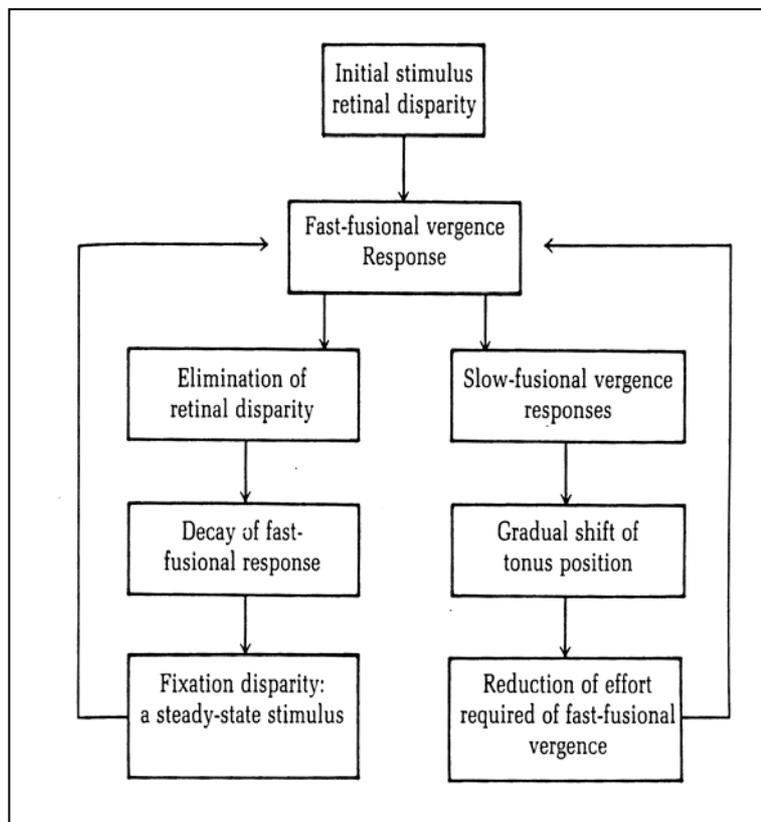


Abbildung 25: Modell nach Schor zur Erklärung des Adaptationsvorganges¹⁰⁸

Das Fast-Fusion-System allerdings zerfällt sehr schnell, so dass es wieder zu einer retinalen Disparation kommt, welche wiederum erneut das Fast-Fusion-System stimuliert. Diese Schleife wiederholt sich so lange, bis sich die tonische Vergenzstellung rekali­briert hat. Die Verschiebung der tonischen Vergenzstellung findet, so vermutet Schor, über das Slow-Fusion-System (langsame Fusionssystem) statt. Dieses System bestimmt teilweise oder vielleicht auch ganz die tonische Vergenzstellung. Das Slow-Fusion-System ist ausdauernder und dient dazu, die Vergenzstellung zu halten, in der keine retinale Disparation mehr auftritt. Es ist gekoppelt mit dem Fast-Fusion-System. Wird der Aufwand des Fast-Fusion-System erhöht, so erhöht sich auch der des Slow-Fusion-Systems. Dies führt zu einer Verschiebung der tonischen Vergenz, bis der ungewöhnliche Stress abgebaut wurde.¹⁰⁹

¹⁰⁸ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.59

¹⁰⁹ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.59f.

Der Abbau ist messbar in einer gleichmäßigen Abnahme der „fixation disparity“ und der Verschiebung der tonischen Vergenzstellung. Die tonische Vergenzstellung verschob sich in den Versuchen immer in Richtung des höheren fusionalen Aufwandes. Werden die vorgesetzten Prismen wieder entfernt, so findet dieser Prozess auch erneut in entgegengesetzter Richtung statt.¹¹⁰

Wie schnell sich das System neu kalibriert (die Oculomotorausrichtung ändert), ist abhängig von den visuellen Anforderungen. Versuche haben gezeigt, dass sich das System umso besser anpassen kann, je mehr Eigenaktivität von der Versuchsperson gefordert war (Abbildung 26 links). Die Änderung der Oculomotorausrichtung erfolgt nach Schor schon innerhalb weniger Minuten. Schor konnte bei einer fusionalen Konvergenzbelastung, hervorgerufen durch 3^{cm}/m Basis außen, eine Veränderung der Phorie in Richtung Konvergenz schon innerhalb von 30 bis 60 Sekunden nachweisen.¹¹¹

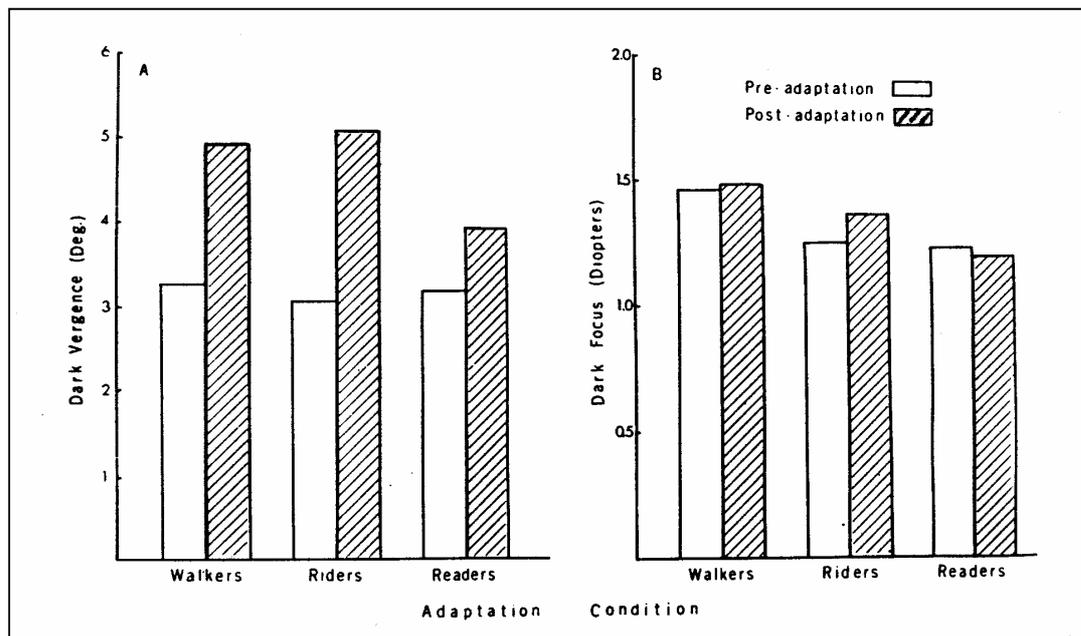


Abbildung 26: Veränderung der tonischen Vergenz und der tonischen Akkommodation nach Prismenadaptationsversuchen mit unterschiedlichen visuellen Anforderungen¹¹²

Bei allen Personen des Adaptationsversuches zeigte sich eine hoch signifikante Änderung in Höhe von 43% vom Betrag der tonischen Vergenz. Die Änderung der

¹¹⁰ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.55ff.

¹¹¹ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.58

¹¹² Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.62

tonischen Akkommodation hingegen war mit 2% nicht signifikant, obwohl diese ebenso über den zusätzliche Kon- bzw. Divergenzbedarf stimuliert wurde (Abbildung 26).

Diese Tatsache bestätigt auch die Untersuchungen von Owens und Leibowitz (1976), welche keine Verknüpfung zwischen der tonischer Akkommodation und der tonischen Vergenzstellung fanden.¹¹³ Das Diagramm in Abbildung 27 zeigt keine Koppelung der beiden Systeme.

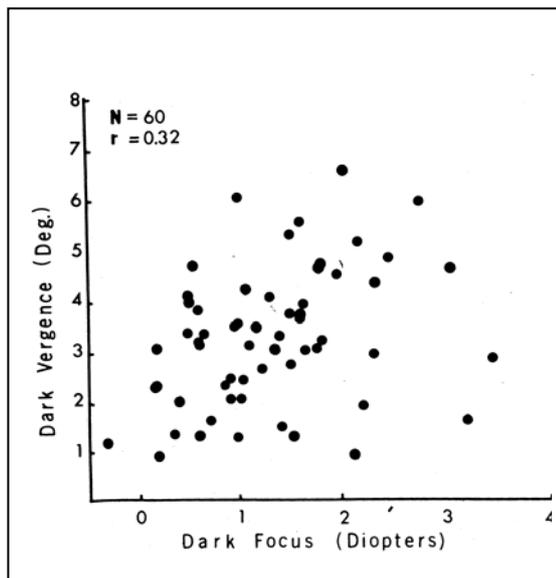


Abbildung 27: Koppelung zwischen tonischer Akkommodation und tonischer Vergenz¹¹⁴

Monokulare Adaptationsversuche von Prismen zeigten keine Veränderung der Phorie und des Entfernungsempfindens. Dieses lässt vermuten, dass die Stimulierung der fusionalen Vergenz durch einen ungewöhnlich hohen Aufwand für die Adaptation von großer Bedeutung ist.¹¹⁵

Die tonische Vergenzstellung ist gleichzeitig auch der Referenzpunkt zur Beurteilung aller Entfernungsempfindungen, welche über das Vergenzsystem vermittelt werden. Owens und Leibowitz fanden 1976 einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen tonischer Vergenzstellung und der wahrgenommenen

¹¹³ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.62

¹¹⁴ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.38

¹¹⁵ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.65

Entfernung.¹¹⁶ Abbildung 28 zeigt einen fast linearen Zusammenhang zwischen tonischer Vergenzstellung und der wahrgenommenen Entfernung.

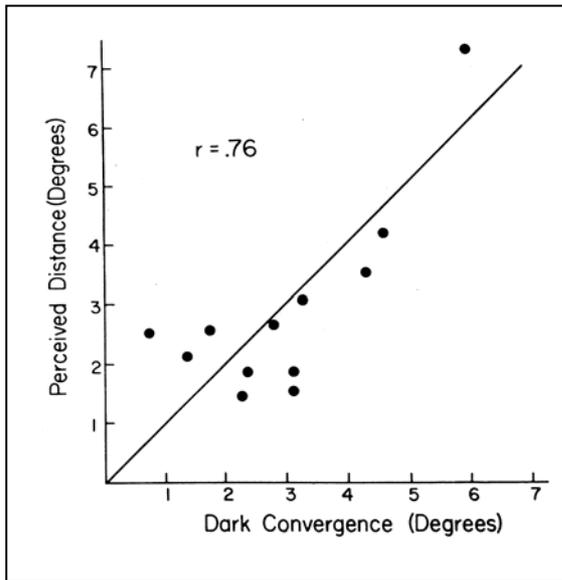


Abbildung 28: Koppelung zwischen tonischer Vergenzstellung und wahrgenommener Entfernung¹¹⁷

Eine Beziehung zwischen der wahrgenommenen Entfernung und der tonischen Akkommodationslage konnten Owens und Leibowitz hingegen nicht nachweisen, wie in Abbildung 29 dargestellt ist.¹¹⁸

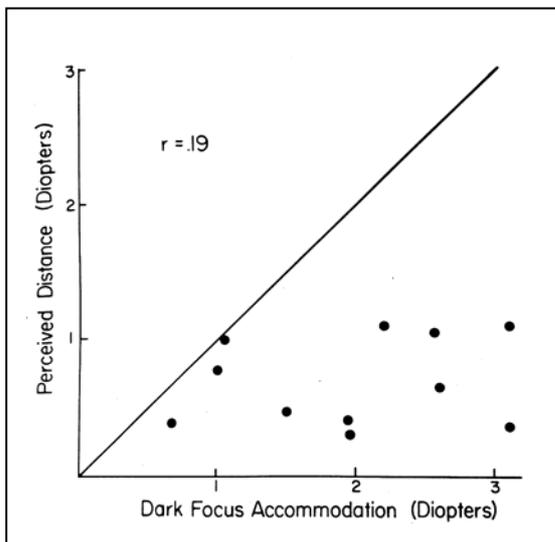


Abbildung 29: Koppelung zwischen tonischer Akkommodation und wahrgenommener Entfernung¹¹⁹

Unter open-loop Bedingungen (z.B. Dunkelheit) werden Entfernungen immer in Richtung der tonischen Vergenzstellung eingeschätzt. Dies bedeutet, dass geringere Abstände gewöhnlich zu groß und größere Distanzen zu klein beurteilt werden. Am

¹¹⁶ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.48f.

¹¹⁷ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.50.

¹¹⁸ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.48

¹¹⁹ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.49

exaktesten können Entfernungen, die der tonischen Vergenzstellung entsprechen, eingeschätzt werden.¹²⁰ Dieses Phänomen konnte sogar auch monokular nachgewiesen werden.

Zur Beurteilung des Entfernungsempfindens wurden der Vestibuloocular-Reflex (Kapitel 3.5) und das Blickfolge- (Pursuit) System (Kapitel 2.2.3) herangezogen. Der Vestibuloocular-Reflex dient dazu, das Objekt in der Fovea zu fixieren und das Blickfolge- (Pursuit) System greift ein, wenn es darum geht, bewegte Objekte zu verfolgen. Im Versuch wurden im dunklen Raum sowohl der Kopf der Testperson als auch das Fixationsobjekt in gleicher Richtung und Geschwindigkeit bewegt. Schätzt der Betrachter die Entfernung zum Objekt falsch ein, so ist sein Vergenzsystem nicht korrekt auf das Objekt ausgerichtet. Bei Bewegung kommt es deshalb zu einer Scheinbewegung des Objektes, da das Blickfolge- (Pursuit) System eingreifen muss, um die Fixation aufrecht zu erhalten. Die Richtung der Scheinbewegungen ist abhängig von der Vergenzstellung der Augen. Wird die Entfernung zu gering eingeschätzt, so kommt es zu einer gegenläufigen Bewegung und anderenfalls zu einer mitläufigen.¹²¹

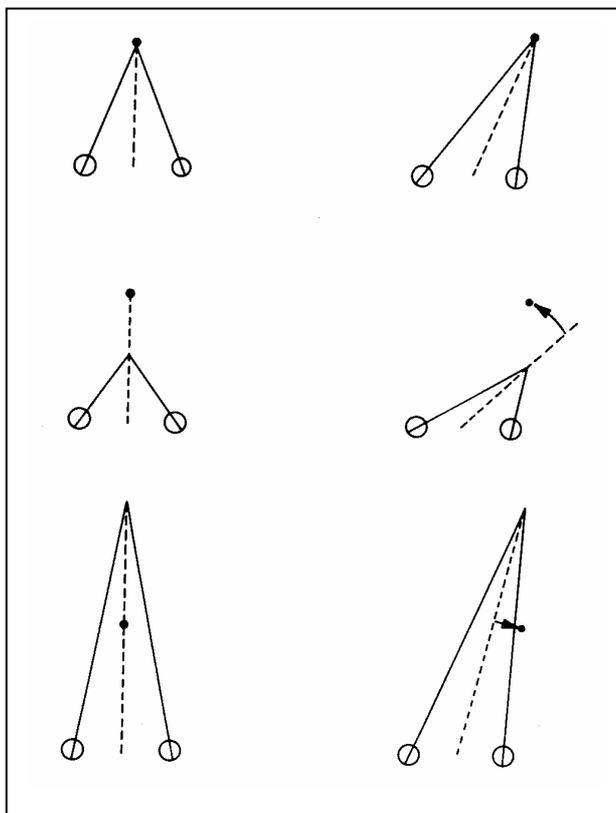


Abbildung 30: Überprüfung der wahrgenommenen Entfernung mittels Vestibuloocular-Reflex und Blickfolge- (Pursuit) System¹²²

¹²⁰ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.54

¹²¹ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.51ff.

¹²² Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.52

Wird durch das Vorsetzen von Prismen der Referenzpunkt verlagert, so stellt sich auch hier nach kurzer Zeit das gewohnte Entfernungsempfinden wieder ein. Basis außen Prismen führen dazu, dass die tonische Vergenzstellung und mit ihr der Referenzpunkt vom Betrachter weg verschoben werden. Möchte die Person nun einen Gegenstand ergreifen, so wird sie die Entfernung unterschätzen und davor greifen. Nach Änderung der Oculomotorausrichtung liegt die tonische Vergenzstellung und damit auch der Referenzpunkt für die wahrgenommene Entfernung näher am Betrachter und die Person wird die Entfernung wieder wie gewohnt einschätzen.

Zusammenfassend kann man demnach feststellen, dass die tonische Vergenzstellung den Ausgangspunkt aller aktiven Vergenzantworten repräsentiert und den für die Raumwahrnehmung wichtigen Referenzpunkt liefert. Sowohl der motorische als auch der Wahrnehmungsprozess wird durch Verlagerung der tonischen Vergenz aus dem Gleichgewicht gebracht. Diese Störung ruft innerhalb weniger Minuten eine Verlagerung der tonischen Vergenzstellung in Richtung der zuvor gewohnten Fixationsentfernung hervor. Somit werden die gewohnten Fusionsbreiten und die vertrauten Wahrnehmungen wieder hergestellt.¹²³

2.4.2 Akkommodative Vergenz

Zwischen Akkommodation, Vergenz und Pupillendurchmesser besteht in der Nähe eine Koppelung (cross-link). Dieser wird als Nah-Trias oder „near triad“ bezeichnet. Der experimentelle Nachweis ist einfach. Unterbricht man z.B. unter open-loop Bedingungen (Kapitel 3.4) die Unschärferückkoppelung der Akkommodation (z.B. durch das Aufsetzen einer Kontaktlinse mit verkleinertem Pupillendurchmesser), so wird der Akkommodationszustand durch eine Veränderung der Vergenzstellung beeinflusst. Hält man beispielsweise ein $5^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma Basis außen (B.a.) zeitweise vor ein Auge, so wird durch die Vergenzbewegung gleichzeitig auch die Akkommodation stimuliert (Abbildung

¹²³ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.68

31). Man spricht von konvergenzinduzierter Akkommodation (convergence accommodation).¹²⁴

Den Betrag, um den eine Vergenzänderung die Akkommodation beeinflusst, misst man im CA/C Ratio (Kapitel 3.25).

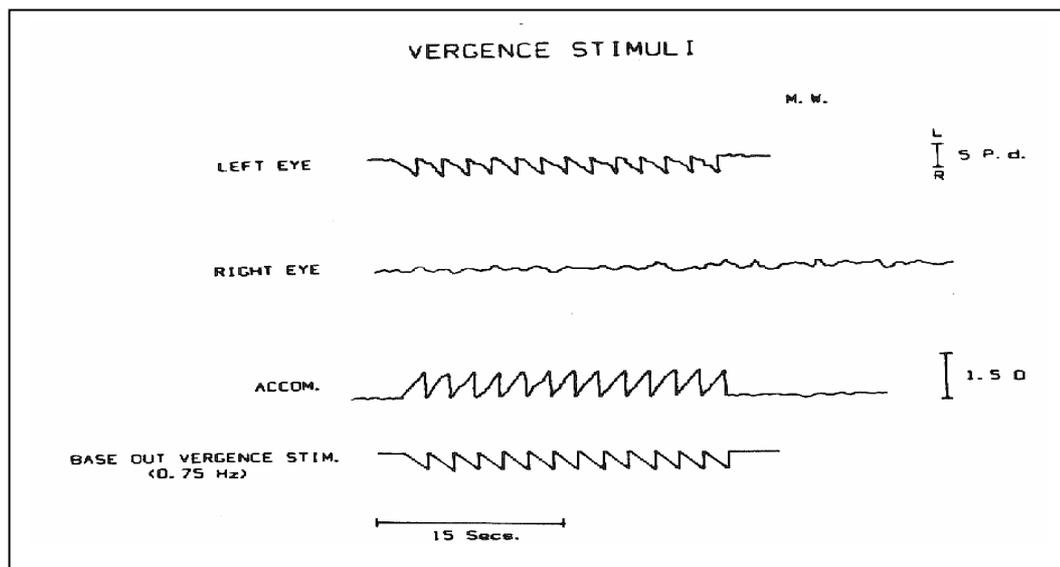


Abbildung 31: Veränderung der Vergenz und der Akkommodation beim Vorhalten eines 5^{cm}/m B.a. Prismas mit 0,75HZ¹²⁵

Diese Koppelung funktioniert auch umgekehrt. Verändert man den Akkommodationszustand, so nehmen entsprechend die Fixierlinien einen anderen Winkel zueinander ein. Die durch Akkommodation erzeugte Vergenzänderung misst man mit der AC/A Ratio (Kapitel 3.24). Ursache für die Vergenzänderung ist die mit der Akkommodation einsetzende akkommodative Vergenz (accommodative convergence). Wird auf der Netzhaut ein Gegenstand unscharf abgebildet, so wird durch den „klassischen optischen Reflex“ (classical optical-reflex) eine Akkommodationsantwort hervorgerufen (Kapitel 2.3.1). Untersuchungen zufolge läuft diese Reaktionsantwort zum größten Teil über das „phasische“ System (phasic) ab.¹²⁶ An dieses System ist gleichzeitig die Vergenz gekoppelt. Findet eine Akkommodationsänderung statt, so setzt gleichzeitig die akkommodative Vergenz

¹²⁴ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

¹²⁵ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

¹²⁶ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

ein und es kommt zu einer Konvergenzbewegung der Augen. Unterbindet man hingegen durch Aufsetzen einer Kontaktlinse mit verkleinertem Pupillendurchmesser die durch Unschärfe bedingte Akkommodationsantwort, so tritt diese Anpassung des Vergenzsystems nur im geringen Maße oder gar nicht ein.

Ist die Anpassungsfähigkeit (Kapitel 3.30) des Akkommodations- sowie des Vergenzsystems annähernd gleich sind, so werden auch die AC/A und CA/C Werte nach Schor der Norm entsprechend ausfallen.¹²⁷ Hierbei ist die Höhe der Anpassungsfähigkeit sekundär. Die beiden Systeme können demnach beide niedrige oder hohe Anpassungsfähigkeiten besitzen.

Ist die Anpassungsfähigkeit allerdings ungleich, so fällt entweder der AC/A hoch und der CA/C Ratio niedrig oder umgekehrt aus. Man spricht dann von einem Ungleichgewicht (inbalance). Die Anpassungsfähigkeit des Vergenzsystems hat auf das CA/C Verhältnis einen größeren Einfluss als die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation. Deshalb gilt: Je anpassungsfähiger das Vergenzsystem, desto niedriger ist die CA/C Ratio. Ähnliches gilt für die AC/A Ratio. Je anpassungsfähiger das Akkommodationssystem ist, desto niedriger fällt die AC/A Ratio aus.

Vergence Adaptation	Accommodative Adaptation		
	High	Moderate	Low
High	4 ^{PD} / _D	6 ^{PD} / _D	8 ^{PD} / _D
Moderate	3 ^{PD} / _D	5 ^{PD} / _D	7 ^{PD} / _D
Low	2 ^{PD} / _D	4 ^{PD} / _D	6 ^{PD} / _D
High	0,5 ^D / _{MA}	0,25 ^D / _{MA}	0,0 ^D / _{MA}
Moderate	1,0 ^D / _{MA}	0,75 ^D / _{MA}	0,5 ^D / _{MA}
Low	1,5 ^D / _{MA}	1,25 ^D / _{MA}	1,0 ^D / _{MA}

Tabelle 7: AC/A und CA/C Ratio in Abhängigkeit von der Anpassungsfähigkeit des Vergenz- oder Akkommodationssystems.¹²⁸

Die Erklärung der Einheiten findet man in Kapitel 3.24 und Kapitel 3.25.

Anhand der Tabelle 7 wird deutlich, dass die AC/A Ratio, beschrieben in dem oberen Teil der Tabelle, nur dann der Norm entsprechende Durchschnittswerte (4-6^{PD}/_D) erreicht, wenn die Anpassungsfähigkeit der beiden Systeme annähernd gleich

¹²⁷ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

¹²⁸ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

ist. Entsprechendes gilt für die CA/C Ratio, welche im unteren Teil der Tabelle aufgelistet ist. Hierbei betragen die Normdurchschnittswerte $0,5-1,0^D/MA$.

Weicht die AC/A oder die CA/C Ratio von der Norm ab, so liegt demzufolge ein Ungleichgewicht der Anpassungsfähigkeit des Vergenz- oder des Akkommodationssystems vor. Würde man die Anpassungsfähigkeit des entsprechenden Systems ändern, so müsste sich daraufhin auch die Ratio ändern. Untersuchungen von Schor bestätigen diese Vermutungen. Abbildung 32 zeigt die Koppelung des Vergenz- und Akkommodationssystems von Testperson C.M. beim zeitweisen Vorhalten eines $-2,0\text{dpt}$ Glases. Das Vergenzsystem wird durch das Minusglas kaum beeinflusst. Die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation ist also hoch.

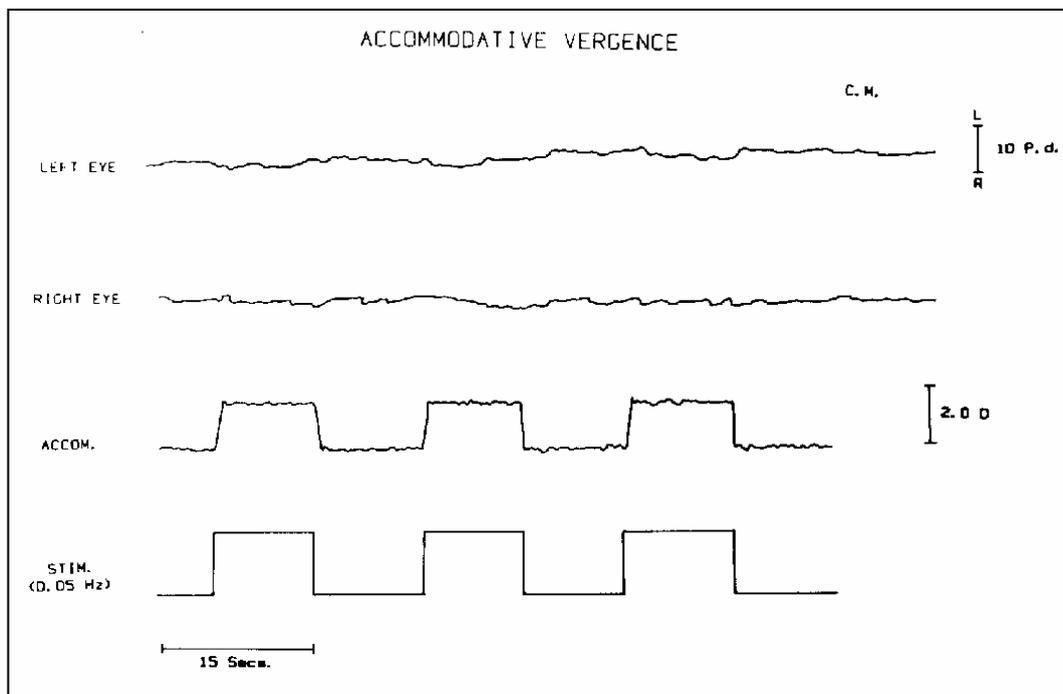


Abbildung 32: Akkommodative Vergenzreaktion beim monokularen Vorhalten eines $-2,0\text{dpt}$ Glases vor der „ramp tracking“ Übung.¹²⁹

Schor versuchte nun die Folgen einer Akkommodationsbelastung zu untersuchen. Hierzu führte der Proband eine vierminütige monokulare „ramp tracking“ Übung mit einem $-2,0\text{dpt}$ Glas durch. Hierbei musste die Testperson abwechselnd ohne und durch ein Minusglas einen Text betrachten. Der Wechsel betrug $0,75\text{Hz}$, was in etwa 40-mal pro Minute entspricht.

¹²⁹ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

Abbildung 33 zeigt die an die Akkommodation von $-2,0\text{dpt}$ gekoppelte Vergenzbewegung nach der vierminütigen „ramp tracking“ Übung. Nun ist eine deutliche Konvergenzbewegung der Augen beim Akkommodieren zu sehen. Schor begründet die einsetzende Vergenzanpassung durch ein Ermüden (fatigue) der Akkommodationanpassungsfähigkeit. Die AC/A Ratio veränderte sich so von $2^{\text{PD}}/\text{D}$ auf $4^{\text{PD}}/\text{D}$.

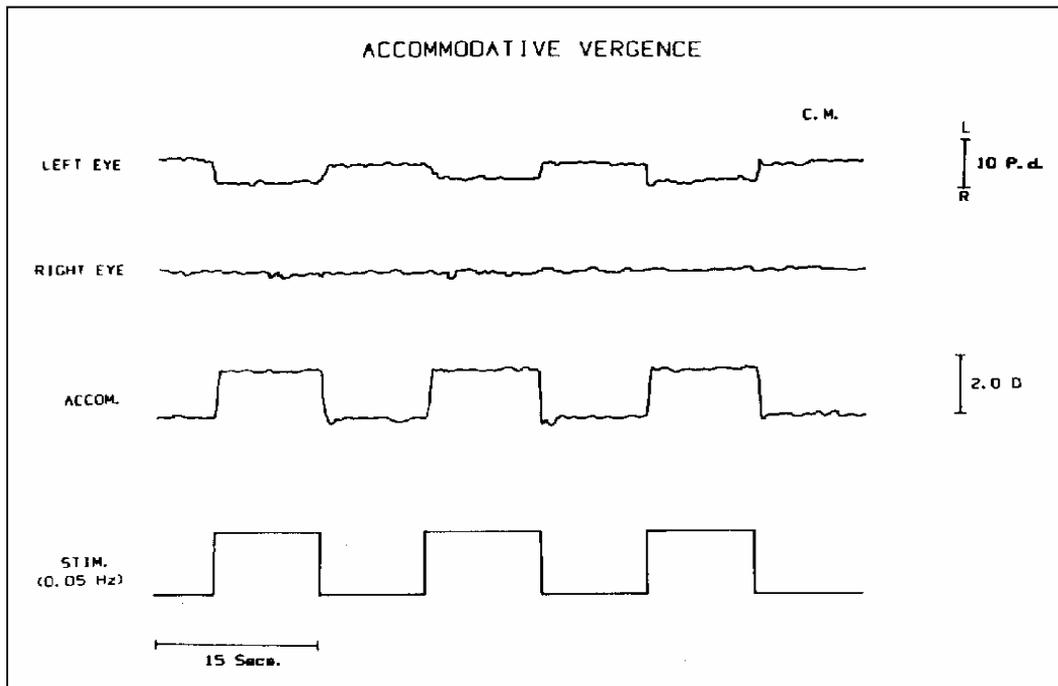


Abbildung 33: Akkommodative Vergenzreaktion beim monokularen Vorhalten eines $-2,0\text{dpt}$ Glasses nach der „ramp tracking“ Übung mit einem $-2,0\text{dpt}$ Glas.¹³⁰

Gleiches konnte er anhand der CA/A Ratio feststellen. Nach Ermüden der Akkommodationanpassungsfähigkeit aufgrund der vierminütigen monokularen „ramp tracking“ Aufgabe mit $-2,0\text{dpt}$ nahm die CA/C Ratio ebenfalls von $1,35^{\text{D}}/\text{MA}$ auf $0,9^{\text{D}}/\text{MA}$ ab.

Abbildung 34 zeigt die, durch das Vorhalten eines $4^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma Basis außen, erzeugte akkommodative Reaktionsantwort vor der vierminütigen „ramp tracking“ Übung. Die an die Vergenz gekoppelte Akkommodation ist verhältnismäßig groß.

¹³⁰ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

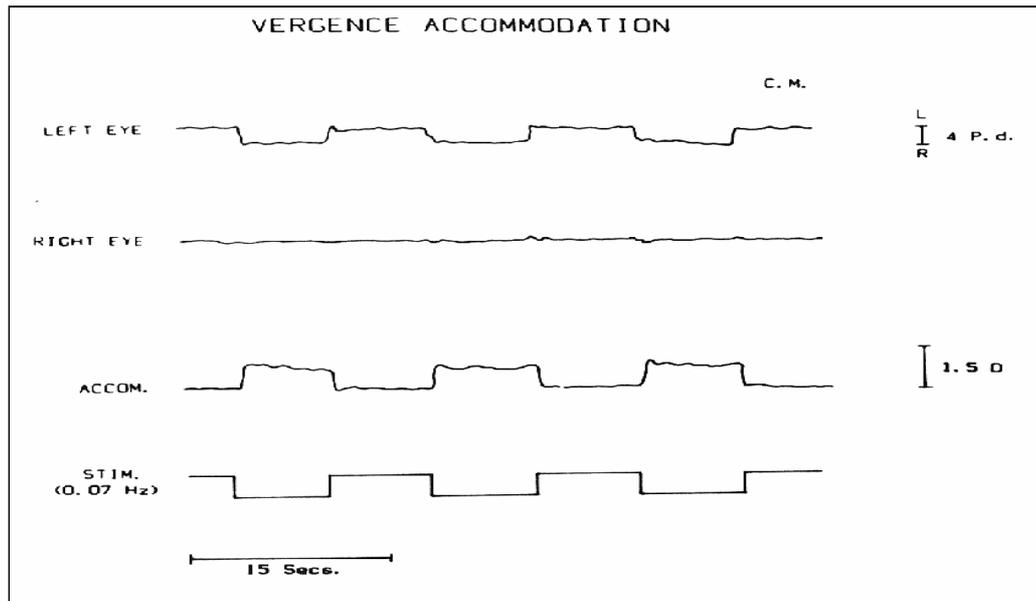


Abbildung 34: Vergenzinduzierte Akkommodation beim Vorhalten eines $4^{cm/m}$ Prisma
B.a. Glasses vor der „ramp tracking“ Übung.¹³¹

Nachdem die Testperson nun eine vierminütige „ramp tracking“ Übung mit einem -2,0dpt Glas durchgeführt hat, wird die an die Vergenz gekoppelte Akkommodation geringer, wie in Abbildung 35 ersichtlich, und das CA/C Verhältnis sinkt.

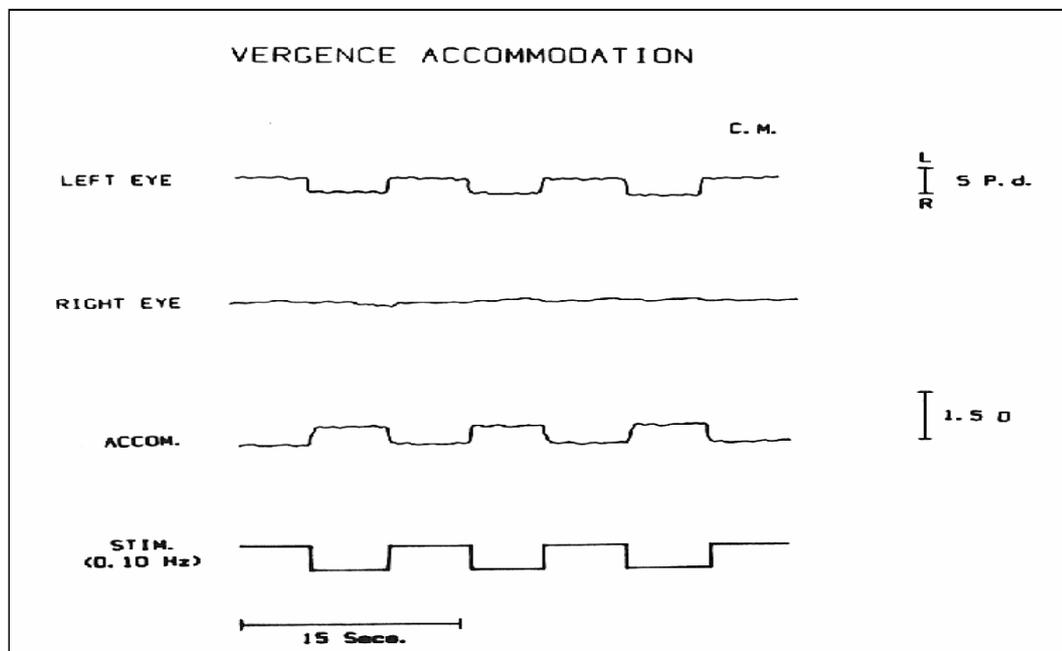


Abbildung 35: Vergenzinduzierte Akkommodation beim Vorhalten eines $5^{cm/m}$ Prisma
B.a. Glasses nach der „ramp tracking“ Übung mit einem -2,0dpt Glas.¹³²

¹³¹ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

Ist die Anpassungsfähigkeit des Vergenzsystems höher und entsteht dadurch ein Ungleichgewicht der AC/A- und CA/C Ratio, so ist deren Angleichung das Ziel. Zum Erreichen gilt es, die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation zu erhöhen und/oder die des Vergenzsystems abzuschwächen. Schor konnte dies durch ein Ermüden der Anpassungsfähigkeit des Vergenzsystems verwirklichen. Die Ermüdung (fatigue) gelang ihm durch eine „vergence ramp tracking“ Aufgabe mit $5^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma Basis außen, welche ebenfalls mit einer Frequenz von 0,75Hz vorgehalten wurde.

Abbildung 36 zeigt die bei der Testperson J.T. durch die Akkommodation erzeugte Vergenzbewegung beim Vorhalten eines -2,0dpt Glases. Das Koppelungsverhältnis ist relativ hoch. Nach absolvieren der vierminütigen „vergence ramp tracking“ Aufgabe mit $5^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma Basis außen ist die Koppelung wesentlich geringer (Abbildung 37). Die AC/A Ratio sinkt von $8^{\text{PD}}/\text{D}$ auf $4^{\text{PD}}/\text{D}$. Schor führt dies auf ein Ermüden des Vergenzsystems zurück.

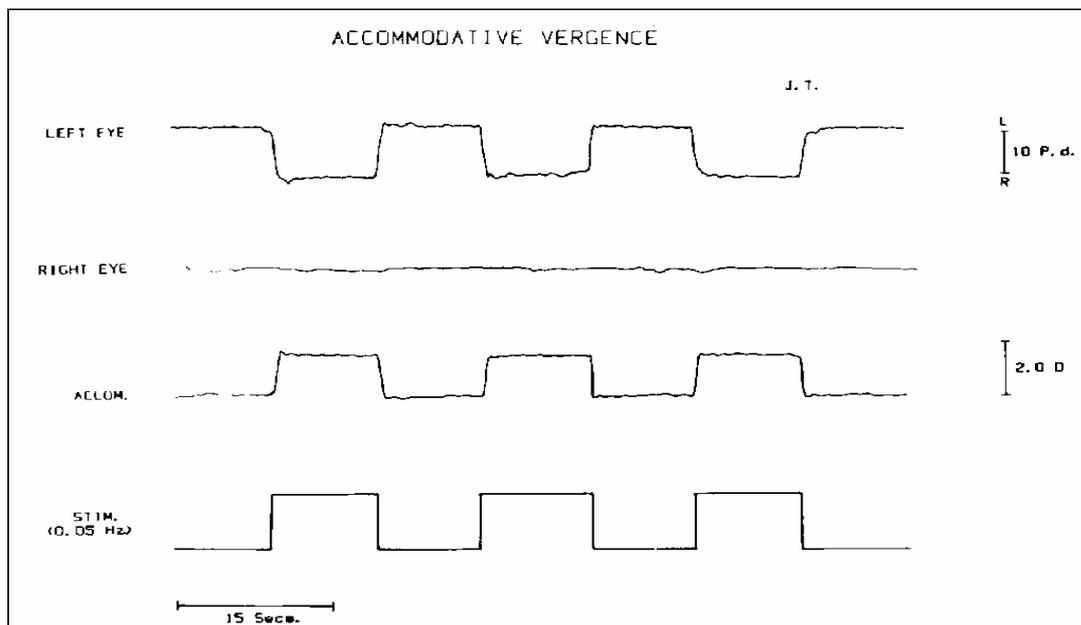


Abbildung 36: Akkommodative Vergenzreaktion beim monokularen Vorhalten eines -2,0dpt Glases vor der „ramp tracking“ Übung mit einem $5^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma B.a. Glas.¹³³

¹³² Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

¹³³ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

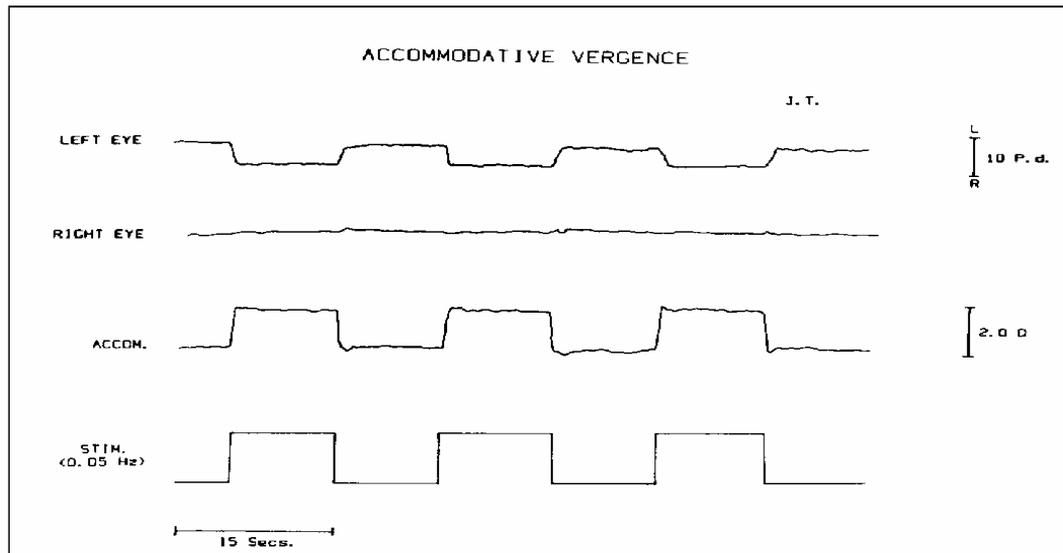


Abbildung 37: Akkommodative Vergenzreaktion beim monokularen Vorhalten eines $-2,0\text{dpt}$ Glases nach der „ramp tracking“ Übung mit einem $5^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma B.a. Glas.¹³⁴

In Abbildung 38 wird die an die Konvergenzbewegung von $8^{\text{cm}}/\text{m}$ gekoppelte Akkommodation der gleichen Testperson vor der „vergence ramp tracking“ Übung dargestellt. Die indirekte Akkommodationsreaktion beim Vorhalten des Prismas ist relativ gering. Nach absolvieren der vierminütigen „vergence ramp tracking“ Aufgabe mit $5^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma Basis außen nimmt die an die Vergenz gekoppelten Akkommodation zu (Abbildung 39). Hiermit ändert sich das CA/C Verhältnis von $0,2^{\text{D}}/\text{MA}$ auf $0,6^{\text{D}}/\text{MA}$.

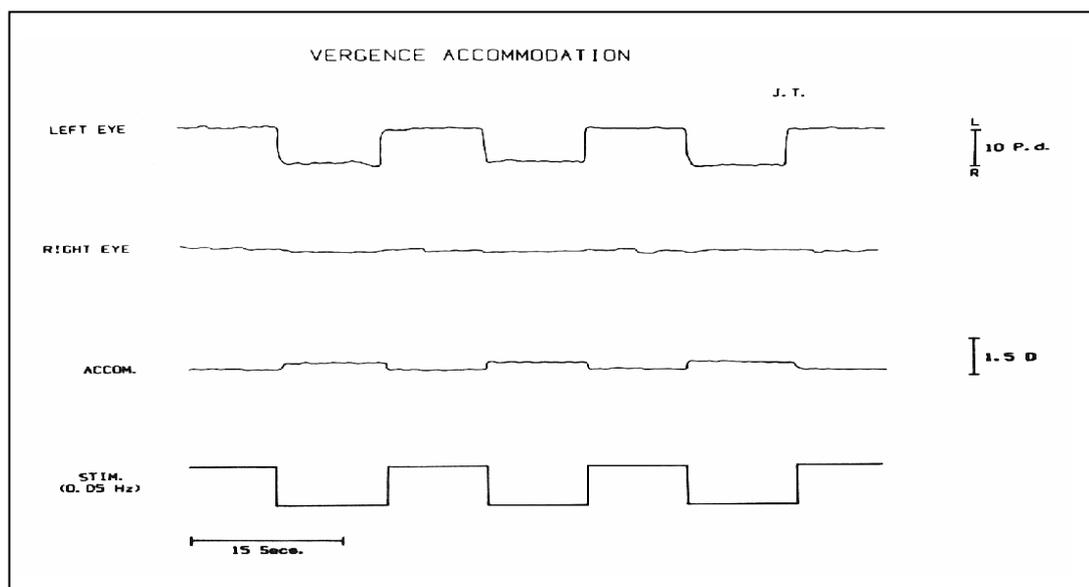


Abbildung 38: Vergenzinduzierte Akkommodation beim Vorhalten eines $8^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma B.a. Glases vor der „vergence ramp tracking“ Übung mit einem $5^{\text{cm}}/\text{m}$ Prisma B.a. Glas.¹³⁵

¹³⁴ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

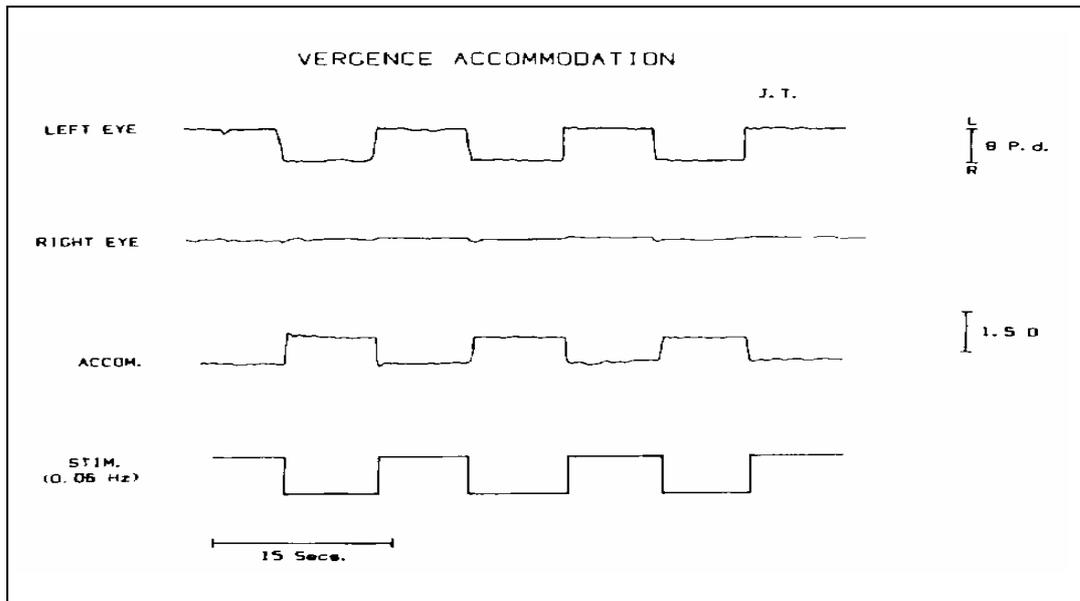


Abbildung 39: Vergenzinduzierte Akkommodation beim Vorhalten eines 8 cm/m Prisma B.a. Glases nach der „ramp tracking“ Übung mit einem 5 cm/m Prisma B.a. Glas.¹³⁶

2.4.3 Fusionale Vergenz

Die fusionale Vergenz ist ebenso wie die unschärfebedingte Akkommodation abhängig von der Ortsfrequenz des visuellen Stimulus.¹³⁷ Im dunklen (dark room) oder strukturlosen (empty field) Raum ist der Betrag der fusionalen Vergenz gleich Null.

Ein weiterer Beeinflussungsfaktor der Größe der fusionalen Vergenz ist die Exzentrizität (Kapitel 3.11) des abgebildeten Objektpunktes von der Netzhautgrubenmitte. Objekte, die innerhalb der Foveola ($\pm 10'$; vgl. Kapitel 2.6.1) abgebildet werden, lösen einen „zentralen“ Fusionsreiz aus. An den zentralen Bereich schließt sich der noch stäbchenfreie Netzhautbereich ($\pm 1^\circ 15'$) an. In diesem Gebiet wirken die „parazentralen“ Fusionsreize. Noch weiter außerhalb wirkende Fusionsreize werden als „periphere“ Fusionsreize bezeichnet (Abbildung 40).¹³⁸

¹³⁵ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

¹³⁶ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

¹³⁷ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.223f.

¹³⁸ Goersch, H.: Die drei notwendigen Testarten zur vollständigen Heterophoriebestimmung, Sonderdruck aus Deutsche Optikerzeitung, Heidelberg 11/1987

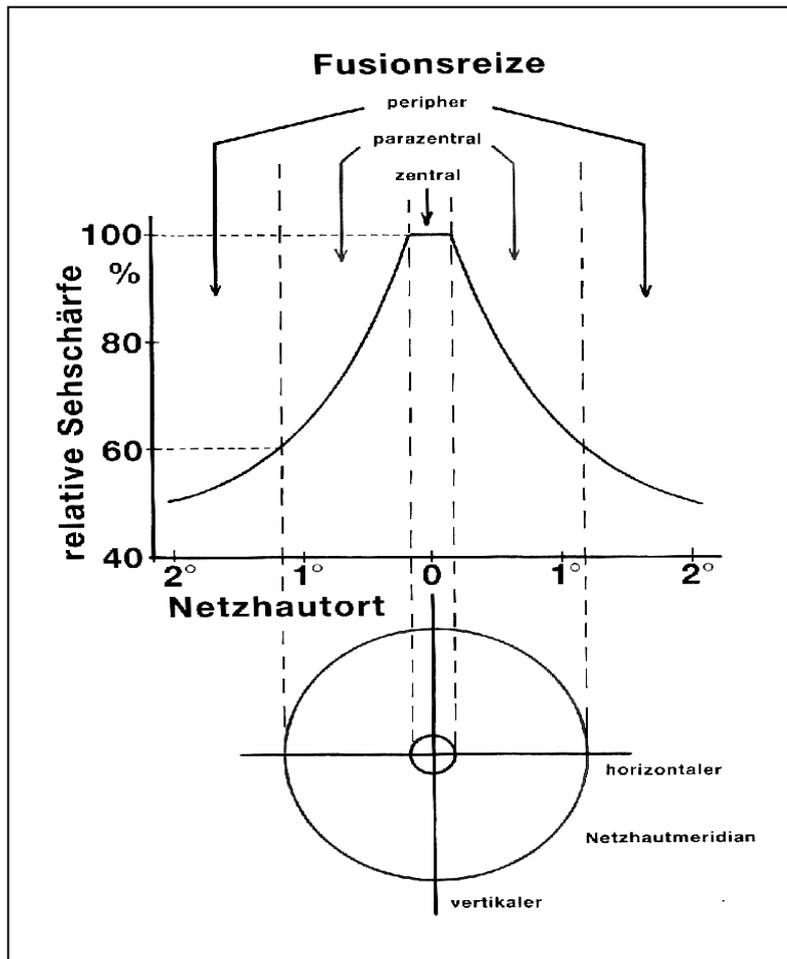


Abbildung 40:
Einteilung der
Fusionsreize nach Lage
der zugehörigen Bilder
auf der Netzhaut.¹³⁹

Je exzentrischer die Lage des Bildpunktes, desto größer werden auch die Panumbereiche dieser Netzhautstelle.¹⁴⁰ Schor beschreibt in Abbildung 41 den Zuwachs der Panumbereiche in Abhängigkeit vom Gesichtsfeldwinkel. Die Größe der Panumbereiche, die Schor hierbei zentral mit 10' angibt, fallen gegenüber denen, in der MKH angegebenen¹⁴¹ oder von T. Schildt zu Diplomarbeitszwecken an der TFH Berlin gemessenen Werten¹⁴², relativ klein aus. Jedoch kann man davon ausgehen, dass der Fehlbetrag verhältnismäßig über die gesamte Messung konstant bleibt und somit weiterhin eine Aussage über das Verhältnis der Panumbereichsgröße zentral zur Peripherie getroffen werden kann.

¹³⁹ Goersch, H.: Die drei notwendigen Testarten zur vollständigen Heterophoriebestimmung, Sonderdruck aus Deutsche Optikerzeitung, Heidelberg 11/1987

¹⁴⁰ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.220f.

¹⁴¹ Haase, H-J.: Zur Fixationsdispertation, Heidelberg 1995, S.81

¹⁴² Schildt, T.: Ausdehnung von Panumbereichen – Untersuchungen zur Messgenauigkeit, Diplomarbeit TFH Berlin 2000

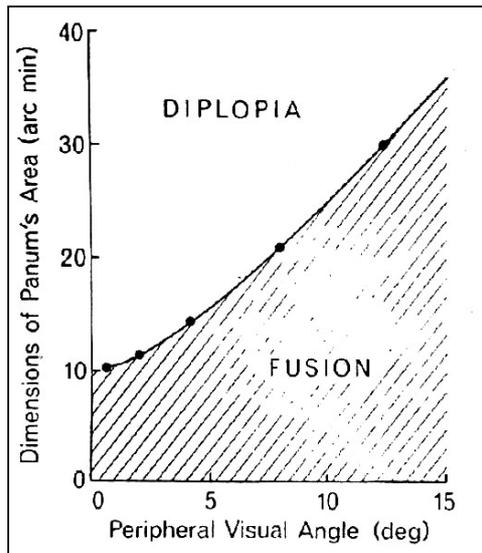


Abbildung 41: Panumbereichsgröße in Abhängigkeit vom Gesichtsfeldwinkel¹⁴³

In der Abbildung 41 ist zu sehen, dass die Größe der Panumbereiche nicht proportional zum Visusabfall zunimmt, denn der Visus fällt zentral stärker als in der Peripherie ab. Demzufolge müsste der Zuwachs der Panumbereichsgröße ebenfalls um das Zentrum herum schneller zunehmen. Dies ist aber nicht der Fall. Stattdessen vergrößert sich die Panumbereichsgröße bis zu einer Exzentrizität von fast 5° nur langsam und danach erfolgt ein fast linearer Anstieg.

Es ist deshalb zu vermuten, dass die Stärke des Fusionsreizes proportional zur Größe der Panumbereichsfläche abnimmt. Somit nähme die Stärke des Fusionsreizes wesentlich langsamer ab als der Visus und der Akkommodationsanreiz (Kapitel 2.3.1).

Die Größe der Fusionsreserven einer Person kann man sowohl in der Ferne als auch in der Nähe bestimmen. Hierbei unterscheidet man des Weiteren zwischen einer direkten Messung der fusionalen Vergenz, bei welcher das Vergenzsystem der Augen durch Prismen verändert wird, und der indirekten Messung. Bei der indirekten Messung wird die Vergenzstellung der Augen durch das Vorhalten von Plus- oder Minusgläsern zu einer positiven oder negativen fusionalen Vergenz gezwungen, damit das betrachtete Sehobjekt weiterhin einfach wahrgenommen wird. Weitere Informationen zur Messung der Fusionsreserven findet man im Kapitel 3.26 und Kapitel 3.28.

¹⁴³ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.220

2.5 **Erkenntnisse zum visuellen Informationsverarbeitungsprozess**

Um „Gesehenes“ deuten zu können, benötigt es vieler, sensorisch miteinander verknüpfter Fertigkeiten. Den Vorgang, welcher die visuelle Aufnahme und die Interpretation des Gesehenen beinhaltet, bezeichnet man auch als visuellen Informationsverarbeitungsprozess (developmental visual information processing; DVIP).¹⁴⁴

Die Verarbeitung von Informationen ist ein erlernter Prozess. Je nach Alter durchläuft jede Person verschiedene Entwicklungsstadien. Den erzielten Leistungen entsprechend werden Punkte (raw score), die mit „Prozentangaben“ (percentile) der entsprechenden Altersklasse verglichen werden können, vergeben. Erreicht ein Kind z.B. 10 raw score, so entspricht dies, in einer dem Test zugehörigen Tabelle, vielleicht 75 percentile. Diese 75 percentile bedeuten nun, dass 25% der Kinder dieser Altersklasse dieses Ergebnis oder mehr erreicht haben und dass 75% der Kinder schlechter waren als das getestete Kind. 75 percentile sind demnach ein gutes Ergebnis. Um die „Prozentangaben“ zu vereinfachen, wurden sie in fünf Leistungsstufen zusammengefasst (Tabelle 8).

0-16 percentile	sehr schwache Leistung
17-35 percentile	unter dem Durchschnitt
36-65 percentile	durchschnittlich
66-83 percentile	über dem Durchschnitt
84-99,9 percentile	sehr gute Leistung

Tabelle 8: Leistungsbewertung der bei den Entwicklungstesten erreichten Prozenten¹⁴⁵

Eine Fehl- bzw. Unterentwicklung der einzelnen sensorisch miteinander verknüpften Fertigkeiten im Informationsverarbeitungsprozess tritt selten isoliert auf. Vom funktional-optometristischen Standpunkt aus unterscheidet man vier Kategorien.¹⁴⁶

¹⁴⁴ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.153

¹⁴⁵ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.154

¹⁴⁶ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.300

- visual-spatial integration skills („visuell-räumliche Verarbeitungsfähigkeit“)
- visual-analysis integration skills („Verarbeitungsfähigkeit visueller Informationen“)
- visual-motor integration skills („Auge-Bewegungs-Koordinationsfähigkeit“)
- auditory-visual integration skills („Auge-Ohr-Koordinationsfähigkeit“).

Innerhalb jeder dieser vier Kategorien werden mittels verschiedener Tests die einzelnen Unterfunktionen untersucht. Um einen kurzen Gesamtüberblick zu erhalten, dient Tabelle 9. Auf die einzelnen Funktionen und den genauen Ablauf der Teste sowie deren Bewertung wird im Folgenden näher eingegangen.

Diagnostic category	Subclassification	Test
VISUAL-SPATIAL SKILLS		
	Bilateral integration	Standing Angels in the Snow
	Laterality	Piaget Test of Right/Left Concepts
	Directionality	Gardner Reversal Frequency: Recognition Subtest
VISUAL-ANALYSIS SKILLS		
	Visual discrimination	TVPS: Visual Discrimination
	Visual closure	TVPS: Visual Closure
	Visual form constancy	TVPS: Visual Form Constancy
	Visual figure ground	TVPS: Visual Figure Ground
	Visual-spatial relations	TVPS: Visual Spatial Relation
	Visual memory	TVPS: Visual Memory
		TVPS: Visual Sequential Memory
VISUAL-MOTOR INTEGRATION SKILLS		
	Visual-motor integration	Developmental Test of Visual-Motor Integration
	Fine-motor skills	Grooved Pegboard Wold Sentence Copy Test
AUDITORY-VISUAL INTERGRATION SKILLS		
	Auditory- visual integration	Auditory-Visual Integration Test

Tabelle 9: Gliederung der Teste zur Beurteilung des visuellen Informationsverarbeitungsprozesses.¹⁴⁷

¹⁴⁷ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.300

Während der Durchführung der Untersuchung ist es besonders wichtig, auch auf die nicht zu den getesteten Funktionen gehörenden Verhaltensmuster zu achten. Durch sie erhält man weitere wertvolle Informationen zur Qualität der gezeigten Leistung. Zu den zu beobachtenden Verhaltensmustern zählt Solan nachfolgende auf:¹⁴⁸

- Körperposition und Körperbewegungen
- Kopfposition und Kopfbewegungen
- motor overflow (Kapitel 3.7)
- Lage des Papiers sowie eventuelle Drehungen des Papiers
- Haltung des Stiftes
- Arbeitsgeschwindigkeit
- benötigter Energieverbrauch
- Aufmerksamkeitsspanne
- Charaktereigenschaften, wie überlegend oder impulsiv
- verbalisiert, um Information zu verarbeiten
- Frustrationslevel
- Ermüdung.

Diese Verhaltensmuster können auch innerhalb der verschiedenen Teste variieren. So kann z.B. die Aufmerksamkeit einer Testperson während eines Tests hoch und bei einem anderen Test hingegen niedrig sein. Dies zeigt sich häufig, wenn ein Kind Schwierigkeiten beim Absolvieren eines bestimmten Verarbeitungsprozesses hat.

2.5.1 Visual-spatial skills („visuell-räumliche Verarbeitungsfähigkeit“)

Visual-spatial skills ist die Fähigkeit zur räumlichen Vorstellung. Diese Entwicklung ist sehr eng mit der motorischen Entwicklung eines Kindes verknüpft. Je älter ein Kind wird, desto mehr werden seine Leistungen über die visuelle Aufnahme, anstelle von motorischen Handlungen, gesteuert. Dieses Konzept wird

¹⁴⁸ Groffman, S., Solan, H.: Develoepmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.65

auch als „visual-motor-hierarchy“ bezeichnet.¹⁴⁹ Das Kind durchläuft dabei drei Basisstufen der räumlichen Wahrnehmung: motorisch, visuell-motorisch und letztendlich visuell.

Um zu einer räumlichen Vorstellung zu gelangen, durchläuft jedes Kind, so beschreibt es Irwin B. Suchoff, drei notwendige Bewusstseinsstufen.¹⁵⁰ Zuerst benötigt das Kind die Entwicklung eines Null-Punktes oder Referenzpunktes. Er wird als Ausgangspunkt benötigt, um von ihm aus visuelle Funktionen zu koordinieren und um Beurteilungen des Raumes vorzunehmen. Diese Stufe wird auch als **Invariant** bezeichnet. Danach kommt die Stufe der **Bilaterality**. In dieser ist das Kind sich seiner eigenen zwei Körperhälften motorisch und kognitiv bewusst. Es kennt die Unterschiede und kann diese auch benennen. Sobald das Kind sein eigenes Körperschema mit verschiedenen räumlichen Anordnungen in Beziehung setzen kann, ist es in der höchsten Bewusstseinsstufe. Erst hier ist es für das Kind möglich, eine räumliche Vorstellung zu haben. Diese letzte Stufe wird auch als **spatial organisation and manipulation** („räumliche Organisation und Einflussnahme“) definiert.

Ab einem Alter von sieben bis acht Jahren orientiert sich ein Kind hauptsächlich über die visuellen Informationen und nur noch untergeordnet durch Signale, welche ihm durch motorische Aktivitäten vermittelt werden.¹⁵¹ Ist die visuelle räumliche Vorstellung fehl- oder unterentwickelt, so können diese Kinder auffällig werden durch:^{152 153}

- schlechte sportliche Leistungen
- Schwierigkeiten mit rhythmischen Bewegungen
- Probleme mit der Koordination und dem Gleichgewicht
- Schwerfälligkeit; stößt sich öfters an Gegenständen

¹⁴⁹ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.301

¹⁵⁰ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994 S.301f.

¹⁵¹ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.301

¹⁵² Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.303

¹⁵³ McMains, More on Visual Skills, [www.vision and learnig.org/visualskills2.htm](http://www.visionandlearnig.org/visualskills2.htm)

- tendiert dazu, mit einer Seite seines Körpers zu arbeiten, während die andere Seite gar nicht teilnimmt
- Schwierigkeiten beim Erlernen von rechts und links
- beim Schreiben oder Kopieren werden Buchstaben und Zahlen oft gespiegelt oder beim Lesen verwechselt (z.B. b und d, p und q)
- dreht den Körper beim Schreiben oder Kopieren, um nicht die Mittellinie kreuzen zu müssen.

Um die visuelle räumliche Vorstellungsfähigkeit einer Person zu überprüfen, testet man deshalb drei verschiedene Fähigkeiten.¹⁵⁴

- **Bilaterale Integration**

Die Bilaterale Integration definiert man als Fähigkeit des Individuums, sich seiner beiden Körperhälften bewusst zu sein und motorische Bewegungen der rechten und linken Körperhälfte so zu planen, dass diese getrennt, gleichzeitig und in einer raschen Folge ausgeführt werden können.

- **Laterality**

Die Lateralität steht für die Fähigkeit, seinen Körper in eine rechte und linke Körperhälfte zu unterteilen und diese auch an sich benennen zu können. Hierzu ist eine Voraussetzung, dass das Kind ein Bewusstsein für seine Körpermittellinie entwickelt hat.¹⁵⁵ Ohne diesen Entwicklungsschritt sind die Kinder nur mangelhaft in der Lage, Begriffe zur räumlichen Organisation zu erlernen. Oft kommt es zu Verwechslungen von „oben-unten, innen-außen, rechts-links, vorn-hinten“. Wenn ein Kind sich auf sein eigenes Körperschema verlassen kann, werden diese Begriffe mit einer größeren Klarheit und ohne Zweifel erlernt.¹⁵⁶

- **Directionality**

Mit der Direktionalität beschreibt man die Fähigkeit einer Person, die rechts/links Ausrichtung auf Gegenstände oder andere Menschen im Raum zu

¹⁵⁴ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.301ff.

¹⁵⁵ McMains, More on Visual Skills, www.visionandlearning.org/visuallskills2.htm

¹⁵⁶ Bollani, G., Dollinger, K.: Funktional-Optometrie für Kindergartenkinder und Schüler Teil 2, in Optometrie 1/2001, S. 62f.

projizieren und somit Aussagen über deren Ausrichtung zueinander treffen zu können.¹⁵⁷

Test zur Bilateralen Integration ¹⁵⁸

Name: „Standing Angels in the Snow“
Entwickler: Irwin B. Suchoff
Veröffentlicht durch: SUNY State College of Optometry, New York
Geeignete Altersklasse: 3-8 Jahren

Durchführung des Tests:

Die zu untersuchende Person stellt sich frontal vor den sitzenden Optometristen. Die Person wird nun aufgefordert, genau die Körperteile (Arm/ Bein) seitlich von sich zu strecken, welche vom Untersucher berührt wurden. Die Reihenfolge der Berührungen ist dabei wie folgt:

1. rechter Arm (monolateral)
2. linker Arm (monolateral)
3. rechter Fuß (monolateral)
4. linker Fuß (monolateral)
5. rechter und linker Arm (homonym)
6. rechter und linker Fuß (homonym)
7. rechter Arm und rechter Fuß (ipsilateral)
8. linker Arm und linker Fuß (ipsilateral)
9. rechter Arm und linker Fuß (contralateral)
10. linker Arm und rechter Fuß (contralateral).

Man überprüft hierbei also die Ausführung entsprechend der in Klammern angegebenen monolateralen, homonymen, ipsilateralen und contralateralen Bewegungsausführungen. Eine Bewertung dieses Tests erfolgt unter Zuhilfenahme der in Tabelle 10 genannten altersspezifischen Normen. Entspricht das Testergebnis nicht dem für das Alter zu erwartenden Fähigkeiten, so liegt eine Fehl- oder Unterentwicklung der Bilateralen Integration vor. Je nach Größe der Abweichung

¹⁵⁷ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.155

¹⁵⁸ Groffman, S., Solan, H.: Developmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.42f.

und weiteren Auffälligkeiten empfiehlt es sich dann, das Kind zuerst in eine Ergotherapie weiter zu überweisen, damit es die entsprechenden grobmotorischen Bewegungsabläufe erlernt.

Alter	Entwicklungsstand
3 Jahre	Bewegungen stimmen nicht mit den berührten Körperteilen überein.
4 Jahre	Homonyme Bewegungen können ausgeführt werden, aber monolaterale sind schwer.
5 Jahre	Homonyme, monolaterale und ipsilaterale Bewegungen finden statt, allerdings mit motor overflow (siehe Kapitel 3.7).
6 Jahre	Nur noch die contralateralen Bewegungen werden mit motor overflow ausgeführt oder sie führen zum Abbruch.
7 Jahre	Bei den contralateralen ist noch ein minimaler motor overflow oder eine zeitliche Verzögerung (frequency segmentation) der gekreuzten Bewegung zu beobachten.
8 Jahre	Alle Bewegungen sollten fehlerfrei und ohne motor overflow stattfinden.

Tabelle 10: Normenwerte für die Beurteilung des Tests „Standing Angels in the Snow“.¹⁵⁹

Test zur Lateralität und Direktionalität¹⁶⁰

Name: „Piaget Test of Left-Right Concepts“

Entwickler: Jean Piaget

Geeignete Altersklasse: 5-11 Jahren

Durchführung des Tests:¹⁶¹

Der Untersucher stellt dem Kind eine Reihe von Fragen in Bezug auf sein Bewusstsein für die Seiten rechts und links. Der Test besteht aus fünf verschiedenen Frageblöcken, wobei nur Block A die Lateralität untersucht und die Blöcke B, C, D und E die Fähigkeiten der Direktionalität testen.

¹⁵⁹ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.311

¹⁶⁰ Groffman, S., Solan, H.: Developmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.42f.

¹⁶¹ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.312f.

- A. Fragen zu Körperteilen des Kindes.
- Zeig mir deine rechte Hand.
 - Zeig mir deine linke Hand.
 - Zeig mir dein rechtes Bein.
 - Zeig mir dein linkes Bein.
- B. Fragen zu Körperteilen des Untersuchers, welcher gegenüber vom Kind sitzt.
- Zeig mir meine rechte Hand.
 - Zeig mir meine linke Hand.
 - Zeig mir meinen rechten Fuß.
 - Zeig mir meinen linken Fuß.
- C. Fragen zur Lage von Gegenständen (z.B. Münze und Bleistift) auf dem Tisch im Bezug zum Kind.
- Liegt der Bleistift rechts oder links von dir?
 - Und auf welcher Seite (rechts/ links) liegt die Münze?
- Nun geht das Kind um den Tisch herum und soll wiederum die Fragen beantworten.
- Liegt der Bleistift nun rechts oder links von dir?
 - Und auf welcher Seite (rechts/ links) liegt die Münze?
- D. Fragen zu Gegenständen (z.B. Münze und Uhr), die der Untersucher, welcher immer noch gegenüber von dem Kind sitzt, in der Hand hält oder trägt.
- Siehst Du die Münze hier? Habe ich sie in meiner rechten oder linken Hand?
 - Und die Uhr? Trage ich sie an meinem rechten oder linken Arm?
- E. Fragen zu drei auf einem Tisch befindlichen Gegenständen (z.B. Bleistift links, Schlüssel in der Mitte und Münze auf der rechten Seite) im Bezug auf die Position des Kindes.
- Liegt der Bleistift links oder rechts von dem Schlüssel?
 - Liegt der Bleistift links oder rechts von der Münze?
 - Liegt der Schlüssel links oder rechts von der Münze?
 - Liegt der Schlüssel links oder rechts von dem Bleistift?
 - Liegt die Münze links oder rechts von dem Bleistift?
 - Liegt die Münze links oder rechts von dem Schlüssel?

Danach erfolgt eine Beurteilung des Tests nach den in Tabelle 11 angegebenen Erwartungen. Ein Block gilt dann als bestanden, wenn alle Fragen vom Kind richtig beantwortet wurden.

Alter	Erreichbarkeit der Stufen bei 75% der Kinder dieser Altersklasse
5-6	A
7	A C
8-10	A B C D
11	A B C D E

Tabelle 11: Normenwerte für die Beurteilung des Tests „Piaget Test of Left-Right Concepts“¹⁶²

Test zur Direktionalität¹⁶³

Name: „Gardner Reversal Frequency Test“
 Entwickler: Richard A. Gardner
 Veröffentlicht durch: Creative Therapeutics
 Geeignete Altersklasse: 5-15 Jahren

Der Gardner Reversal Frequency Test besteht aus drei Teilen. Teil I wird „Ausführung“ (Execution) genannt und misst den Prozentsatz an Spiegelungen, wenn das Kind aufgefordert wird, bestimmte Buchstaben (h c q f j b k s r d y p t z a e) und Zahlen (2 5 6 3 9 4 7) aufzuschreiben. Der Teil II heißt „Erkennen“ (Recognition). Hier werden dem Kind Buchstaben und Zahlen dargeboten, aus denen es die korrekt Orientierten von den Spiegelverkehrten herausuchen soll. „Übereinstimmen“ (matching) wird im Teil III gefordert. Das Kind bekommt einen beliebig ausgerichteten Buchstaben oder eine Zahl gezeigt und soll nun die gleich Orientierten aus einer Reihe markieren. Teil I und III finden in der Praxis selten Anwendung, deshalb wird hier nur auf Teil II eingegangen.

¹⁶² Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.313

¹⁶³ Groffman, S., Solan, H.: Develoepmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.42f.

Durchführung des Gardner Reversal Frequency Test Teil II:

Der Test II ist gegliedert in vier Abschnitte (Abbildung 42). In den ersten zwei Abschnitten stehen paarweise Zahlen und Buchstaben, von denen jeweils einer richtig orientiert und einer spiegelverkehrt geschrieben ist. Abschnitt drei und vier bestehen hingegen aus Reihen von Buchstaben oder Zahlen. Das Kind wird nun aufgefordert, die Buchstaben oder Zahlen durchzustreichen, welche ihm spiegelverkehrt erscheinen.

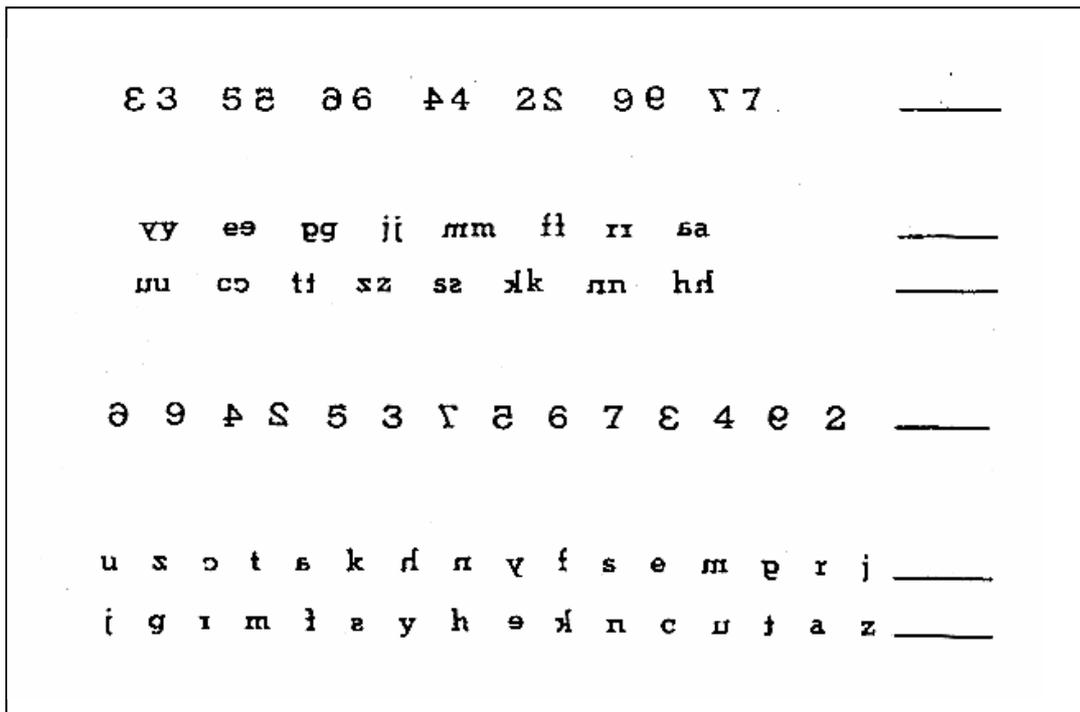


Abbildung 42: Gardner Reversal Frequency Test Teil II ¹⁶⁴

Zur Auswertung dieses Tests zählt man die Anzahl der Fehler zusammen. Hierbei unterscheidet man zwei Typen von Fehlern. Zum einen Auslassungen, dies sind alle spiegelverkehrten Buchstaben und Zahlen, welche nicht durchgestrichen wurden; zum anderen Fehler, dies sind durchgestrichene Buchstaben und Zahlen, die aber richtig orientiert waren.¹⁶⁵ Die Anzahl der Fehler kann anschließend in der Tabelle 12 in percentile umgerechnet werden.

¹⁶⁴ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.160

¹⁶⁵ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.315

Percentile normal Boys										
Alter	N	10	20	30	40	50	60	70	80	90
5	25	37,7	34,6	30,2	28	26	20	14,8	12	7,9
6	28	34,1	30	28	25	20	14	8,7	5,6	3
7	25	15,4	12	10,2	9,6	8	6,2	4,8	3	1
8	26	10	5,6	4	3	3	2	2	1	0
9	27	8,2	4,4	3,6	3	2	2	1	1	0
10	30	5	3,8	2	1,6	1	1	1	0,2	0
11	26	7,9	5,6	3	3	2	1	1	0	0
12	25	4	3	2	1	1	1	1	0	0
13	27	6,2	3,4	3	1	1	1	0,4	0	0
14	12	6,4	3,8	3	3	2,5	1,2	1	0,6	0
	251									

Percentile normal girls										
Alter	N	10	20	30	40	50	60	70	80	90
5	28	34,2	31	28,3	25,2	23,5	19	15,7	12,8	3,9
6	31	27,8	22,2	18	15,4	11	8,8	7,2	4	1
7	25	15	9,4	6	4,6	4	3	2	1,2	0
8	27	7,2	6	4	2	1	1	1	0	0
9	25	5,6	3,8	2	2	2	1,4	1	1	0
10	27	4	3	2	2	2	1	1	0	0
11	25	8	4,6	3	2	1	1	1	0	0
12	25	4,2	2	2	1,6	1	0,4	0	0	0
13	25	3,4	1,8	1	1	1	0,4	0	0	0
14	11	4,6	2,6	1,4	1	1	0	0	0	0
	249									

Tabelle 12: Bewertungstabellen für den „Gardner Reversal Frequency Test“, Teil II¹⁶⁶

Da der Test allerdings nicht unter Zeitdruck stattfindet, ist die Bewertung des Tests umstritten. Zwei Kinder in derselben Altersklasse würden bei gleicher Anzahl von Fehlern die gleiche Leistung zugeordnet bekommen, auch wenn sie den Test in einer unterschiedlichen Zeitspanne durchgeführt hätten. Jedoch ist eine Anwendung des Tests durchaus sinnvoll, denn Kinder mit einer schlechten räumlichen Vorstellung werden an diesem Test deutlich auffällig.

Belmont und Birch testeten 200 Kinder (150 schlechte und 50 normal gute Leser) mit normalen IQ im Alter von 9-10 Jahren auf deren Visual-spatial integration skills. Sie fanden dabei einen signifikanten Unterschied in der Beurteilung der

¹⁶⁶ Persönliche Information, London, R., Professor of Optometry an der Pacific University Oregon, ohne weitere Quellenangaben

Testergebnisse zwischen den beiden Gruppen. Gute Leser zeigten eine wesentlich bessere räumliche Orientierung.¹⁶⁷

Die genannten Bewusstseinsstufen sind ausnahmslos sensorische Prozesse, die nichts mit der motorischen Dominanz (lateral preference) von z.B. Auge, Hand und Fuß zu tun haben. Das Kind lernt visuelle Ausrichtungen zu unterscheiden, indem es das Richtungsempfinden seines Körpers in den Raum projiziert. Dies bestätigen auch Belmont und Birch, die hingegen keinen Zusammenhang zwischen den beiden Gruppen mit der motorischen Dominanz von Führungsaugen und Schreibhand fanden. Auch gekreuzte Dominanzen (z.B. linkes Auge und rechte Hand) zeigten keine signifikanten Auffälligkeiten in Bezug auf die Lesequalität.

Diese Untersuchungen lassen vermuten, dass ein laterales Bewusstsein und ein gutes Gefühl für die Direktionalität im Raum wichtige Faktoren, beim Prozess des Lesenlernens, sind.¹⁶⁸

Um eine visuell gesteuerte Bewegung ausführen zu können, benötigt man also eine exakte Vorstellung seines eigenen Körperschemas. Bewegungen, welche zur Entwicklung der Koordination der rechten und der linken Körperhälfte führen, liefern deshalb ein gutes Fundament für visuell gesteuerte Körperbewegungen. Es ist somit auch eine Aufgabe im Visualtraining, dem Probanden ein richtig ausgerichtetes Körperschema bewusst zu machen. Werden visuell gesteuerte Bewegungen dann richtig erlernt und integriert, so führt dies zu einer genauen und effektiven visuellen Orientierung.

2.5.2 Visual analysis skills („Verarbeitungsfähigkeit visueller Informationen“)

Die Fähigkeiten zur visuellen Informationsaufnahme und deren Beurteilung sind für die Ausübung vieler Tätigkeiten erforderlich. Durch sie ist der Mensch in der Lage, identische Objekte wieder zu erkennen oder aber auch Unterschiede zwischen ähnlichen Objekten wahrzunehmen. Man kann Informationen verarbeiten, auch

¹⁶⁷ Groffman, S., Solan, H.: Developmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.42f.

¹⁶⁸ Groffman, S., Solan, H.: Developmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.42f.

wenn sie visuell nicht ganz vollständig sichtbar sind oder man kann sich Dinge einfach vorstellen. Zum Testen der visuellen Analysefähigkeit gibt es viele verschiedene standardisierte Tests, die zusammenfassend als „Test of visual perceptual skills“ (TVPS) und „Test of visual analysis skills“ (TVAS) bezeichnet werden.¹⁶⁹ Um einen Überblick zu bekommen, werden hier die vier begriffsübergreifenden Fähigkeiten erwähnt und ein Einblick in die verschiedenen Tests gegeben.

- **Visual discrimination**

Unter dem Begriff visual discrimination versteht man die Fähigkeiten zur visuellen Unterscheidung. Das Kind benötigt eine Vorstellung der charakteristischen Merkmale von Objekten in Bezug auf Gestalt, Ausrichtung, Größe und Farbe.¹⁷⁰ Um zu erkennen, ob ein Objekt identisch oder andersartig ist, erfordert es:

- Unterscheidungsvermögen (Discrimination)
- Wiedererkennen von identischen Formen (Form constancy)
- Wahrnehmung räumlicher Ausrichtung (visual-spatial relationship).

- **Visual figure ground**

Um den Vordergrund von dem Hintergrund zu unterscheiden, benötigt man visual figure ground Fähigkeiten. Eine Person muss in der Lage sein, seine Aufmerksamkeit auf ein kennzeichnendes Detail oder eine Form zu lenken, während es sich weiterhin noch über die Beziehung dieses Details zu dem Hintergrund (background) bewusst ist.¹⁷¹

- **Visual closure**

Visual closure steht für die visuellen Vervollständigungsfähigkeiten. Diese ermöglichen einer Person, Objekte aufgrund von charakteristischen Merkmalen zu erkennen, obwohl diese vielleicht nur teilweise zu sehen sind. Ohne die typischen Eigenschaften bestimmter Objekte zu kennen, ist dieses nicht möglich. Diese Fähigkeit trägt dazu bei, einen Teil unserer

¹⁶⁹ Press, L.: Applied concepts in vision therapy, St Louis (Mosby) 1997, S.272

¹⁷⁰ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.316

¹⁷¹ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.316

Konzentration einzusparen. Wenn man weiß, welche Details unwichtig sind, kann man auf eine genauere Betrachtung verzichten. Beim Lesen sind wir so z.B. schon in der Lage, Wörter zu erkennen, auch wenn wir nur den Anfang oder einen Teil des Wortes gesehen haben.¹⁷²

- **Visual memory and visualization**

Durch die visuellen Erinnerungs- und Visualisierungsfähigkeiten, welche man im Amerikanischen als visual memory and visualization bezeichnet, kann man sich an gesehene Informationen erinnern oder sie sich durch Visualisierung vorstellen.¹⁷³

Beim Testen unterscheidet man des Weiteren:

- visuelles Gedächtnis (Visual memory)
- visuelles Gedächtnis von Reihenfolgen (visual sequential memory).

Personen mit Fehl- bzw. Unterentwicklung der visuellen Unterscheidungsfähigkeit können auffällig werden durch:¹⁷⁴

- Probleme beim Erlernen des Alphabetes, Erinnern von Wörtern und beim Begreifen mathematischer Begriffe von Größe, Wert und Position
- verwechseln ähnlicher Dinge, Schwierigkeiten beim Erkennen geringfügiger Unterschiede
- fehlerhaftes Lesen von Wörtern, die mit gleicher Silbe beginnen
- kein Wiedererkennen des gleichen Wortes innerhalb einer Seite
- Verallgemeinerung bei der Klassifizierung von Objekten.

Tests:

Die Tests laufen alle nach dem gleichen Prinzip ab. Das Kind bekommt bei jeder Befragung nacheinander 16 verschiedene und immer komplexer werdende Skizzen vorgelegt. Hierbei ist es wichtig, dem Kind von vornherein klar zu machen, dass es

¹⁷² Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.316

¹⁷³ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.316

¹⁷⁴ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.303

vielleicht nicht in der Lage sein wird, alle richtig zu beantworten. Zur Beurteilung der Testergebnisse werden die richtigen Antworten zusammen gezählt und mit einer altersabhängigen standardisierten Tabelle verglichen. Jede richtige Antwort entspricht einem raw score. Antwortet das Kind dreimal falsch, so wird der jeweilige Untertest abgebrochen und zum nächsten übergegangen. Die Tests sind ausgelegt für Kinder im Alter von 4-13 Jahren.¹⁷⁵ Im Anschluss an die einzelnen Teste findet man zusammenfassend eine grobe Bewertungstabelle (Tabelle 13). Sie dient lediglich als Anhaltspunkt. In der Praxis findet in jede Altersklasse noch eine Trennung nach Geschlechtern statt.

Tests zu Visual discrimination skills:

Ziel der folgenden Tests ist es, dass das Kind die oberhalb abgebildeten Objekte auch in den unteren Reihen wiedererkennt.

Dabei unterscheidet man noch einmal nach den verlangten Fähigkeiten in:

A. Unterscheidungsvermögen (Discrimination)

Das Kind wird bei diesem Test aufgefordert, das identische Symbol zu dem oben abgebildeten, aus der unteren Reihe heraus zu suchen.

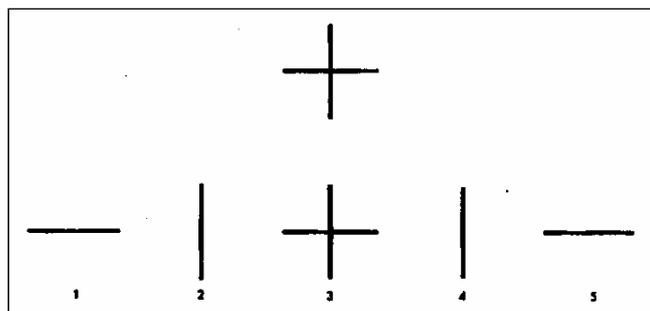


Abbildung 43: Visual discrimination Test.¹⁷⁶

B. Wiedererkennen von identischen Formen (Form constancy)

Dem Kind werden verschiedene Formen dargeboten, aus denen es die gleiche Form, wie oberhalb abgebildet, wiedererkennen soll.

¹⁷⁵ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.315f.

¹⁷⁶ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.315

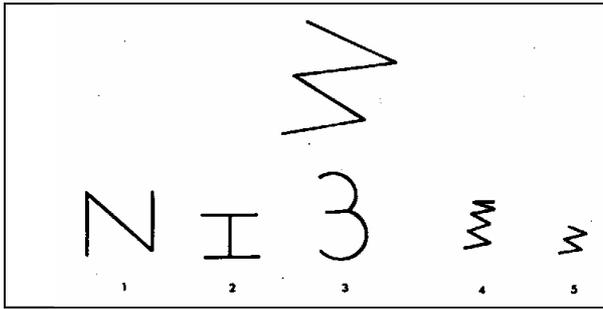


Abbildung 44: Visual discrimination Test.¹⁷⁷

- C. Wahrnehmung räumlicher Ausrichtung (visual-spatial relationship)
Das Kind soll die oben Abgebildete Figur wieder finden. Hierbei kommt es zusätzlich auch auf deren räumliche Ausrichtung an.

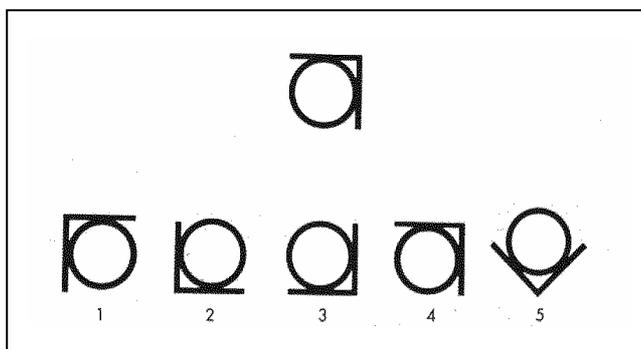


Abbildung 45: Visual discrimination Test.¹⁷⁸

Test zu Visual figure ground skills:

Beim Testen der Vorder-Hintergrund Unterscheidungsfähigkeit geht es darum, heraus zu bekommen, ob das Kind in der Lage ist, eine ihm einzeln dargebotene Figur aus einem komplexen Zusammenhang wieder zu erkennen. Man bietet dem Kind deshalb, wie auch schon bei dem „visual discrimination“ Test, 16 immer unübersichtlicher werdende Bilder an, aus denen das Kind die oben abgebildete Übungsfigur identifizieren soll. Abbildung 46 zeigt zwei dieser 16 Testkarten.

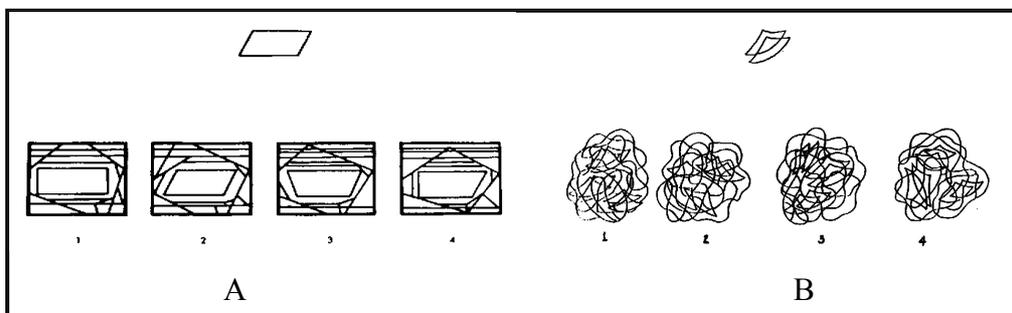


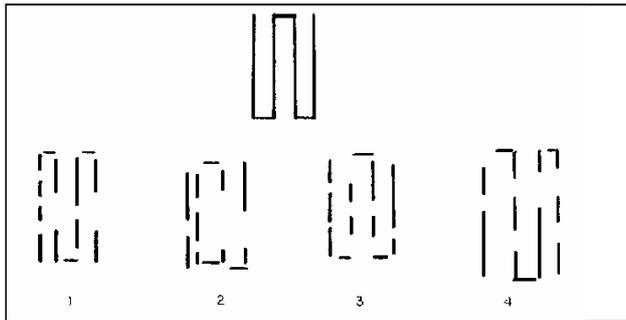
Abbildung 46: Visual figure ground Test. Hierbei soll das Kind die einzeln dargebotene Figur aus einem komplexen Zusammenhang wieder erkennen. A¹⁷⁹ und B¹⁸⁰

¹⁷⁷ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.316

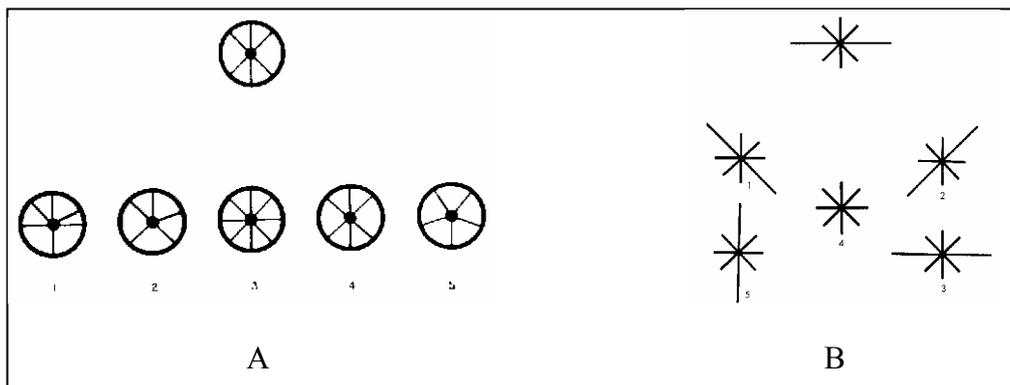
¹⁷⁸ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.163

Test zu Visual closure skills:

Zum Testen der visuellen Vervollständigungsfähigkeit werden dem Kind eine vollständig abgebildete und verschiedene bruchstückhafte Figuren dargeboten. Mit Hilfe seiner visuellen Vervollständigungsfähigkeit soll es nun, die zu der oberhalb komplett abgebildeten Figur passende unvollständige herausuchen. Abbildung 47 zeigt eine der 16 zu erkennenden Figuren.

Abbildung 47: Visual closure Test¹⁸¹**Test zu Visual memory skills:**

Der Untertest zur Erinnerungsfähigkeit überprüft das Geschick des Kindes, sich an Dinge zu erinnern oder die Fähigkeit sich diese wieder in Erinnerung zu rufen. Dem Kind wird jeweils eine allein stehende Testfigur (Abbildung 48 A und B jeweils oben) für ca. 5s gezeigt, welche es dann im direkten Anschluss aus einer Reihe von Figuren wieder ausfindig machen soll.

Abbildung 48: Visual memory Test A¹⁸² und B¹⁸³

¹⁷⁹ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.316

¹⁸⁰ Groffman, S., Solan, H.: Develoepmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.134

¹⁸¹ Groffman, S., Solan, H.: Develoepmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.135

¹⁸² Groffman, S., Solan, H.: Develoepmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.162

Test zu Visual sequential memory skills:

Ähnlich wie bei dem vorangegangenen Visual memory Test werden diesmal beim Überprüfen der Wiedererkennung von Reihen dem Kind Symbole gezeigt, welche es im Anschluss erneut ausfindig machen soll. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass es sich diesmal nicht um allein stehende Objekte, sondern um eine Serie von aneinander gereihten Symbolen handelt. Diesmal wird das Kind aufgefordert, sich die dargebotenen Symbole in der exakten Reihenfolge zu merken und in der im Anschluss gezeigten Auswahl wieder zu finden. In der Praxis führt man häufig statt des Visual memory Tests nur den Visual sequential memory Test durch. Man geht davon aus, dass Kinder bei Bestehen dieses Tests auch in der Lage gewesen wären, den Visual memory Test mit Erfolg abzuschließen.

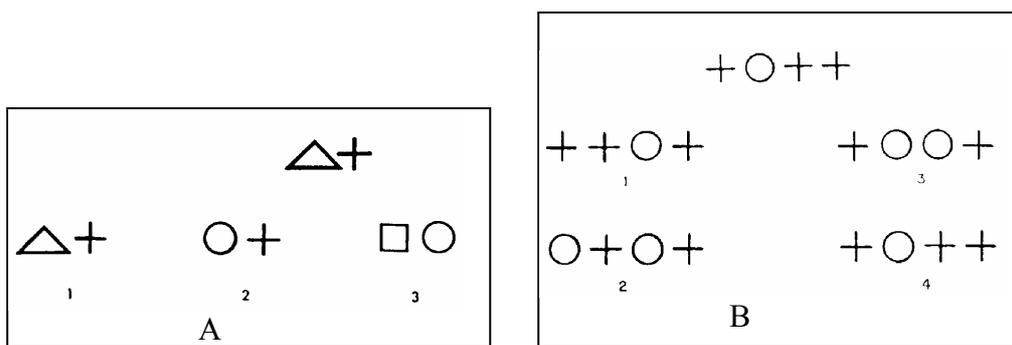


Abbildung 49: Visual sequential memory Test A¹⁸⁴ und B¹⁸⁵

Jeder der aufgeführten Teste wird nun separat bewertet. Tabelle 13 dient, wie anfangs bereits erwähnt lediglich als kleiner Anhaltspunkt. Für jede richtige Antwort im entsprechenden Untertest wird ein Raw Score vergeben.

¹⁸³ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.164

¹⁸⁴ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.320

¹⁸⁵ Groffman, S., Solan, H.: Developmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.163

Raw Score	VD	VM	VSR	VFC	VSM	VFG	VC
	visual discrimination	visual memory	visual spatial relationship	visual form constancy	visual sequential memory	visual figure ground	visual closure
	Jahr-Monat	Jahr-Monat	Jahr-Monat	Jahr-Monat	Jahr-Monat	Jahr-Monat	Jahr-Monat
16							
15	>12-11	>12-11	>12-11				
14	11-10	12-7	12-7	>12-11	>12-11	>12-11	>12-11
13	8-9	8-11	8-7	12-7	11-4	11-4	11-4
12	8-1	8-2	7-11	10-9	9-6	9-7	9-1
11	7-4	7-6	7-4	8-8	8-5	8-2	8-4
10	6-7	6-10	6-8	7-5	7-10	7-5	7-9
9	5-11	6-2	6-1	6-7	7-2	6-7	7-2
8	5-3	5-8	5-6	5-7	6-6	5-10	6-6
7	4-9	5-2	5-0	4-10	5-10	5-1	5-11
6	4-5	4-7	4-9	4-7	5-3	4-7	5-4
5	4-1	4-3	4-6	4-1	4-10	4-1	4-10
4	<4-0	<4-0	4-4	<4-0	4-6	<4-0	4-5
3			4-1		4-3		4-1
2			<4-0		<4-0		<4-0

Tabelle 13: grobe Bewertungstabelle des „Test of visual perceptual skills“ (TVPS)¹⁸⁶

2.5.3 Visual-motor integration skills („Auge-Bewegungs-Koordinationsfähigkeit“)

Unter der Bezeichnung visuell-motorische Fähigkeiten fasst man die Fähigkeiten einer Person zusammen, die visuellen Informationsverarbeitungsprozesse mit den feinmotorischen Bewegungen zu verknüpfen. Man kann auch sagen, dass die visuell-motorischen Fähigkeiten für ein Gütemaß der Auge-Hand Koordination stehen.¹⁸⁷

Um z.B. einen Ball zu fangen, benötigt man zuerst viele visuelle Informationen, wie die Geschwindigkeit und die Richtung, aus der der Ball kommen wird. Danach müssen die visuellen Beurteilungen der Situation in die dazugehörigen motorischen

¹⁸⁶ Persönliche Information, London, R., Professor of Optometry an der Pacific University Oregon, ohne weitere Quellenangaben

¹⁸⁷ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.321

Antworten von Hand und Körper übersetzt werden. Sind die visuell-motorischen Fähigkeiten stimmig, so wird die Person den Ball fangen.

Ein anderes und in gewisser Weise auf einem viel höheren Level angesiedeltes Beispiel für die visuell-motorischen Fähigkeiten ist die Handschrift. Während des Schreibens wird man ununterbrochen gefordert, seine visuellen Informationsaufnahme- und Beurteilungsfertigkeiten einzusetzen. Durch sie kommt man in die Lage zu bewerten, ob die Form und die Größe der Buchstaben richtig sind. Funktioniert die Auge-Hand Koordination, so werden wir ein sauberes Schriftbild erhalten.

Zusammenfassend kann man also sagen, es gibt zwei wichtige Unterfunktionen:

- die feinmotorische Koordination
- die Übersetzung von Gesehenem in motorische Bewegungen.

Personen mit Fehl- bzw. Unterentwicklung visuell-motorischer Fähigkeiten können auffällig werden durch:¹⁸⁸

- Schwierigkeiten beim Abschreiben von einer Tafel
- ungenaues Zeichnen oder unsauberes Schriftbild
- unregelmäßigen Abstand zwischen den Wörtern und die Unfähigkeit, auf einer Linie zu schreiben
- häufiges löschen oder radieren
- kann Antworten mündlich formulieren, aber diese nicht schriftlich niederschreiben
- Schwierigkeiten, innerhalb einer vorgegebenen Zeit schriftliche Aufgaben zu beenden
- kennt den Unterrichtsstoff, ist aber nur dürftig in der Lage, dies in schriftlichen Prüfungen wiederzugeben
- Schwierigkeiten beim Schreiben von Zahlenreihen führen in der Folge auch zu mathematischen Problemen.

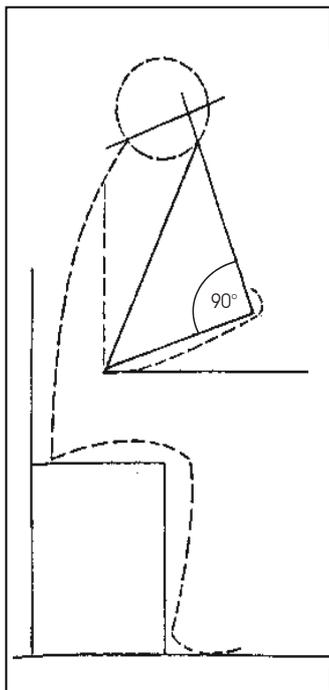
¹⁸⁸ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.303

Visual-motor ergonomics (“Visuell-motorische Ergonomie”)

Beim Durchführen der Tests zu den visuell-motorischen Fähigkeiten ist es besonders wichtig, auf drei anfangs schon angedeutete Verhaltensmuster zu achten. Dazu zählen die Körperhaltung (posture), die Handhabung des Stiftes (pencil grip) und die Unterstützung der dominanten Hand durch die nicht dominante (lead-support system). Zusammen bezeichnet man dies auch als visuell-motorische Ergonomie (visual-motor ergonomics).¹⁸⁹

In den nächsten Abschnitten erfolgt eine kurze Erläuterung zu diesen Verhaltensmustern.

Bei der Körperhaltung überprüft man vor allem die Lagebeziehung zwischen der Fixierlinie und der Schreiboberfläche. Besteht zwischen diesen ein 90° Winkel und entspricht der eingenommene Abstand ca. dem „harmonischen Abstand“ (Harmon distance), so ist die Haltung optimal (Abbildung 51). Der harmonische Abstand ist eine definierte Größe vom zweiten Knochen des Mittelfingers bis zum Ellenbogen (Abbildung 50).



In dieser Stellung wird, so konnte Harmon 1960 nachweisen, sowohl auf das visuelle System als auch auf die stützenden Körpermuskeln von Kopf und Rumpf am wenigsten Stress ausgeübt.¹⁹⁰

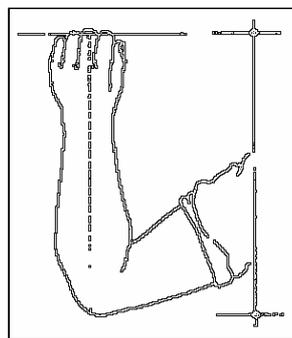


Abbildung 50: Harmon distance¹⁹¹

Abbildung 51: optimale Sitzhaltung¹⁹²

¹⁸⁹ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.166

¹⁹⁰ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.74

¹⁹¹ Funktional-Optometrie für Kindergartenkinder und Schüler Teil 1, in Optometrie 2/2001, S. 57.

¹⁹² Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.75

Jede Abweichung von dieser Körperhaltung wirkt als zusätzlicher Stressfaktor. Um bei einer verkürzten Arbeitsdistanz von 15-20cm noch binokular leistungsfähig zu bleiben, benötigt man, bezogen auf die harmonischen Distanz von ca. 35-40cm, einen Akkommodationsanstieg von ca. 4dpt und einen um ca. $25^{\text{cm}}/\text{m}$ erhöhten Konvergenzbedarf. Dieser hohe Energieaufwand bringt auf Dauer in der Regel zuerst nur Einschränkungen in der Leistungsfähigkeit und/oder asthenopische Beschwerden mit sich. Hält dieser Zustand für einen längeren Zeitraum an, so geht Skeffington davon aus, dass dies eine strukturelle Veränderung hervorrufen kann. Personen mit visuell-motorischen Problemen arbeiten häufig mit einem sehr geringen Arbeitsabstand und zeigen zusätzlich eine asymmetrische Körperhaltung, wie in Abbildung 52 zu sehen ist.¹⁹³

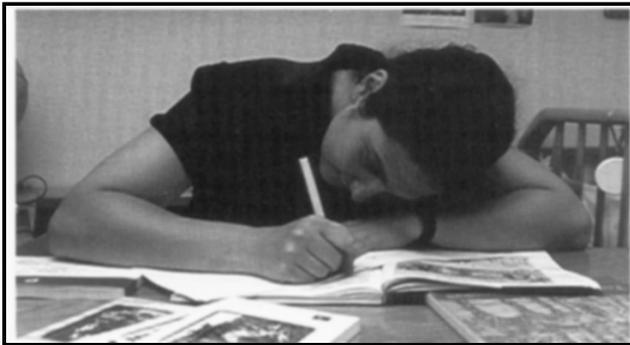


Abbildung 52: Geringer Arbeitsabstand und asymmetrische Kopfhaltung¹⁹⁴

Wird der Kopf bei einem so geringen Arbeitsabstand ein wenig zur Seite gedreht, so könnte daraus folgend ein Auge z.B. ca. 17cm das andere vielleicht ca. 20cm von der Schreibfläche entfernt sein. Der Akkommodationsaufwand des rechten und des linken Auges würde sich somit schon fast um 1,0dpt unterscheiden. Mit einem ungestörten Binokularsehen ist bei einer solchen Differenz sicherlich nicht zu rechnen. Wird der Kopf noch weiter gedreht, so dient die Nase als natürlicher Trenner und das Binokularsehen wird vollkommen unterdrückt. Die Folgen einer solchen Haltung wurden vielfach diskutiert, sind jedoch sehr umstritten und auch schwer nachweisbar.

¹⁹³ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.167

¹⁹⁴ Bollani, G., Dollinger, K.: Funktional-Optometrie für Kindergartenkinder und Schüler Teil 2, in Optometrie 1/2001, S. 59f.

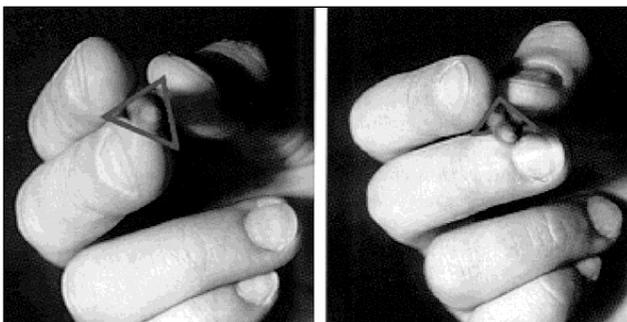


Unter dem „lead-support System“ versteht man die Fähigkeit die dominante Hand mit der nicht dominanten Hand zu unterstützen. Nur eine Minderheit der Kinder mit visuell-motorischen Problemen kann dies. Die meisten nutzen ihre Schreibhand ebenfalls zum Festhalten des Blattes, wodurch letzten Endes die Bewegungsmöglichkeit eingeschränkt wird (Abbildung 53).

Abbildung 53: Keine Unterstützung der nicht dominanten Hand. Dadurch kommt es zur Bewegungseinschränkung.¹⁹⁵

Eine eingeschränkte Bewegungsmöglichkeit entsteht auch, wenn der Stift falsch in der Hand gehalten wird. Die optimale Haltung eines Stiftes ist der Dreifingergriff. Hierbei ruht der Stift auf dem Mittelfinger und wird lediglich von Daumen und Zeigefinger gehalten.

Abbildung 54 zeigt zwei verschiedene Arten eines korrekten Dreifingergriffes.



A

B

Abbildung 54: korrekte Dreifingergriffe.¹⁹⁶

A: Haltegriff mit gleichseitigem Dreieck.

B: Haltegriff mit gleichschenkligen Dreieck

¹⁹⁵ Quelle unbekannt

¹⁹⁶ Funktional-Optometrie für Kindergartenkinder und Schüler Teil 1, in Optometrie 2/2001, S. 57.

Abbildung 55 demonstriert verschiedene Arten von fehlerhaften Stifthaltenungen:

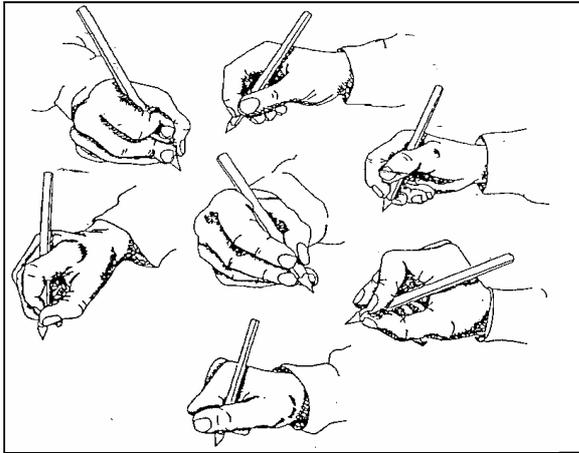


Abbildung 55: fehlerhafte Stifthaltegriffe¹⁹⁷

Teste zu Visual-motor integration skills¹⁹⁸:

Name: „Developmental Test of Visual-Motor Integration (VMI)“

Entwickler: Keith E. Berry

Veröffentlicht durch: Modern Curriculum Press

Geeignete Altersklasse: 4-18 Jahren (3.Edition)

Durchführung des Tests:

Der VMI besteht aus 24 geometrischen Formen. Auf jedem Testblatt sind oberhalb drei Formen abgebildet (Abbildung 56). Der Proband wird nun aufgefordert, diese Formen in die darunter liegenden Kästchen nachzumalen.

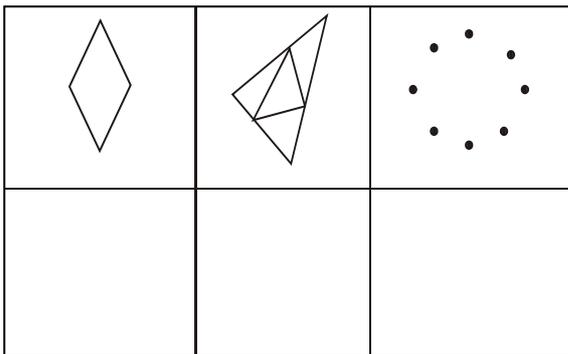


Abbildung 56: Ausschnitt aus Developmental Test of Visual-Motor Integration (VMI)¹⁹⁹

¹⁹⁷ Quelle unbekannt

¹⁹⁸ Groffman, S., Solan, H.: Developmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.142

¹⁹⁹ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.322

Die Formen werden zunehmend komplexer. Bekommt der Proband für drei aufeinander folgende Formen keine Punkte, so wird der Test abgebrochen. Der Test findet ohne Zeitlimit statt, jedoch sollte er ohne Pause durchgeführt werden. Die Bewertung der einzelnen Testfiguren findet man im VMI Manual.

Name: „Winterhaven Copy Form Test“
Geeignete Altersklasse: bis 8 Jahren

Der „Winterhaven Copy Form Test“ hat große Ähnlichkeit mit dem VMI. Bei diesem Test bekommt das Kind einzeln sechs verschiedene geometrische Formen gezeigt, welche es auf ein leeres DIN A4 Blatt abzeichnen soll. Durch die frei wählbare Anordnung der Symbole bietet dieser Test gleichzeitig die Möglichkeit, die räumliche Planung und Organisation eines Kindes zu beurteilen.

Name: „Wold Sentence Copying Test“²⁰⁰
Entwickler: R.M. Wold
Veröffentlicht durch: Academic Therapy Publications
Geeignete Altersklasse: 8-16 Jahren

Durchführung des Tests:

Der „Wold Sentence Copying Test“ ermöglicht dem Untersucher eine alltägliche Schulsituation nachzuempfinden. Das Kind wird aufgefordert, den abgebildeten Text so schnell wie möglich, aber trotzdem noch ordentlich in die dafür vorgesehenen Zeilen abzuschreiben (Abbildung 57)

Die Beurteilung des Tests erfolgt unter verschiedenen Gesichtspunkten. Zum einen bewertet man die Quantität des Geschriebenen. Hierbei zählt man alle richtig geschriebenen Buchstaben innerhalb einer Minute zusammen und vergleicht diese Anzahl mit den in Tabelle 14 aufgeführten Werten. Indirekt beurteilt man so z.B. Wiederholungen, Auslassungen oder die Häufigkeit des Vertauschens einzelner Wörter innerhalb des Textes.

²⁰⁰ Press, L.: Applied concepts in vision therapy, St Louis (Mosby) 1997, S.149

Zum anderen spielt bei der Bewertung die Handschrift und die während des Schreibens gezeigte Ergonomie eine Rolle. Ist das Kind mit der Aufgabe überfordert, so lässt die Konzentration schnell nach und es kommt z.B. zu den in Tabelle 15 genannten Verhaltensauffälligkeiten

Four men and a jolly boy came out of
the black and pink house quickly to see
the bright violet sun, but the sun was
hidden behind a cloud.

Name _____ Age _____ Time _____

Abbildung 57: Wold Sentence Copying Test²⁰¹

Grade	Letters/Minute
1	20-25
2	30
3	40
4	50
5	60
6	67
7	75
8	80

Tabelle 14: Bewertung der Quantität beim Wold Sentence Copying Test²⁰²

²⁰¹ Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996, S.167

²⁰² Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.322

Verhaltensauffälligkeiten:	
Haltung	mit der Zeit wird: <ul style="list-style-type: none"> • die Haltung des Stiftes schlechter • der Abstand zum Blatt geringer • Kopf/ Körper werden gedreht • hohe Anzahl der motor overflow
Refixationen (Rücksprünge)	mit der Zeit wird: <ul style="list-style-type: none"> • lesen bruchstückhafter, da die Anzahl der Refixationen zunimmt. • wird häufiger die Zeile verloren
Organisation	mit der Zeit wird: <ul style="list-style-type: none"> • rutschen die Buchstaben ineinander • nehmen die Zahl der Fehler zu
Vorsprechen	mit der Zeit wird: <ul style="list-style-type: none"> • die Aufnahme des Textes durch Aussprechen von Buchstaben/ Wörtern unterstützt
Aufmerksamkeit	mit der Zeit wird: <ul style="list-style-type: none"> • die Konzentration schnell geringer • die Ausführung der Aufgabe verkürzt
Frustration	mit der Zeit wird: <ul style="list-style-type: none"> • häufiger radiert • kommt es zur Verzweiflung

Tabelle 15: Bewertung des beim Wold Sentence Copying Test gezeigten Verhaltens.²⁰³

Test zur Überprüfung der Feinmotorik²⁰⁴

Name: „Grooved Pegboard Test“

Veröffentlicht durch: Lafayette Instrument Co.

Geeignete Altersklasse: 5-13 Jahren

Durchführung des Tests:

Zu Beginn des Grooved Pegboard Tests ermittelt der Untersucher die Führungshand. Mit dieser Hand soll das Kind dann die 25 schlüsselähnlichen Stifte schnellst möglichst in die dafür vorgesehenen Löcher stecken. Neben den

²⁰³ Press, L.: Applied concepts in vision therapy, St Louis (Mosby) 1997, S.149

²⁰⁴ Groffman, S., Solan, H.: Develoepmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.137

motorischen Fähigkeiten kann während des Ausführens dieses Tests noch indirekt die Aufmerksamkeit, die Konzentration und das Bewusstsein der Direktionalität des Kindes beurteilt werden.

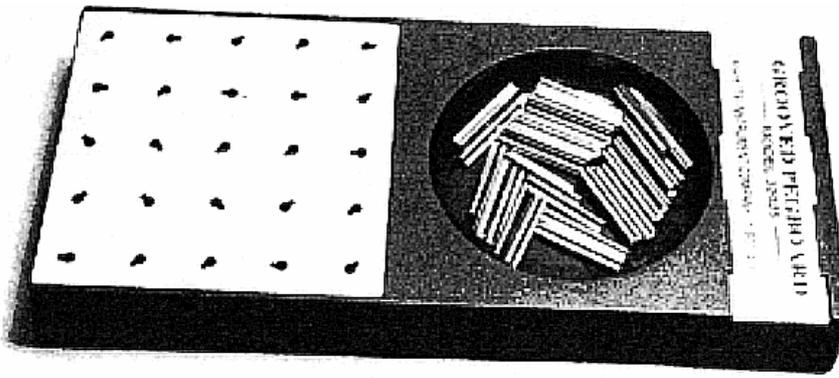


Abbildung 58: Grooved Pegboard Test

Die Bewertung des Tests erfolgt über die vom Kind benötigte Zeit. Tabelle 16 wandelt die benötigten Sekunden (raw scores) in die je nach Alter gestaffelten Percentile um.

Percentile	Raw score (seconds)			
	Kinder garten	Grad 1	Grade 2	Grades 4 and 5
95	83	64	62	52
90	86	69	65	55
80	90	73	67	58
75	93	74	68	58
70	96	76	69	60
60	100	80	72	63
50	110	83	75	65
40	119	86	80	67
30	123	90	84	69
25	128	92	85	70
20	133	95	87	72
10	143	100	96	76
5	153	122	100	78

Tabelle 16:
Bewertung des
Grooved Pegboard
Tests²⁰⁵

²⁰⁵ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.326

2.5.4 Auditory-visual integration skills („Auge-Ohr-Koordinationsfähigkeit“)

Eine ebenfalls wichtige Grundlage für das Erlernen von Lesen und Schreiben ist die Verknüpfung von akustischen und visuellen Signalen. Denn hierbei muss ein Kind entweder in der Lage sein, einen in einer zeitlichen Abfolge dargebotenen akustischen Reiz in eine räumliche, durch das visuelle System vermittelte, Antwort zu übertragen oder eine visuelle aufgenommene Information in eine zeitliche Abfolge von akustischen Tönen zu transformieren.

Personen mit Fehl- bzw. Unterentwicklung der auditiv-visuellen Fähigkeiten können auffällig werden durch:

- schlechte Fähigkeiten beim Buchstabieren
- Schwierigkeiten phonetisch Lesen zu lernen
- Schwierigkeiten beim Zuordnen von charakteristischen Tönen zu Symbolen.

Test zur auditiv-visuellen Umsetzung:²⁰⁶

Name: „Auditory-Visual Integration (AVIT)“
Entwickler: H.G. Birch, L. Belmont
Veröffentlicht durch: Vision Extention
Geeignete Altersklasse: 6-15 Jahren

Durchführung des Tests:

Das Kind bekommt jeweils eine Karte mit drei verschiedenen Mustern vorgelegt. Abbildung 59 zeigt eine der Musterkarten. Jeder Kreis symbolisiert ein Klopfzeichen. Die zeitliche Reihenfolge der Klopfzeichen wird durch den Abstand der Kreise bestimmt. Damit dem Kind keine visuelle Hilfestellung gegeben wird, sollte der Untersucher das Klopfzeichen unter der Tischplatte mittels eines Stiftes oder der Hand erzeugen. Nach drei Probedurchgängen werden dann dem Kind nacheinander zwanzig immer komplexer werdende Musterkarten vorgelegt, auf denen es das akustisch dargebotene Klopfzeichen wiedererkennen soll.

²⁰⁶ Groffman, S., Solan, H.: Develoepmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994, S.140

Die Karten 1-10 werden für Kinder bis zum Alter von 9 Jahren verwendet, und alle älteren Kinder bekommen die Karten bis einschließlich der 20 gezeigt. Mit Hilfe der Tabelle 17 kann die erreichte Anzahl der Musterkarten (raw scores) in Percentile umgewandelt werden.

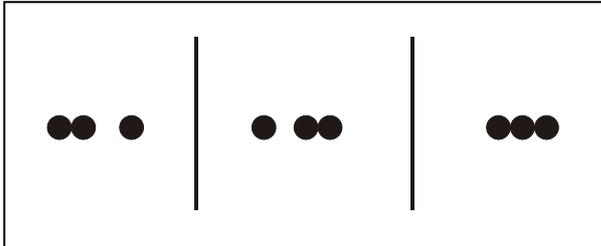


Abbildung 59: Testkarte des Auditory-Visual Integration Tests (AVIT)²⁰⁷

Scoring criteria for Auditory-Visual Integration Test				
Percentile	Kindergarten (age 5 to 6)	Grade 1 (age 6 to 7)	Grade 2 (age 7 to 8)	Grades 4 and .5 (age 9 to 11)
Raw score				
95	8	10	10	20
90	8	9	-	20
80	7	9	-	19
75	-	-	-	-
70	6	8	-	18
60	-	7	9	18
50	5	7	-	17
40	-	6	8	16
30	4	6	-	15
25	-	-	-	-
20	-	5	7	14
10	3	5	6	12
5	-	4	5	11

Tabelle 17: Bewertung des Auditory-Visual Intergration Tests (AVIT)²⁰⁸

²⁰⁷ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.327

²⁰⁸ Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994, S.328

2.6 Erkenntnisse zum Aufbau der Netzhaut und der Reizweiterleitung

2.6.1 Aufbau

Die Netzhaut kann sowohl anatomisch als auch physiologisch in verschiedene Bereiche eingeteilt werden. Normalerweise werden diese immer gesondert dargestellt. Aus Übersichtsgründen allerdings findet hier keine Trennung statt. Vom Zentrum der Foveola nach außen unterscheidet man anatomisch als auch physiologisch wie in Abbildung 60 dargestellt:

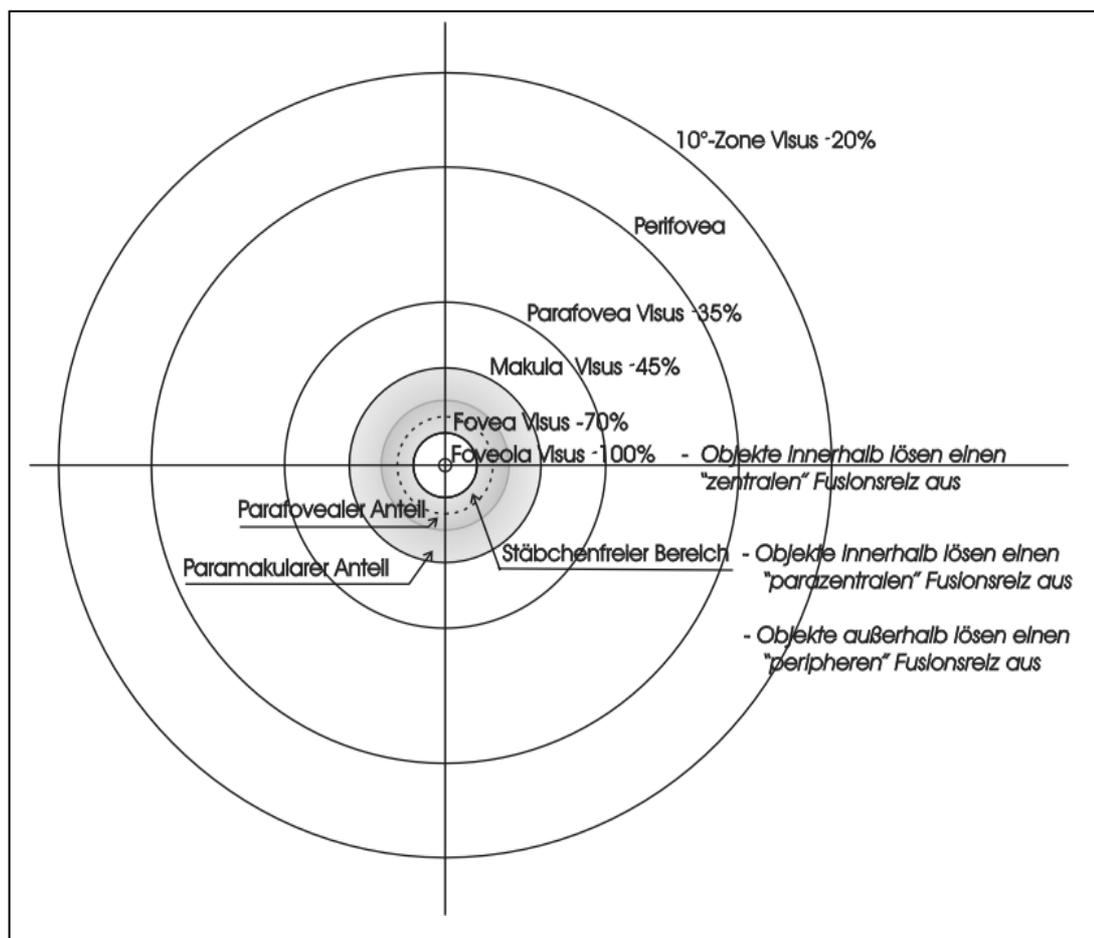


Abbildung 60: Anatomischer und physiologischer Aufbau der Netzhaut

Im Folgenden werden nun die einzelnen Bereiche genauer charakterisiert:

- Foveola ($\pm 10'$ bzw. $\varnothing=20'$).²⁰⁹ Sie liegt innerhalb der Fovea. Hier befindet sich das Gebiet des schärfsten Sehens und der Visus beträgt 100%. Die Foveola enthält ca. 2500 Zapfen, wovon jeder eine eigene Sehleitungsbahn besitzt. Sie bietet somit funktionell die besten Bedingungen für Abbildung, Erregung und Weiterleitung.²¹⁰ Objektpunkte die hierin abgebildet werden lösen „zentrale Fusionsreize“ aus.²¹¹ Ophthalmoskopisch erscheint sie in einem dunkleren Rot als die umgebende Fovea.
- Fovea ($\pm 50'$ bzw. $\varnothing=1^{\circ}40'$).²¹² So wird das Gebiet der verdünnten Makula bezeichnet. Die Zapfen sind bis zum Rand der Fovea wegen der verdrängten Bipolar- und Ganglienzellen dem Licht unmittelbar zugänglich.²¹³ Der Visus fällt nun langsam ab und beträgt am Rand der Fovea etwa 70%. Die verdrängten Bipolar- und Ganglienzellen bilden nun den Makulawall. Das Gebiet der verdickten Netzhaut, welches die Fovea umringt wird bis zum Scheitel des Walles als parafovealer und vom Scheitel bis zum Makularbeginn als paramakularer Anteil bezeichnet. Der Ring ist ca. 1mm breit.²¹⁴
- Stäbchenfreier (parazentraler) Bereich ($\pm 1^{\circ}15'$ bzw. $\varnothing=2,5^{\circ}$).²¹⁵ Innerhalb dieses Bereiches befinden sich nur Zapfen. Objektpunkte, die hierin abgebildet werden, lösen „parazentrale Fusionsreize“ aus. Die relative Sehschärfe fällt am Rand auf etwa 50-60% ab. Fusionsreize von Objekten außerhalb dieser Zone nennt man „periphere Fusionsreize“.
- Makula ($\pm 2^{\circ}30'$ bzw. $\varnothing=5^{\circ}$).^{216 217} Die zu erwartende Sehleistung am Rand der Makula schätzt man mit ca. 45%.
- Parafovea ($\pm 4^{\circ}10'$ bzw. $\varnothing=8^{\circ}20'$).²¹⁸ In der Parafovea befindet sich die höchste Dichte von Bipolarzellen. In der Ganglienzellenschicht können bis

²⁰⁹ Carl Zeiss: Handbuch der Augenoptik, Oberkochen 2000, S.65

²¹⁰ Methling, D.: Bestimmung von Sehhilfen, Stuttgart 1996, S.8

²¹¹ Goersch, H.: Die drei notwendigen Testarten zur vollständigen Heterophoriebestimmung, Sonderdruck aus Deutsche Optikerzeitung, Heidelberg 11/1987

²¹² Carl Zeiss: Handbuch der Augenoptik, Oberkochen 2000, S.65

²¹³ Hubel, D.: Auge und Gehirn, Heidelberg 1989, S.45

²¹⁴ Methling, D.: Bestimmung von Sehhilfen, Stuttgart 1996, S.7

²¹⁵ Goersch, H.: Die drei notwendigen Testarten zur vollständigen Heterophoriebestimmung, Sonderdruck aus Deutsche Optikerzeitung, Heidelberg 11/1987

²¹⁶ Methling, D.: Bestimmung von Sehhilfen, Stuttgart 1996, S.8

²¹⁷ Berke, A.: Biologie des Auges, Mainz 1999, S.196f

zu sieben Lagen von Ganglienzellen vorliegen. Am Rand erwartet man einen Visus von ca. 35%.

- Perifovea ($\pm 7^{\circ}30'$ bzw. $\varnothing=15^{\circ}$).²¹⁹ Sie beginnt dort, wo die Ganglienzellschicht aus vier Lagen von Ganglienzellen aufgebaut ist und endet dort, wo die Ganglienzellschicht nur noch aus einer einzigen Zelllage besteht.
- 10° -Zone ($\pm 10^{\circ}$ bzw. $\varnothing=20^{\circ}$) Die 10° -Zone ist anatomisch nicht durch etwas abgrenzbar. Sie wurde lediglich zum Abschätzen der erreichbaren Sehleistung mit aufgenommen. Man geht davon aus, dass bis zum Rand noch ein Visus von 20% möglich ist. Danach fällt der Visus nur noch langsam ab. Am Rand der 20° -Zone beträgt er ca. 10%.

Die in Klammer stehenden Größen geben zum einen die Knotenpunktswinkel und zum anderen die Durchmesser der Zone an.

2.6.2 Reizweiterleitung

Mit zunehmender Entfernung von der Foveola nimmt die Sehschärfe also schnell ab. Dies hängt mit der Größe der rezeptiven Felder zusammen. Während die Zapfen der Fovea meist über eine Bipolare mit einer Ganglienzelle verbunden sind (direkte Schaltung), sind am Rand der Netzhaut viele Rezeptoren mit einer Bipolaren und mehrere Bipolare mit einer Ganglienzelle verbunden (konvergente Schaltung).

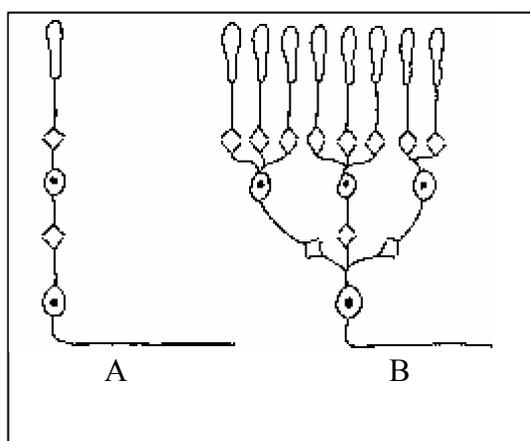


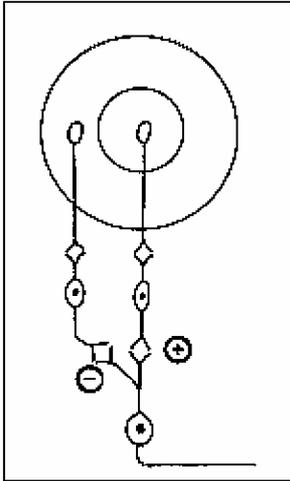
Abbildung 61: A direkte Schaltung, B konvergente Schaltung²²⁰

²¹⁸ Berke, A.: Biologie des Auges, Mainz 1999, S.196f

²¹⁹ Berke, A.: Biologie des Auges, Mainz 1999, S.196f

²²⁰ Christner, J.: Abiturwissen: Nerven, Sinne und Hormone, Stuttgart 1993, S.67

Alle mit einer Ganglienzelle verbundenen Zellen (Stäbchen, Zapfen, Bipolaren) bilden eine rezeptive Einheit. Je mehr Zellen zu einer Einheit zusammengefasst sind, desto gröber wird das Raster, mit welchem die betreffende Netzhautstelle das Bild noch auflösen kann.



Die Erregungen der zu einem rezeptiven Feld gehörenden Rezeptoren werden im Allgemeinen nicht addiert. Die rezeptiven Felder sind konzentrisch und zeigen bei Helladaptation zwei Bereiche: ein Zentrum und eine ringförmige Peripherie. Abbildung 62 zeigt die Verschaltung der Rezeptoren eines rezeptiven Feldes.

Abbildung 62: Verschaltung der Rezeptoren eines rezeptiven Feldes²²¹

Bei den rezeptiven Feldern unterscheidet man zwei Arten. Zum einen EIN-(Zentral) Felder oder ON-Zentrum-Zellen und zum anderen AUS-(Zentral-) Felder oder OFF-Zentrum-Zellen.

Charakteristisch für eine ON-Zentrum-Zelle ist, dass das weitergeleitete Aktionspotential mit der beleuchteten zentralen Fläche zunimmt (Abbildung 63 A und B). Das Maximum der Erregung ist erreicht, wenn das komplette Zentrum des rezeptiven Feldes belichtet ist. Wird hingegen das gesamte Zentrum und ein Teil der Peripherie belichtet, so reduziert sich die Frequenz des weitergeleiteten Aktionspotentials, aufgrund der hemmenden Wirkung der Peripherie des Feldes, wieder (Abbildung 63 C). Bei Bestrahlung des kompletten rezeptiven Feldes heben sich die beiden gegensätzlichen Wirkungen des Zentrums und der Peripherie auf und das weitergeleitete Aktionspotential bleibt weitgehend unverändert zum Zustand ohne Belichtung (Abbildung 63 D). Belichtet man nur die Peripherie, wird die Weiterleitung des Aktionspotentials gehemmt und ergibt sich nach Ausschalten der Lichtquelle eine Erregung (in der Abbildung nicht dargestellt).

²²¹ Christner, J.: Abiturwissen: Nerven, Sinne und Hormone, Stuttgart 1993, S.67

Eine OFF-Zentrum-Zelle verhält sich entgegengesetzt. Wird ihr Zentrum belichtet, so kommt es statt zu einer Erregung zu einer Hemmung der Aktionspotentiale. Das Maximum der Erregung einer OFF-Zentrum-Zelle wird erreicht, wenn nur ihre Peripherie belichtet wird.

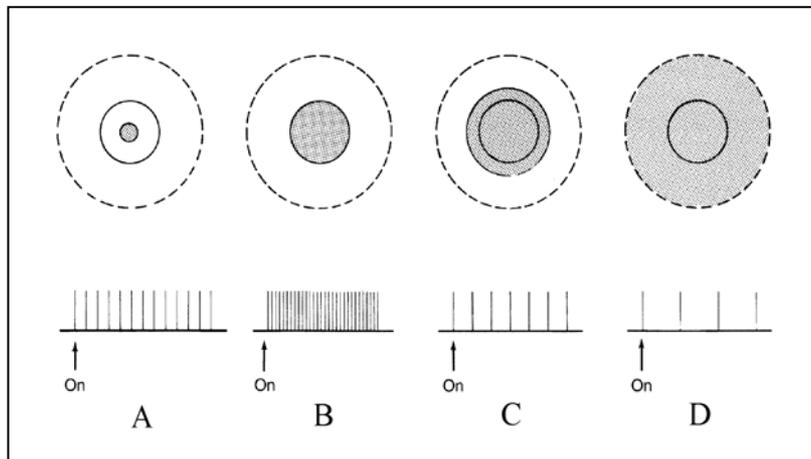
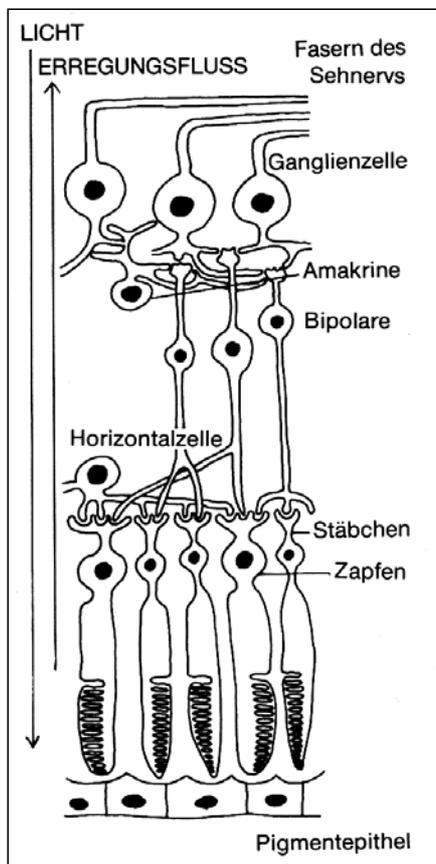


Abbildung 63:
Reizweiterleitung
einer ON-Zentrum-
Zelle²²²

Aufgrund der Funktionsweise der rezeptiven Felder kommt es zu einer Kontrastierung der Kanten. Man kann so Einzelheiten besser getrennt wahrnehmen, wodurch der Visus ansteigt.



Verantwortlich für die funktionelle Organisation der rezeptiven Felder sind hauptsächlich die Querverbindungen innerhalb der Retina, also die Horizontalzellen und die amakrinen Zellen. Die gegensätzliche Reaktion von Zentrum und Peripherie des rezeptiven Feldes führt zu einer Verstärkung von Kontrasten.

Abbildung 64 zeigt einen schematischen Schnitt durch die Netzhaut des Menschen, um die Anordnung der einzelnen Strukturen zu veranschaulichen.

Abbildung 64: Schematischer Schnitt durch die Netzhaut des Menschen²²³

²²² Goldstein, E.B.: Wahrnehmungspsychologie, Heidelberg 1997, S.63

²²³ Christner, J.: Abiturwissen: Nerven, Sinne und Hormone, Stuttgart 1993, S.66

Das Zentrum des rezeptiven Feldes vergrößert sich bei Dunkeladaptation auf Kosten der Peripherie, die schließlich verschwindet. Damit erhöht sich die räumliche Summation und das rezeptive Feld wird empfindlicher. Gleichzeitig vermindert es aber auch die Fähigkeit zur Kontrastierung und damit die Sehschärfe.

Auf der Netzhaut ist die Lage der rezeptiven Felder überlappend, wodurch zusätzliche Informationen über die Reizeigenschaften weitergeleitet werden können. Es entsteht somit eine Funktionseinheit die man kortikale Zelle nennt. Abbildung 64 zeigt ein Gedankenmodell, welches die Entstehung einer einfachen kortikalen Zelle verdeutlichen soll.

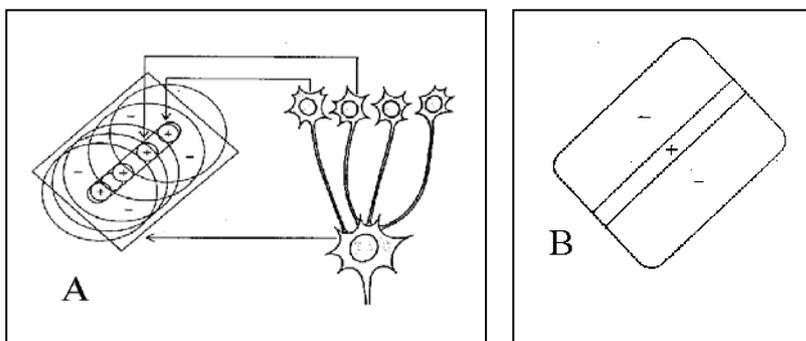


Abbildung 65: Durch die überlappenden rezeptiven Felder (A) entsteht eine einfache kortikale Zelle (B).²²⁴

Durch die räumliche Summation der einzelnen rezeptiven Felder erreicht man dann eine maximale Reizweiterleitung, wenn der auf der Netzhaut abgebildete Balken eine optimale Größe, Lage und Orientierung hat. Wird die ganze Zelle bedeckt oder verläuft der Balken quer, so entsteht, wie in Abbildung 66 zu sehen ist, keine Impuls.

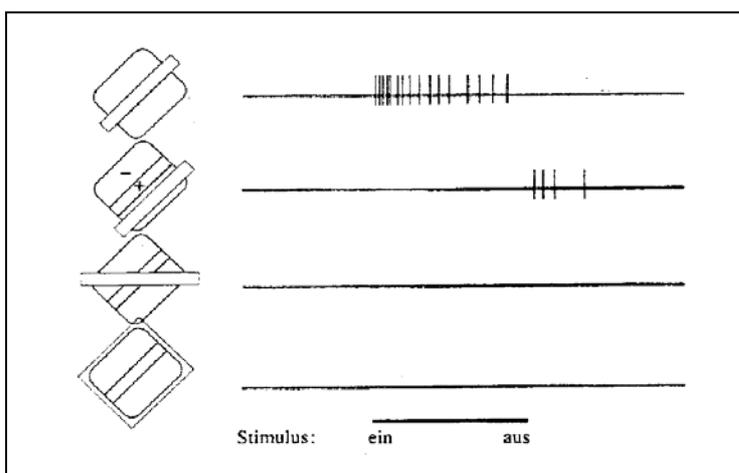


Abbildung 66: Reizweiterleitung einer einfachen kortikalen Zelle.²²⁵

²²⁴ Hubel, D.: Auge und Gehirn, Heidelberg 1989, S.82f.

²²⁵ Hubel, D.: Auge und Gehirn, Heidelberg 1989, S.82f

Hubel und Wiesel identifizierten zwei weitere Haupttypen von rezeptiven Feldern einfacher Zellen im Kortex, die in Abbildung 67 dargestellt sind.

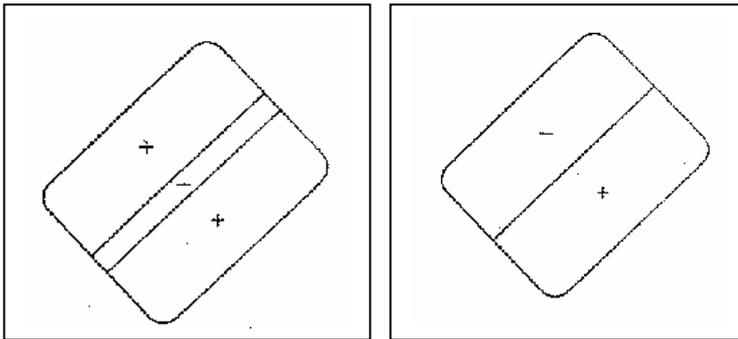


Abbildung 67: typische Arten von rezeptiven Feldern einfacher kortikaler Zellen.²²⁶

Goldstein fasste die Eigenschaften der **einfachen kortikalen** Zellen wie folgt zusammen:

„Hemmende und erregende Bereiche liegen nebeneinander angeordnet und sie reagieren optimal auf Streifen einer bestimmten Orientierung.“²²⁷

Dementsprechend antworten **komplexe kortikale** Zellen unabhängig von der Position des Reizes im rezeptiven Feld. Hier werden die Zellen aktiviert, wenn ein Lichtreiz mit einer bestimmten Bewegungsrichtung das Feld passiert. Sie wirken also richtungsspezifisch (Abbildung 68).²²⁸

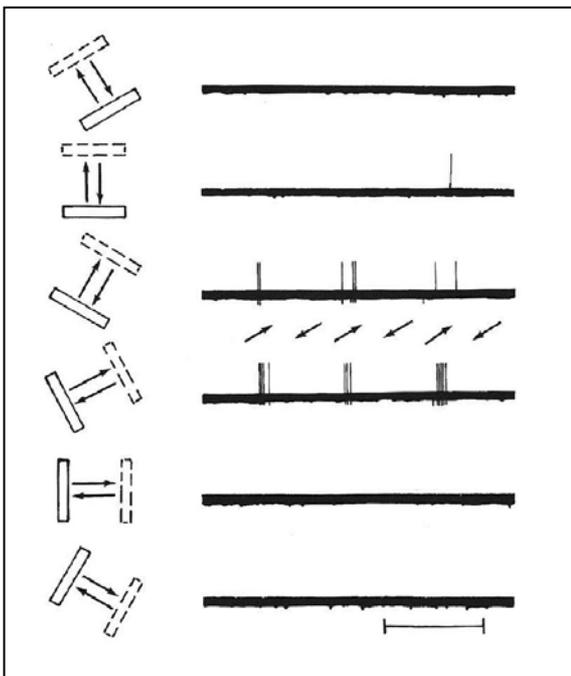


Abbildung 68: Reizweiterleitung komplexer Zellen ist abhängig von der Bewegungsrichtung²²⁹

²²⁶ Hubel, D.: Auge und Gehirn, Heidelberg 1989, S.82

²²⁷ Goldstein, E.B.: Wahrnehmungspsychologie, Heidelberg 1997, S.93

²²⁸ Thews, Mutschler, Vaupel: Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen, Stuttgart 1999, S.747

²²⁹ Hubel, D.: Auge und Gehirn, Heidelberg 1989, S.80

Wie zu sehen ist, entsteht eine Reizweiterleitung, obwohl die gleiche Orientierung vorliegt, nur in einer Bewegungsrichtung. Zum Erläutern dieses Phänomens dient das in Abbildung 69 dargestellte Modell eines neuronalen Schaltkreises.

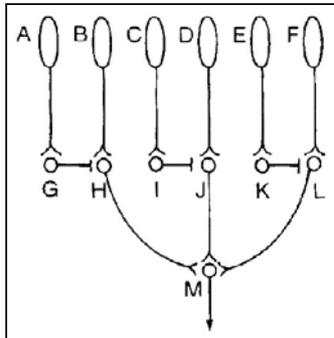


Abbildung 69: Beispiel eines neuronalen Schaltkreises²³⁰

Das Neuron M reagiert nur auf Bewegungen, welche die Rezeptoren von rechts nach links anspricht. Auf Bewegungen von links nach rechts hingegen nicht.

In Abbildung 70 A wandert das Licht von dem Rezeptor A nach rechts. Reizt das Licht den Rezeptor A so erfolgt eine Erregung der Synapse G. G wiederum sendet ein hemmendes Signal an H und inhibiert somit diese Synapse. Während dieses Prozesses, bewegt sich der Reiz von A nach B (Abbildung 70 B), so dass nun der Rezeptor B erregt wird und ein Signal an H sendet. Doch da H von G gehemmt ist, kann diese Zelle kein Aktionspotential auslösen. So gelangen die Signale von A und B nicht über H hinaus und erreichen somit niemals M, das Neuron am Ende des Schaltkreises. Dieser Vorgang wiederholt sich, wenn sich der Reiz über die verbleibenden Rezeptoren bewegt.

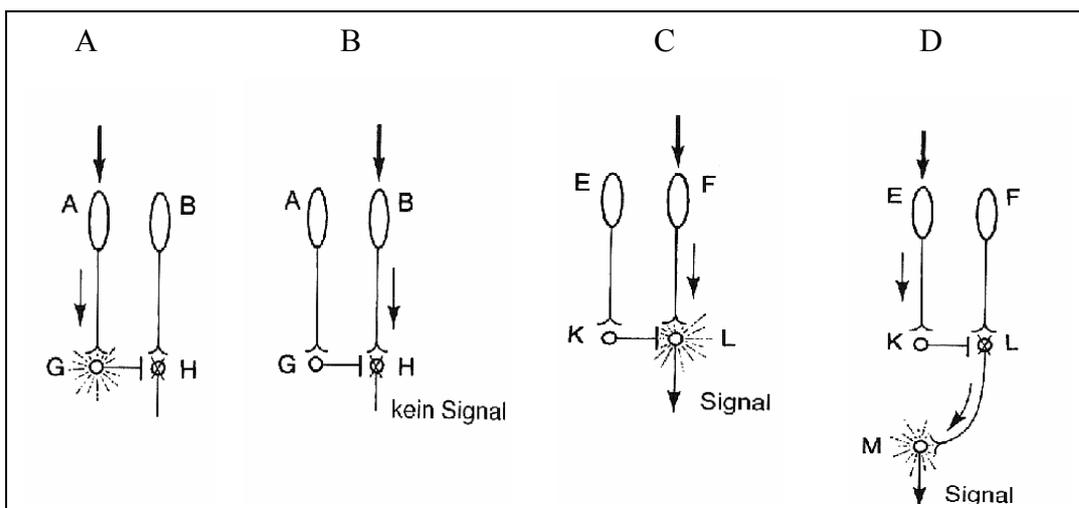


Abbildung 70: Reizweiterleitung bei konvergenter Schaltung²³¹

²³⁰ Goldstein, E.B.: Wahrnehmungspsychologie, Heidelberg 1997, S.274f.

²³¹ Goldstein, E.B.: Wahrnehmungspsychologie, Heidelberg 1997, S.274f.

Das Ergebnis fällt jedoch anders aus, wenn der Reiz in der anderen Richtung verläuft. Wird zuerst Rezeptor F gereizt, so erregt dieser die Synapse L, wobei L sofort feuert (Abbildung 70 C). Der Reiz bewegt sich dann zu Rezeptor E, was dazu führt, das L von K gehemmt wird. Diese Hemmung trifft jedoch zu spät ein. L hat bereits gefeuert und M erregt (Abbildung 70 D) Da sich der Vorgang bei den anderen Rezeptoren wiederholt, kann Neuron M eine Bewegung von rechts nach links weiterleiten.

Die **hyperkomplexen** oder **endinhibierten, kortikalen** Zellen zeichnen sich durch eine starke Hemmung an den Enden des rezeptiven Feldes aus. Sie reagieren auf Ecken, Winkel oder Streifen einer definierten Länge, die sich in einer bestimmten Richtung bewegen (Abbildung 71).

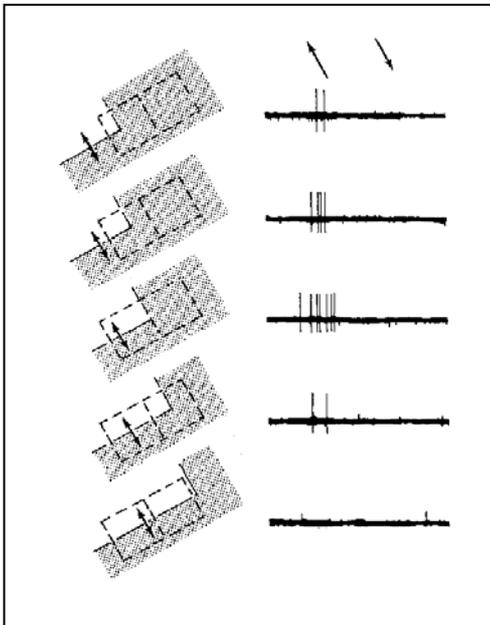


Abbildung 71: Reizweiterleitung einer hyperkomplexen Zelle.²³²

2.6.3 Binokularer Wettstreit (binocular Rivalry)²³³

Werden dem rechten und dem linken Auge bei hinreichend scharfer Abbildung, ungleiche Objekte auf korrespondierende Netzhautstellen dargeboten, so können diese nicht fusioniert werden. Die Seheindrücke beider Augen werden aufgrund des

²³² Goldstein, E.B.: Wahrnehmungspsychologie, Heidelberg 1997, S.92

²³³ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.231

binokularen Wettstreites abwechselnd wahrgenommen.²³⁴ Bietet man z.B. dem rechten Auge senkrechte, dem linken Auge hingegen waagerechte Linien an, so ist man praktisch nicht in der Lage, ein Gitter oder Netzmuster zu sehen. Offenbar toleriert das visuelle Wahrnehmungssystem derart unterschiedliche simultane Stimuli in ein und demselben Teil des Gesichtsfeldes nicht. Es unterdrückt (supprimiert) stets einen der beiden. Sind die beiden Abbildungen unterschiedlich scharf, so ist der Mensch mittels Ausrichtung in der Lage die Aufmerksamkeit auf eines der Bilder zu lenken und das andere vollständig auszuschalten. Dies geschieht zum Beispiel beim monokularen Mikroskopieren.

Trotz oder vielleicht auch gerade wegen der Existenz des binokularen Wettstreits ist das Gehirn allerdings auch in der Lage, zwei identische Einzelbilder zu einem verschmolzenen flachen Einzelbild oder zwei geringfügig horizontal abweichende Bilder zu einer Szene mit Tiefe zu fusionieren.²³⁵

Normwerte für den binokularen Wettstreit²³⁶:

- bis 7 Jahre: 20 Zyklen pro Minute
- 8-13 Jahre: 25 Zyklen pro Minute
- ab 14 Jahren: 30 Zyklen pro Minute.

Anhand der Zyklen lässt sich die Qualität des binokularen Sehens abschätzen. Ohne irgendeine Form von Wettstreit kann es kein wirkliches Binokularsehen geben. Beim Faktor „Null“ hätte man ein rein monokulares Sehen. Aber auch beim sehr schnellen Wechsel (dafür gibt es nach Manas keine Norm) neigt die Stereopsis, welche die Güte des Binokularsehens widerspiegelt, zum Nachlassen.²³⁷

Ursprünglich bezeichnete man den binokularen Wettstreit als „Netzhautrivalität“ oder „retinale Rivalität“. Untersuchungen zeigten aber schnell, dass nicht die Netzhaut den Wettstreit verursacht, sondern der Kortex diesen Vorgang steuert.

²³⁴ Methling, D.: Bestimmen von Sehhilfen, Stuttgart 1996, S.53

²³⁵ Hubel, D.: Auge und Gehirn, Heidelberg 1989, S.161f.

²³⁶ Manas, L.: Visuelle Analysen, Societa D` Optometrie D` Europe, S. 119f

²³⁷ Manas, L.: Visuelle Analysen, Societa D` Optometrie D` Europe, S. 119f.

3 Themenrelevante Begriffsdefinitionen

3.1 Regelkreise: Efferenz- und Reafferenzprinzip

Auf der Grundlage von optischen Täuschungen entwarf Holst das Reafferenzprinzip. Mit Hilfe dieses Modells ist es möglich, zu erklären, warum ein Organismus die gleichen Erregungsmuster der Sinnesorgane verschieden auswerten kann. Die objektive Bildverschiebung auf der Netzhaut des Auges kann z.B. bei aktiver Augenbewegung als „Standbild“, bei Veränderung der Umwelt als „Bewegungsbild“ gedeutet werden.²³⁸

Es müssen demnach mehrere Informationen gleichzeitig ausgewertet werden. In der Sinnesphysiologie geht man davon aus, dass ein höheres Nervenzentrum HZ ein Kommando K an ein oder mehrere niedrigere Zentren (NZ) sendet. Abbildung 72 zeigt den schematischen Aufbau dieses Gedankenmodells. Das NZ aktiviert dann mittels einer Erregung (Efferenz) den Effektor EFF und hinterlegt gleichzeitig eine Efferenzkopie. Die vom Effektor nun empfangenen Reize werden mittels Reafferenz sofort an das niedrigere Zentrum NZ zurückgemeldet und treten mit der Efferenzkopie in Wechselbeziehung. Sind diese gleich groß, so heben sie sich gegenseitig auf, wodurch die Efferenzkopie gelöscht wird.

Weichen sie voneinander ab und bleibt ein Rest der Efferenzkopie übrig, so wird je nach Grad der Abweichung der Restbetrag als Exafferenz weitergeleitet. War der Betrag voraussehbar, so kommt es auf der unteren Ebene der nervösen Hierarchie zu einem erneuten Kommando an den Effektor. Bei bedeutsamen Abweichungen hingegen wird die Exafferenz zur „Beurteilung“ an höhere Instanzen weitergeleitet und die Veränderung wird bewusst wahrgenommen.

²³⁸ Vogel, G., Angermann, H.: dtv-Atlas zu Biologie Band 2, München 1984, S.359

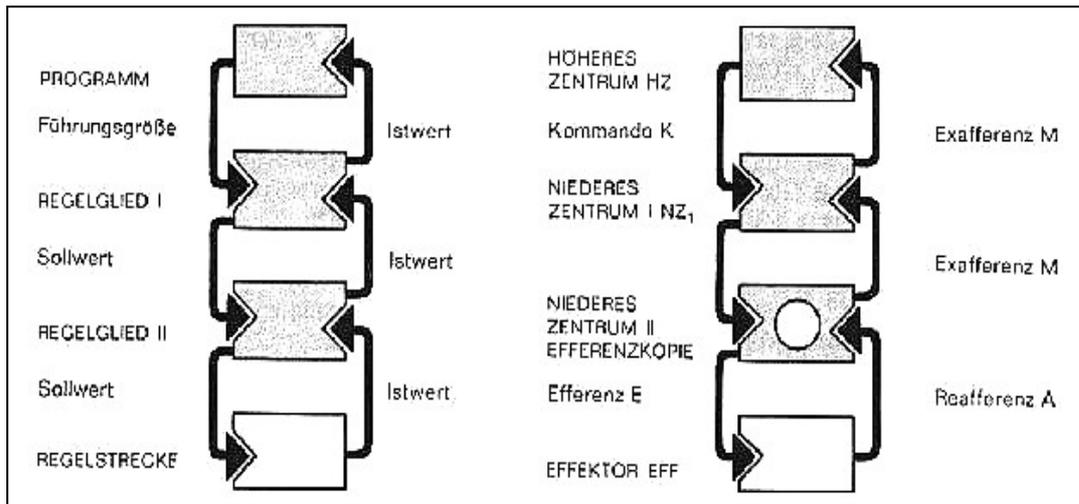


Abbildung 72: Regelkreise²³⁹

Bezogen auf das Bewegungssehen beim Menschen bedeutet dies folgendes:

Bewegt sich z.B. ein Objekt auf der Netzhaut von X_1 nach X_2 , wie in Abbildung 73 A, so meldet der Effektor über die Reafferenz die Bewegung. Da im niedrigeren Zentrum kein Bewegungskommando vorlag, muss es sich um eine Eigenbewegung des Objektes handeln. Das niedrigere Zentrum leitet deshalb die Information an das Höhere Zentrum weiter und man nimmt eine Eigenbewegung des Objektes wahr. Hätte hingegen das höhere Zentrum eine Bewegung des Auges angeordnet, so läge im niedrigeren Zentrum, wie in Abbildung 73 B, eine Efferenzkopie, welche sich mit der Bewegungsmeldung des Effektors aufgehoben hätte, vor. Das Objekt erscheint infolgedessen unbewegt.

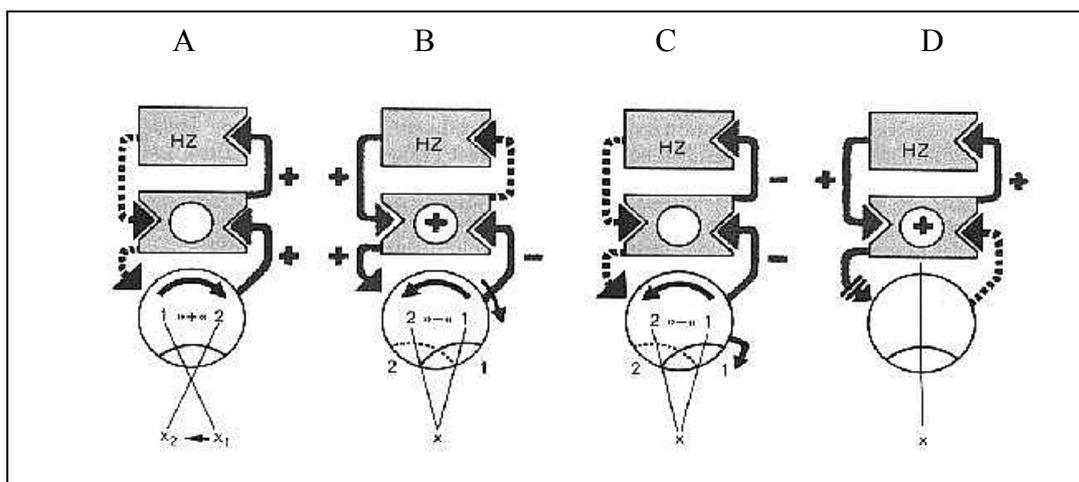


Abbildung 73: Bewegungssehen des Menschen²⁴⁰

²³⁹ Vogel, G., Angermann, H.: dtv-Atlas zu Biologie Band 2, München 1984, S.358

²⁴⁰ Vogel, G., Angermann, H.: dtv-Atlas zu Biologie Band 2, München 1984, S.358

Die Reafferenztheorie lässt sich auch durch Manipulationen des Systems bestätigen. Bewegt man z.B. mit einem Finger passiv das Auge, so kommt es auf der Netzhaut zu einer Verschiebung des Bildes (Abbildung 73 C). Da keine Bewegung angeordnet worden ist, liegt auch im niedrigeren Zentrum keine Efferenzkopie vor. Der Effektor meldet allerdings eine Bewegung des Netzhautbildes und so kommt es dazu, dass man eine Scheinbewegung des unbewegten Gegenstandes wahrnimmt. Ebenso werden uns Bewegungen gemeldet, wenn das Auge experimentell gelähmt wird (Abbildung 73 D). Senden man das Kommando einer Bewegungsänderung z.B. Augen nach rechts und es erfolgt keine Bewegungsänderung eines unbewegten Objektes auf der Netzhaut, so geht entsprechend eine Meldung vom niedrigeren Zentrum an das höhere Zentrum, dass sich die Umwelt nach rechts bewegt hat.²⁴¹

3.2 Lernfähigkeit bzw. Adaptation

Wie ein Organismus sich am besten und schnellsten veränderten Situationen anpassen kann, ist bis heute nur ansatzweise bekannt. Untersuchungen von Held und seinen Mitarbeitern zur Lernfähigkeit sensumotorischer und sensorischer Systeme ergaben jedoch einige bedeutende Faktoren.²⁴² Zum einen konnten sie nachweisen, dass eine Adaptation an eine durch Prismen erzeugte Veränderung der visuellen Lokalisation der Hand nur durch aktive Bewegung des ausführenden Organs (Hand) erreicht werden konnte, nicht aber bei passiver bzw. ohne Bewegung. Zum anderen ist eine wesentliche Bedingung für sensumotorische Adaptation das Vorhandensein von Ordnung auch während der Störung. Ist die Störung konstant z.B. durch ein fest montiertes Teilprisma, so tritt eine Adaptation auf. Als Versuch, die Plastizität sensumotorischer Koordinationsleistungen zu erklären, entwickelte Held (1961,1962) das in Abbildung 74 dargestellte Modell:

²⁴¹ Vogel, G., Angermann, H.: dtv-Atlas zu Biologie Band 2, München 1984, S.359

²⁴² Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S.5f.

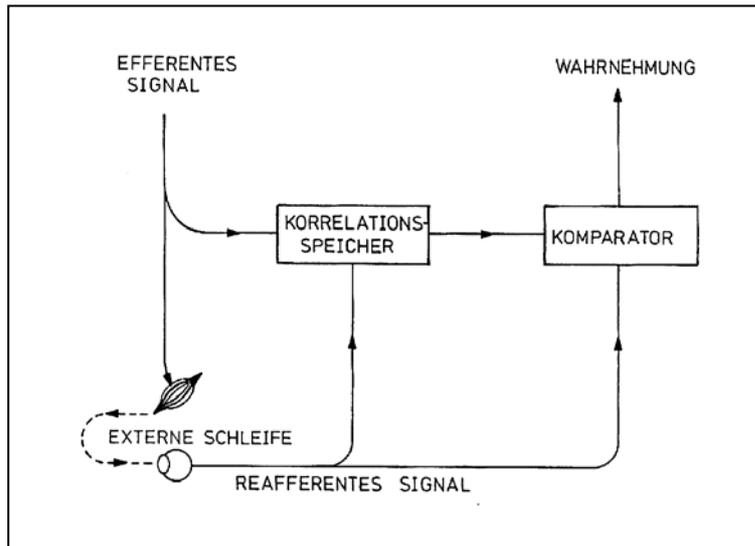


Abbildung 74: Modell nach Held²⁴³

Held vermutet, dass jede Efferenzkopie mit der zugehörigen Reafferenz in einem Korrelationsspeicher verknüpft und abgelegt wird. Trifft ein neues efferentes Signalmuster ein, so findet jeweils die Ermittlung der mit ihm in der Vergangenheit verknüpften Reafferenz statt. Dieses zugehörige gespeicherte reafferente Signal wird nun im „Komparator“ mit dem aktuellen reafferenten Signal verglichen. Das Resultat dieses Vergleichs beeinflusst die weitere Bewegungsausführung, d.h. die zukünftige Efferenzen (response produced movement). Der Korrelationsspeicher dient als „Gedächtniskomponente“. Durch die Variabilität der Auswahl von Reafferenzen wird das System flexibel, adaptiv und lernfähig. Neu gespeicherten Efferenz-Reafferenz-Kombinationen scheint dabei im Auswahlprozess ein stärkeres Gewicht zuzufallen, da ansonsten der Zufall entscheiden würde, welche gespeicherte Reafferenz im Komparator mit der aktuellen Reafferenz verglichen wird.²⁴⁴ Die Grundlage einer Adaptation liegt also vermutlich in einer neuen (veränderten) Eichung („re-calibration“) der efferenten Signale.²⁴⁵

Erfolgreiche Programmabläufe werden in speziellen Gehirnregionen außerhalb des Pyramidensystems gespeichert. Die Pyramidenzellen in der Hirnrinde geben hierzu – während der Einübung eines Programms – laufend Meldungen an Neuronen des Streifenkörpers und des Thalamus. Diese außerpyramidalen Hirnbereiche senden

²⁴³ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S.8

²⁴⁴ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S.7f.

²⁴⁵ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S.29

wieder Rückmeldungen an die Pyramidenbereiche, so dass geschlossene Rückmeldekreise entstehen. Erfolgreiche Programme brauchen dann nur noch in der entsprechenden Situation über Kommandoneuronen der Hirnrinde abgerufen zu werden. Sie laufen dann unbewusst ab.

Kommt es nun zu einer Störung (z.B. durch Vorsetzen eines Prismas), stimmt die Reafferenz nicht mit der gespeicherten Efferenz-Reafferenz-Kombination überein. Nun muss die Großhirnrinde wieder in Funktion treten und das Programm modifizieren. Das neue Programm wird neben dem ursprünglichen gespeichert und ist dann getrennt abrufbar. Auf diese Weise können nahezu unzählige Programme gespeichert werden.²⁴⁶

Überträgt man diese Gedankenmodelle auf die experimentellen Ergebnisse von Held, so wird nachvollziehbar, dass eine Adaptation der visuellen Lokalisation der Hand nur bei aktiver Bewegung des ausführenden Organs (Hand) erreicht werden konnte. Ohne aktive Bewegung konnte auch keine Fehlermeldung entstehen, die eine Umprogrammierung nötig machte. Ist eine Fehlermeldung hingegen ungleichmäßig, so ergibt die Differenz zwischen Efferenzkopie und Reafferenz immer einen unterschiedlichen Betrag und das höhere Nervenzentrum erhält fortwährend Informationen über Umweltveränderungen. Ein neues Programm kann nicht gespeichert werden.

3.3 Biofeedback

Wie unter dem Begriff Lernfähigkeit bereits erklärt, setzt Lernen voraus, dass man erfährt, ob das eigene Bemühen Erfolg oder Misserfolg bringt. Der Lernprozess ist dann behindert, wenn diese Erfolgsmeldungen ausbleiben. Mittels Biofeedback versucht man, Kontrolle über seinen Körper und dessen Funktionen zu erlangen, indem man versucht, die Körpersignale klar und deutlich wahrzunehmen. 1958 entdeckte Dr. Kimmel die willkürliche Beeinflussung von bisher als autonom geltenden Funktionen.²⁴⁷ Somit ist auch das vegetative Nervensystem nicht unbeeinflussbar. Der Ausdruck selber stammt allerdings aus dem Jahre 1969. Er

²⁴⁶ Ewert, J.: Nerven- und Sinnerphysiologie, Braunschweig 1982, S.109

²⁴⁷ Schellenberg, R.: Biofeedback: "Training statt Pillen", www.schellenberg-med.de/Biofeedback.html

beschreibt ein umfangreiches Forschungsgebiet, das auf dem Gedanken beruht, dass biologische Reaktionen durch ein Feedback (Rückmeldung) beeinflusst werden können. Biofeedback ist eine wissenschaftlich anerkannte Methode.

In der Biofeedback-Therapie werden scheinbar nicht beeinflussbare Körperfunktionen wie z.B. Hirnaktivität, Hautleitwert, Hauttemperatur/Durchblutung oder Muskelspannung für den Trainierenden durch z.B. optische oder digitale Signale sichtbar gemacht. Durch die Rückmeldung normalerweise unbewusster Körperfunktionen lernt man, diese Körperwerte willentlich unter Kontrolle zu bringen. Der Trainierende kann durch die (optischen) Signale seine Trainingsfortschritte sofort objektiv kontrollieren. Das Ziel der Therapie ist es, den Körper zu einer solchen Mitarbeit zu trainieren, dass schon eine kurze Vorstellung (Visualisierung) des gewünschten Prozesses die beabsichtigte körperliche (physiologische) Veränderung herbeiführt.²⁴⁸

3.4 Open- und Close-Loop Bedingungen

Um den Einfluss von Kontrollmechanismen zu unterbinden, finden viele Untersuchungen zu physiologischen Vorgängen im Auge unter open-loop Bedingungen statt. Dies bedeutet, dass man die normalerweise über die afferenten Bahnen stattfindende Rückkoppelung (feedback), welche zu einer Veränderung des Zustandes führen könnte, unterbricht. Damit entspricht der eingenomme Status den Signalen der efferenten Bahnen.

Am Beispiel der Akkommodation lässt sich dies folgendermaßen erklären. Der Akkommodationszustand der Linse wird durch eine Kombination von Faktoren bestimmt, wie z.B. Tiefenschärfe, Fusion, Empfinden für Nähe, usw..

Ist z.B. der Akkommodationszustand des Auges nicht genau auf die Ebene des Betrachtens ausgerichtet, so ist das Netzhautbild unscharf. Unter close-loop Bedingungen löst dieses verschwommene Bild nun eine Rückkoppelung aus, welche dazu führt, den Akkommodationszustand so zu verändern, dass die, zum

²⁴⁸ Schellenberg, R.: Biofeedback: "Training statt Pillen", www.schellenberg-med.de/Biofeedback.html

Verarbeiten nötige Tiefenschärfe, erreicht wird.²⁴⁹ Close-loop Bedingungen sind also vergleichbar mit Regelkreisen. Möchte man diese Rückkoppelung verhindern, so gelingt dies zum Beispiel durch das Tragen einer Kontaktlinse, deren lichtdurchlässiger Bereich auf einen Durchmesser von 0,5mm reduziert wurde. Durch die kleine Öffnung ist nun bereits eine hohe Tiefenschärfe gegeben, so dass eine Rückkoppelung aufgrund von Unschärfe nicht mehr stattfindet.

Möchte man jegliche optische Beeinflussung des Akkommodationszustandes durch Rückkoppelung unterbinden, so können die Untersuchungen z.B. im dunklen oder strukturlosen Raum vorgenommen werden. Unter solchen Bedingungen lässt sich dann der Einfluss der nicht optischen Faktoren, wie das Gefühl der Nähe, der Emotion, der Motivation, der kognitiven Aktivität und der Vorstellung untersuchen.

3.5 Vestibuloocular-Reflex

Die Reflexe, die vom Vestibularorgan ausgehen, dienen vor allem zwei Mechanismen:

- Gleichgewichtserhaltung des Körpers (Stützmotorik)
- dem „im-Auge-behalten“ der Umwelt trotz Kopf- und Körperbewegungen (Blickmotorik).

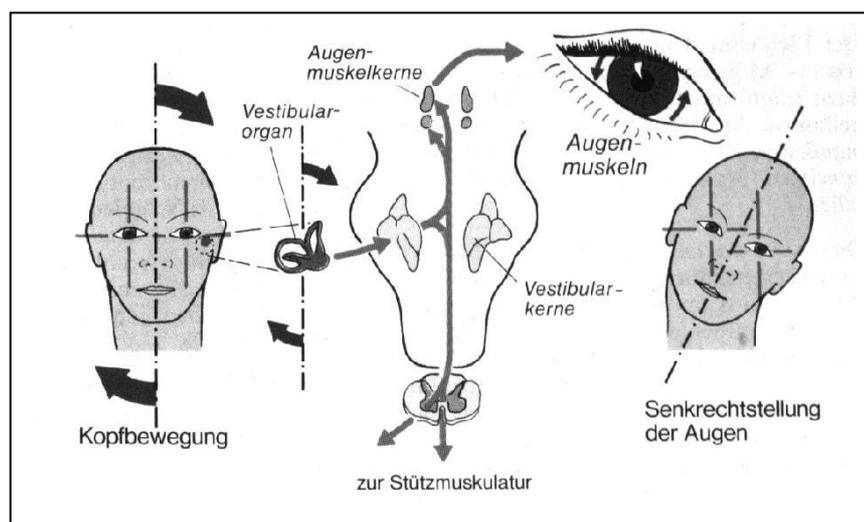


Abbildung 75:
Vestibularorgan
und seine
Wirkung auf die
Blickmotorik²⁵⁰

²⁴⁹ Winn, B., Gilmartin, B., Mortimer, L., Edwards, N.: The effort on open- and closed-loop accommodation, *Ophthalm. Physiol. Opt.*, 1991, Vol. 11, S. 335-339

²⁵⁰ Silbernagel, S., Despopoulos, A.: *Taschenbuch der Physiologie*, Stuttgart 1987, S. 299

Die enge Verbindung des Vestibularorgans zu den Augenmuskelkernen wird aufgrund der Tatsache, dass jede Abweichung der Kopfstellung sofort durch eine gegenläufige Augenbewegung korrigiert wird, deutlich. Die Raumorientierung wird dadurch sehr erleichtert (Abbildung 75).²⁵¹

Der Vestibuloocular-Reflex wird also durch Kopfbewegungen ausgelöst und dient zur automatischen Stabilisierung der Augen. Bewegt man den Kopf und betrachtet dabei ein Objekt, so erscheint dieses weiterhin bewegungslos, klar und deutlich. Diese Autostabilisierung erfolgt in allen drei orthogonalen Richtungen (sagittal, frontal und horizontal).

Bewegt man hingegen das Objekt in der gleichen Geschwindigkeit, so ist man nicht in der Lage, dieses weiterhin scharf zu sehen.²⁵² Da das Vestibularorgan selbst nicht unterscheiden kann, ob sich nur der Kopf bewegt oder aber der ganze Körper, bestehen auch zwischen den Propriozeptoren (Muskelspindeln und den Gelenkrezeptoren am Hals) einerseits und dem Vestibulariskern und dem Kleinhirn andererseits sehr enge nervale Verschaltungen.²⁵³

3.6 Propriozeptoren

Exterorezeptoren nehmen Reize der Umwelt auf, Entero- oder Propriozeptoren informieren das Nervensystem über Zustände im Körper.²⁵⁴ Propriozeptoren messen z.B. die Gelenkstellung oder die Muskellänge mittels Gelenkrezeptoren, Sehnenrezeptoren oder Muskelspindeln. Die Meldung der Propriozeptoren gelangt unter anderem zum Kleinhirn und zur Großhirnrinde, doch sind Reaktionen (Reflexe) auf diese Meldungen auch schon auf Rückenmarksebene möglich.²⁵⁵ Das Kleinhirn ist ein wesentliches Steuerzentrum der Motorik. Es koordiniert die Bewegung und Haltung und ist auch an der Bewegungsprogrammierung der Augen beteiligt.²⁵⁶

²⁵¹ Silbernagel, S., Despopoulos, A.: Taschenbuch der Physiologie, Stuttgart 1987, S. 298

²⁵² Monty, R., Senders, J.: Eye movements and psychological processes, New Jersey 1976, S.3

²⁵³ Silbernagel, S., Despopoulos, A.: Taschenbuch der Physiologie, Stuttgart 1987, S. 298

²⁵⁴ Christner, J.: Abiturwissen: Nerven, Sinne und Hormone, Stuttgart 1993, S.48

²⁵⁵ Silbernagel, S., Despopoulos, A.: Taschenbuch der Physiologie, Stuttgart 1987, S. 278

²⁵⁶ Silbernagel, S., Despopoulos, A.: Taschenbuch der Physiologie, Stuttgart 1987, S. 286

3.7 Motor overflow

Als motor overflow bezeichnet man eine unwillkürliche Bewegung. Sie wird von Muskeln erzeugt, die an der eigentlichen Bewegungsausführung unbeteiligt sind.²⁵⁷ Der menschliche Körper hat viel überschüssige Energie, welche ständig unterdrückt oder abgebaut werden muss. Kleine Kinder sind aufgrund dessen gewöhnlich sehr zappelig und verändern häufig ihre Haltung. Hierdurch erhalten sie zusätzliche Informationen über das Vestibularorgan (Kapitel 3.5) und die Propriozeptoren (Kapitel 3.6) bezüglich ihres Gleichgewichtes und der eigenen Lage im Raum. Im Alter von sechs bis acht Jahren nimmt dies bei normal entwickelten Kindern drastisch ab. Nun können diese Informationen immer stärker über die visuelle Wahrnehmung erfolgen. Die überschüssige Energie lernt man in der Regel zu unterdrücken oder in seiner Körpersprache, Gesten usw. abzubauen.²⁵⁸

Trotzdem finden immer wieder unbewusste, spontane Bewegungen statt, die nichts mit der eigentlichen Bewegungsausführung zu tun haben. Grund hierfür könnte eine Überlastung des neuralen Systems sein. Kommt es zu einer kurzzeitigen Pause der Unterdrückung überschüssiger Energie, so wird eine unbewusste Bewegung unbeteiligter Muskeln die Folge sein.

3.8 Z-Achse

Die Z-Achse beschreibt eine Linie, die vom fiktiven Zyklopenauge des Probanden parallel zum Boden ins Unendliche zielt. Im allgemeinen Sprachgebrauch jedoch verbindet man mit dem Begriff Z-Achse eher eine Ebene. Diese sollte im Idealfall den Körper des Probanden genau mittig durchlaufen. Bei gestörter Bilateralität (Kapitel 2.5) kann sie allerdings zu einer Körperhälfte hin verschoben sein.

Die Z-Achse spielt eine große Rolle bei der Bestimmung „Wo bin ich?“ und „Wo ist es?“, da ihr Ursprung am Probanden den Null-Punkt aller räumlichen

²⁵⁷ University of Wisconsin-Madison, Lazarus, J.-A.; Ph.D.,
www.soemadison.wisc.edu/kinesiology/people/lazarus.htm

²⁵⁸ Institute for Innovative Blind Navigation: Blindness and Mannerisms,
<http://isd.saginaw.k12.mi.us/~mobility/mannersm.htm>

Beziehungspunkte darstellt. Ist sie zu einer Körperhälfte hin verschoben, so wird der Proband oft Probleme haben, einen Gegenstand richtig visuell zu orten, und kann so z.B. öfters Abstände zu Gegenständen auf einer Seite seines Körpers falsch einschätzen.

3.9 SILO- bzw. SOLI- Effekt

Unser Größen- und Entfernungsempfinden ist an die Vergenzstellung unserer Augen, die Netzhautbildgröße und an unsere Erfahrung gekoppelt.

Die Netzhautbildgröße unterstützt uns bei der Orientierung. Weiter entfernte Objekte erzeugen ein kleineres Bild auf der Netzhaut als Objekte aus einer geringeren Entfernung. Ebenfalls erhält man Informationen über die Entfernung mittels der Vergenzstellung der Augen. Bei Betrachtung dichter Gegenstände müssen die Augen konvergenter stehen als bei ferner gelegenen. Diese beiden Informationen werden nun zusammen verarbeitet und mit der dritten Informationsquelle, der Erfahrung verglichen. Unser Gehirn verrechnet Netzhautbildgröße und Konvergenzwinkel so, dass wir ein auf uns zukommendes Objekt immer gleich groß wahrnehmen (Abbildung 76).

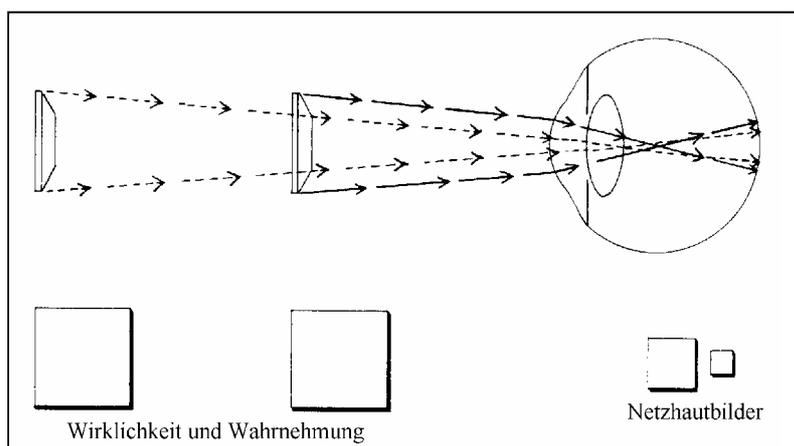


Abbildung 76:
Phänomen der
Größenkonstanz.²⁵⁹

Man spricht auch vom Phänomen der Größenkonstanz.²⁶⁰ Je näher ein Gegenstand, desto größer wird die benötigte Konvergenz. Sowohl die Muskelbewegung zur Einstellung der Konvergenz als auch die der Akkommodation besitzen

²⁵⁹ Gregory, R.: Auge und Gehirn, München 1966, S. 151

²⁶⁰ Vogel, G., Angermann, H.: dtv-Atlas zu Biologie Band 2, München 1984, S.359

entsprechende Efferenzkopien (Kapitel 4.1.1). Die Reafferenz löscht diese wieder aus und der Gegenstand wird trotz unterschiedlicher Entfernung gleich groß empfunden. Bringen wir allerdings zwei gleichgroße, in unterschiedlicher Entfernung betrachtete Gegenstände in Deckung, so wird uns plötzlich die unterschiedliche Netzhautbildgröße bewusst, und wir nehmen die Gegenstände unterschiedlich groß wahr.²⁶¹

Wird die Vergenzstellung der Augen z.B. durch prismatische Gläser, Rot-Grün- bzw. Polarisations-Folien oder durch bewusste Steuerung verändert, so wird der Betrachter das Objekt in einer anderen Größe und Entfernung wahrnehmen als zuvor, auch wenn die Netzhautbildgröße gleich bleibt (Abbildung 77).

Stehen die Augen konvergenter und bleibt die Netzhautbildgröße unverändert, so wird die scheinbare Entfernung mit der Netzhautbildgröße verrechnet und das Objekt scheint kleiner zu sein. Diesen Effekt nennt man Mikropsie. Bei einer divergenteren Vergenzstellung und gleich bleibender Netzhautbildgröße scheint der Gegenstand hingegen vergrößert zu sein. (Makropsie-Effekt).

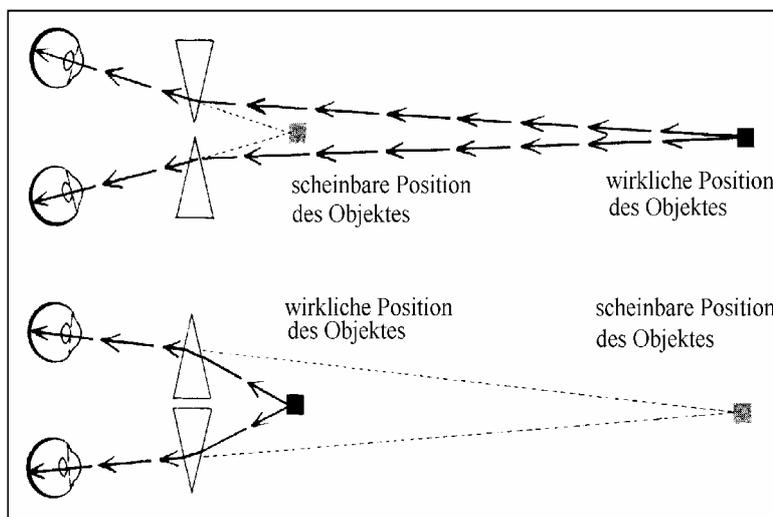


Abbildung 77: Oben: verstärkter Konvergenzwinkel. Unten: verminderter Konvergenzwinkel.²⁶²

Obwohl jeder den Mikropsie- und den Makropsie-Effekt wahrnimmt, kommt es dennoch zu unterschiedlichen Aussagen im Bezug auf das Entfernungsempfinden. Hermans beschrieb schon 1954, dass mit anwachsender Konvergenzstellung der Augen im Binokularsehen ein Objekt sowohl näher als auch weiter entfernt erscheinen kann, obwohl in beiden Fällen die wahrgenommene Objektgröße

²⁶¹ Gregory, R.: Auge und Gehirn, München 1966, S. 52

²⁶² Gregory, R.: Auge und Gehirn, München 1966, S. 52

abnimmt. Diese Effekte werden allgemein als SILO (Smaller-In Larger-Out) bzw. SOLI (Smaller-Out Larger-In) bezeichnet.²⁶³

Wie Herman richtig beobachtete, wird sowohl bei dem SILO als auch bei dem SOLI-Effekt zuerst die Vergenzstellung im Verhältnis zur Netzhautbildgröße ausgewertet. Der SILO- bzw. der SOLI-Effekt beschreiben dann die räumliche Einordnung des betrachteten Objektes.²⁶⁴

Wird vorrangig die Vergenzstellung der Augen ausgewertet, so kommt es zum SILO-Effekt.²⁶⁵ Verändert man die Vergenzstellung in Richtung Konvergenz und bleibt die Netzhautbildgröße gleich, so wird das Objekt als kleiner (Mikropsie-Effekt) und dichter wahrgenommen, da die Vergenzstellung zusätzlich zur Einordnung der Lagebeziehung herangezogen wird. → Smaller-In

Ebenso wird man die Information erhalten, dass das Objekt größer geworden ist, wenn die Augenstellung in Richtung Divergenz verändert wird (Makropsie-Effekt). Wird die empfundene Entfernung wieder durch die Augenstellung vermittelt, so wird der Betrachter diesmal, das Objekt weiter entfernt wahrnehmen. → Larger-Out

Der SOLI-Effekt tritt im Gegensatz dazu auf, wenn das Gehirn mehr Gewicht auf die Auswertung der erlernten Größenwahrnehmung (Erfahrung) von Objekten legt. Der Betrachter erwartet, dass entferntere Gegenstände kleiner erscheinen als gleich große Objekte, die zu dem Betrachter näher liegen. Dies beeinflusst seine Wahrnehmung so, dass er durch die verkleinerte Objektgröße (erzielt durch den Mikropsie-Effekt) trotz konvergenterer Augenstellung nun eine vergrößerte Distanz vermutet. Bei einem solchen Effekt überwiegt die kognitive Steuerung. → Smaller-Out

Bei der erzwungenen Divergenz-Stellung wird das Objekt als größer empfunden (Makropsie-Effekt), woraufhin der Betrachter vermutet, dass das Objekt nun dichter bei ihm liegt. → Larger-In

Die Information über die Vergenzstellung der Augen wird nur untergeordnet verarbeitet. Sie führt lediglich zum Mikropsie- bzw. Makropsie-Effekt.

²⁶³ Hermans, TG: The relationship of convergence and elevation changes to judgments of size. J Exp Psychol 1954, Vol.48, S.204-208

²⁶⁴ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence and eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.85

²⁶⁵ Gregory, R.: Auge und Gehirn, München 1966, S. 52

Studien über die Größen- und Tiefenkonstanzwahrnehmung haben ergeben, dass die Konvergenzstellung der Augen einen entscheidenden Hinweis zur Entfernungsabschätzung liefert. Die Wahrnehmung eines SOLI-Effektes lässt deshalb vermuten, dass Probleme bei der Bewertung des Entfernungsempfindens entstehen können²⁶⁶ und es somit zu einer ungenaueren und ineffektiveren visuellen Ortung kommt.

3.10 Physiologische Diplopie

Im normalen Binokularesehen können Objekte, die außerhalb des Panumbereiches liegen, nicht mehr fusioniert werden und erscheinen doppelt. Im Allgemeinen bemerkt man diese Doppelbilder nicht, da die Aufmerksamkeit auf dem fixierten Objekt und der unmittelbaren Umgebung liegt.²⁶⁷

In der physiologischen Optik bezeichnet man diesen Prozess als Bahnung und Hemmung. Nach Goersch tritt Bahnung und Hemmung im Binokularesehen bei der Wahrnehmung von bekannten Sehobjekten außerhalb des Panumbereiches und beim binokularen Wettstreit auf. Bahnung dient in Ergänzung zur visuellen Hemmung in einem Auge dazu, dass man den Bildeindruck des anderen Auges wahrnehmen kann.²⁶⁸

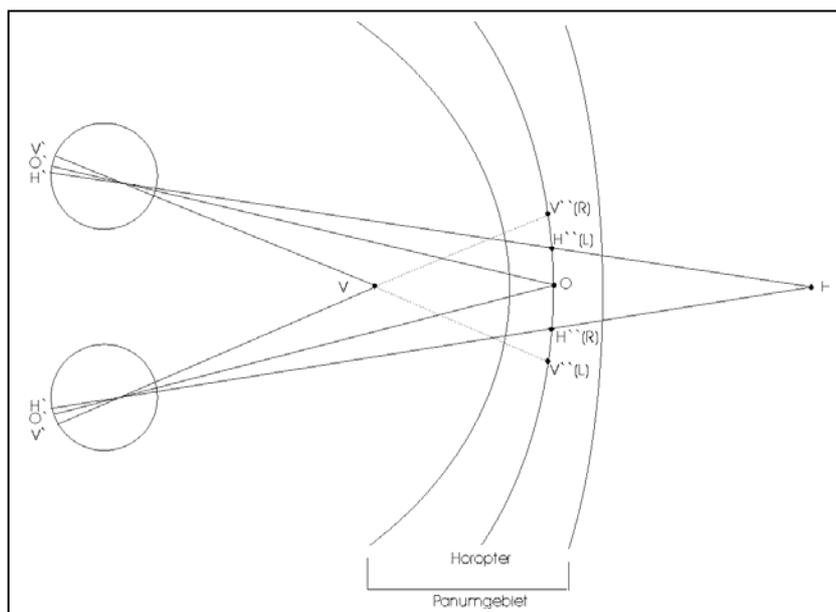


Abbildung 78:
Physiologische
Diplopie

²⁶⁶ Foley, JM: Effects of distance information and range on two indices of visually perceived distance, Perception 1977, Vol.6, S.449-60

²⁶⁷ Enders, R.: Die Optik des Auges und der Sehhilfen, Heidelberg 1995, S.48 ff.

²⁶⁸ Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 32

Anhand der Abbildung 78 wird deutlich, dass ein Objekt (V), welches sich vor dem angeblickten Objektpunkt (O) befindet, eigentlich gekreuzt liegende Doppelbilder (V'') und das ein dahinter angeordnetes Objekt (H) dagegen gleich liegende Doppelbilder (H'') erzeugen würde.

Lenkt man seine Aufmerksamkeit auf die Wahrnehmung dieser Bilder, so ist man auch in der Lage, diese Doppelbilder festzustellen.

Im Visualtraining macht man sich diese Eigenschaft bei manchen Übungen zu Nutze. Man erreicht durch die Wahrnehmung der Doppelbilder eine Rückkoppelung und somit ein Biofeedbacksystem (Kapitel 3.3), welches den Lerneffekt erhöht. Um ein effektives Training durchführen zu können, muss ein Proband mit Binokularsehen also in der Lage sein, die physiologische Diplopie wahrzunehmen. Nimmt er sie nicht wahr, so bedeutet dies, dass die aufgenommene Information von der Netzhaut stark durch unser kognitives System verändert wurde.

Um dem Probanden das Prinzip der physiologischen Diplopie zu erklären, bittet man ihn, seinen Zeigefinger oder ein anderes Objekt z.B. in ca. 30cm Entfernung in die Luft zu halten. Blickt er nun binokular in die Ferne und lenkt seine Aufmerksamkeit auf die Wahrnehmung des Objektes, so wird er, je nach Aufnahmefähigkeit, das Objekt doppelt wahrnehmen. Um die Wahrnehmung der physiologischen Diplopie zu unterstützen, kann der Proband kurz alternierend gecouvert werden. Dies beseitigt manchmal die Dominanz eines Seheindrucks des Führungsauges.

3.11 Exzentrizität

Im Allgemeinen unterteilt man den Begriff Exzentrizität im mathematischen Sinne in die beiden Definitionen:

- Numerische Exzentrizität
Den Ausdruck numerische Exzentrizität verwendet man in der Optik hauptsächlich im Bereich der Kontaktlinsen. Mithilfe der numerischen Exzentrizität und dem Scheitelradius wird das Flächenprofil der

Hornhautvorderfläche oder eine asphärische Kontaktlinsenrückfläche in ihren Hauptschnitten beschrieben.²⁶⁹

- Lineare Exzentrizität

Die lineare Exzentrizität beschreibt den Abstand der Brennpunkte vom Mittelpunkt, welcher bei der numerischen Exzentrizität ins Verhältnis zur großen Halbachse gesetzt wird.²⁷⁰

Im Rahmen der Diplomarbeit wird der Begriff Exzentrizität mit der häufig in der Ophthalmologie verwendeten Definition angewandt. Dort bezeichnet das Wort Exzentrizität einen in Grad gemessenen Abstand eines bestimmten Gesichtsfeldpunktes vom Fixationspunkt.²⁷¹ In der Augenoptik ist diese Definition eher unüblich.

3.12 Phorie

Der Begriff Phorie ist ein Oberbegriff für Orthophorie und Heterophorie.²⁷² Man könnte auch sagen, mit Hilfe dieses Ausdrucks wird bewertungsfrei eine Fixierlinienruhestellung der Augen beschrieben. Es findet keine Aussage darüber statt, ob die Augen sich in der Orthostellung oder in einer davon abweichenden Position befinden.

3.13 Orthostellung

Die Orthostellung (orthoposition) ist nach DIN 5340-309 eine „Vergenzstellung, bei der sich die Fixierlinien der beiden Augen im angeblickten Objektpunkt schneiden und die Vertikalmeridiane beider Augen zueinander parallel sind“.²⁷³

²⁶⁹ Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 82

²⁷⁰ Meyers grosses Handlexikon, Mannheim 1968, S.229

²⁷¹ Lexikon Medizin (Roche)

²⁷² Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 219

²⁷³ DIN 5340, Begriffe zur Physiologischen Optik, Berlin (Beuth) 1998, S.22

3.14 Orthophorie

Der Begriff Orthophorie (dissociated orthophoria) beschreibt den Zustand eines Augenpaares, in welchem die Vergenzstellung bei vorübergehender Aufhebung der Fusion nicht von der Orthostellung abweicht.²⁷⁴

3.15 Eso-Phorie

Im Zustand einer Eso-Phorie weicht die Vergenzstellung bei vorübergehender Aufhebung der Fusion von der Orthostellung in Richtung Konvergenz ab.

3.16 Exo-Phorie

Im Zustand einer Exo-Phorie weicht die Vergenzstellung bei vorübergehender Aufhebung der Fusion von der Orthostellung in Richtung Divergenz ab.

3.17 Vergenz-Ruhestellung

Mit der Vergenz-Ruhestellung bezeichnet man im engeren Sinne die optometrische Fixierlinien-Hell-Ruhestellung (vergence rest position) bei hohen Sehanforderungen und in Anwesenheit von Fusionsreizen in allen Netzhautbereichen. Die Augen nehmen hierbei aufgrund eines Muskelgleichgewichtes oder –tonus eine bestimmte Vergenzstellung ein.²⁷⁵

3.18 Ruhestellungsfehler

Der Ruhestellungsfehler (error of position of rest) beschreibt die Abweichung der (Vergenz-)Ruhestellung von der Orthostellung.²⁷⁶ Zu unterscheiden sind hierbei:

²⁷⁴ DIN 5340, Begriffe zur Physiologischen Optik, Berlin (Beuth) 1998, S. 22

²⁷⁵ Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 300

²⁷⁶ Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 245

- Latente Ruhestellungsfehler oder Heterophorie/ Winkelfehlsichtigkeit
Sie werden im natürlichen Sehen kompensiert.
- Manifeste Ruhestellungsfehler oder Strabismus
Diese Fehler werden im natürlichen Sehen nicht kompensiert.

3.19 Heterophorie/ Winkelfehlsichtigkeit

Im Zustand einer Heterophorie/ Winkelfehlsichtigkeit weichen die Augen in der fusionsreizfreien Ruhestellung von der Orthostellung ab. Die Augen gehen jedoch in Anwesenheit von Fusionsreizen in eine Arbeitsstellung über.²⁷⁷

Je nach Art des Messverfahrens bei der Bestimmung dieser Abweichung unterscheidet man zwischen der assoziierten Heterophorie (associated heterophoria) und der dissoziierten Heterophorie (dissociated heterophoria). Bei dem dissoziierten Messverfahren werden die Seheindrücke beider Augen bei der Überprüfung mittels Haploskopie (z.B. Graefe- oder Anaglyphen-Verfahren) so getrennt, dass kein Binokularsehen mit Fusion mehr möglich ist.²⁷⁸ Bei der Bestimmung der assoziierten Heterophorie oder auch Winkelfehlsichtigkeit werden die Fusionsreize während der Messung nicht völlig ausgeschaltet. Das Umfeld der Testfiguren ist bei der möglichst unter natürlichen Bedingungen stattfindenden Untersuchung binokular wahrnehmbar.²⁷⁹

3.20 Fixationsdisparation

Die Fixationsdisparation (FD) oder dekompenzierte Winkelfehlsichtigkeit (decompensated associated heterophoria) beschreibt einen Zustand im normalen Binokularsehen, in welchem die Winkelfehlsichtigkeit nicht mehr voll motorisch kompensiert wird.²⁸⁰ Die Verschmelzung der Bildpunkte beider Augen, um binokular einfach zu sehen, erfolgt über die sensorische Fusion. Der Fixationspunkt wird im abweichenden Auge disparat innerhalb des zentralen Panumbereiches abgebildet.

²⁷⁷ Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 129

²⁷⁸ Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 65

²⁷⁹ Carl Zeiss: Handbuch der Augenoptik, Oberkochen 2000, S.111f.

²⁸⁰ Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 129

Man unterscheidet die Fixationsdisparation des Weiteren nach dem Grad ihrer Vertiefung in

- **Fixationsdisparation erster Art (FD I)** → disparate Fusion
- **Fixationsdisparation zweiter Art (FD II)** → disparate Korrespondenz.²⁸¹

Bei einer FD I hat sich ein neues Fusionszentrum im abweichenden Auge gebildet, welches innerhalb des zentralen Panumbereiches liegt. Das Korrespondenzzentrum jedoch befindet sich weiterhin in der Foveamitte.

Bei einer FD II hingegen hat das neue Fusionszentrum im abweichenden Auge die Funktion des Korrespondenzentrums übernommen. Es vermittelt nun im Binokularsehen den Richtungswert „geradeaus“. Eine FD II kann man in sechs Unterarten gliedern.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit ist jedoch lediglich eine Unterteilung vorgenommen worden in:

- **junge FD (FD I + FD II/1-2)**
Hier findet bei anspruchsvollen Schaufgaben eine motorische Nachfusion auf das alte Korrespondenzzentrum (Foveamitte) statt.
- **alte FD (FD II/3-6)**
Bei einer alten FD ist keine motorische Nachfusion mehr möglich. Die neuen Richtungswerte sind bis in die Peripherie geändert worden.

3.21 *Eso-Fixationsdisparation*

Die Eso-Fixationsdisparation (Eso-FD) ist eine Fixationsdisparation bei Esostellung. Hier wird der zugehörige Panumbereich in nasaler Richtung beansprucht.²⁸²

3.22 *Exo-Fixationsdisparation*

Die Exo-Fixationsdisparation (Exo-FD) ist eine Fixationsdisparation bei Exostellung. Hier wird der zugehörige Panumbereich in temporaler Richtung beansprucht.²⁸³

²⁸¹ Stollenwerk, G.: Korrektur von Winkelfehlsichtigkeit, Limburg/ Lahn, 1998, S. 12

²⁸² Stollenwerk, G.: Korrektur von Winkelfehlsichtigkeit, Limburg/ Lahn, 1998, S. 146

3.23 Fixation disparity

Im Unterschied zur in Deutschland üblichen Definition der Fixationsdisparation (Kapitel 3.20) verwendet man im Angloamerikanischen den Begriff fixation disparity wie folgt:

Hiermit wird eine Auswanderung von nicht fusionierbaren Bildanteilen bei weitgehend parazentraler Verriegelung (fusionierbare Objekte schon innerhalb des stäbchenfreien Bereiches) beschrieben. Es ist demnach nur begrenzt vergleichbar mit einer Auswanderung am Kreuztest, der nur periphere Fusionsreize bietet, nicht jedoch mit einem der nachfolgenden Polatete, die zentrale Verriegelungsobjekte bieten.

3.24 AC/A Ratio

Die AC/A-Ratio ist im deutschen begrifflich nicht genau definiert. Umgangssprachlich wird sie sowohl für den ACA-Gradienten als auch für den ACA-Quotienten verwendet.²⁸⁴

In amerikanischen Studien jedoch findet dieser Begriff häufig Verwendung. Um diese Ergebnisse wiederzugeben und auch auf die im Anschluss stattfindende Diskussion der Übungen übertragen zu können, wird von folgender Definition und Bestimmung der AC/A Ratio ausgegangen:

Die AC/A Ratio drückt die unter open-loop (fusionsreizfreien) Bedingungen (Kapitel 3.4) eingetretene Vergenzänderung aufgrund von Akkommodation aus.²⁸⁵ Sie ist demnach ein Maß für die akkommodative Konvergenz (accommodative convergence).

Hierzu wird zuerst die Fernphorie unter fusionsreizfreien Bedingungen gemessen und danach die dissoziierte (fusionsreizfreie) Phoriestellung der Augen während des binokularen Vorhaltens eines Minusglases bestimmt. Dies entspricht im Deutschen der Definition des ACA-Gradienten. Die AC/A Ratio berechnet sich dann wie folgt:

²⁸³ Stollenwerk, G.: Korrektur von Winkelfehlsichtigkeit, Limburg/ Lahn, 1998, S. 147

²⁸⁴ Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001, S. 8

²⁸⁵ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

$$\text{AC/A Ratio} = \frac{\text{Fernphorie-erzeugten Phoriewert}}{\text{Stärke des vorgehaltenen Minusglases}}$$

Formel 2: Berechnung der AC/A Ratio

Im amerikanischen hat die AC/A Ratio oft die Einheit PD/D (Prismendioptrien pro Dioptrie). Im Deutschen wurde die Einheit Prismendioptrien in cm/m geändert. Dementsprechend ergibt sich für die ACA-Ratio im deutschen Sinne die Einheit cm.

3.25 CA/C Ratio

Die CA/C Ratio beschreibt die unter open-loop (unschärfereizfreien) Bedingungen (Kapitel 3.4) erzeugte Akkommodationsänderung aufgrund eines binokularen Vergenzreizes.²⁸⁶ Sie ist demzufolge ein Maß für die durch Konvergenz erzeugte Akkommodation (convergence accommodation). Zur Berechnung dient folgende Formel:

$$\text{CA/C Ratio} = \frac{\text{Größe der Akkommodationsänderung}}{\text{Größe des binokularen Vergenzreizes}}$$

Formel 3: Berechnung der CA/C Ratio

Im Amerikanischen verwendet man für die CA/C Ratio oft die Einheit D/MA (Dioptrie par metre angles). Ein Metre angle ist der Winkel zwischen den Fixierlinien (Konvergenzwinkel) den die Augen bei binokularem Fixieren eines Objektes in einem Meter Entfernung einnehmen.²⁸⁷ Die Größe dieses Winkels ist demnach abhängig von der Größe des Pupillenabstandes.

In Deutschland bezeichnet man den Winkel zwischen den Fixierlinien als Konvergenzwinkel (K). Er wird berechnet über die Formel:

$$K[\text{cm}/\text{m}] = \frac{1}{a_e} \times \text{PD} (\text{Pupillendistanz in cm})$$

Formel 4: Berechnung des Konvergenzwinkels

²⁸⁶ Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, Am J Optom & Physiol Optics 1988, Vol.65, S.464-475

²⁸⁷ Howard, I., Rogers, B.: Binocular Vision and Stereopsis, Oxford Psychology Series NO.29, New York 1995, S.395

Die im Amerikanischen verwendete Konvergenzwinkel (MA) lässt sich mit Hilfe folgender Formel umrechnen:

$$MA[^\circ] = \arctan \frac{K[\text{cm}/\text{m}]}{100}$$

Formel 5: Umrechnung des Konvergenzwinkels in Metre angles

Einheit der CA/C Ratio $D_{/MA}$ entspricht demnach folgendem Wert:

$$\frac{D}{MA[^\circ]} = \frac{D}{\arctan \frac{K[\text{cm}/\text{m}]}{100}} = \frac{1}{\text{cm}}$$

Formel 6: Umrechnung der CA/C Ratio in die deutsch Einheit

In der deutschen Augenoptik findet keine Trennung zwischen AC/A und CA/C statt. Man geht stillschweigend davon aus, dass die CA/C Ratio dem Kehrwert der AC/A Ratio entspricht. Die Amerikaner jedoch gehen nicht von einem linearen Zusammenhang dieser beiden Größen aus. Die Normwerte für die AC/A liegen zwischen 4-6cm, die des CA/C hingegen bei $0,5-1,0 D_{/MA}$ bzw. $0,87-1,75 D_{/cm}$.

Die Messungen Schors ergaben des Weiteren einen verhältnismäßig linearen Anstieg der AC/A und CA/C Ratio über einen zentralen Bereich von +1,0dpt bis +5dpt.²⁸⁸

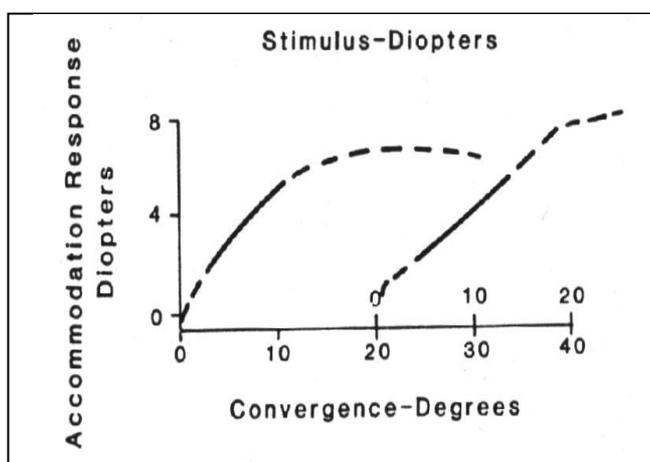


Abbildung 79: weitgehend linearer Anstieg der AC/A und CA/C Ratio²⁸⁹

²⁸⁸ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.130

²⁸⁹ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.130

3.26 **Fusionale Vergenzreserven**

Die fusionalen Vergenzreserven beschreiben ein erlerntes Verhältnis zwischen Akkommodation und Vergenz. Anhand ihrer Größe ist es nach Manas möglich, den Organisationsgrad des visuellen Systems einzuordnen. Zur Messung der positiven fusionalen Vergenzreserven (Konvergenzreserve) werden Basis außen Prismen langsam erhöht, während der Proband aufgefordert ist, die Buchstaben der Visustafel klar und einfach zu sehen. Nachdem die Fusion zusammengebrochen ist, werden die Prismen wieder reduziert, bis der Proband Einfachsehen wiedererlangt hat. Entsprechend werden bei der Messung der negativen fusionalen Vergenzreserve (Divergenzreserve) nun Basis innen statt Basis außen Prismen vorgehalten. Die Messungen der positiven und der negativen fusionalen Vergenzreserve werden sowohl in der Ferne als auch in der Nähe durchgeführt. Findet die Erhöhung der Prismen langsam und gleichmäßig statt z.B. mittels Prismenkompensatoren, so spricht man im Amerikanischen von „smooth vergence testing“. Werden hingegen die Prismen stufenweise mittels einer Prismenleiste vorgehalten, so bezeichnen die Amerikaner dies als „step vergence testing“.²⁹⁰

Beim Testen wird weder die an die Akkommodation noch die an das Entfernungsempfinden gekoppelte Vergenz direkt angesprochen. Die Ergebnisse der Messungen spiegeln folglich nur die Fähigkeiten der fusionalen Vergenz wieder. Zur Beurteilung der fusionalen Vergenz betrachtet man drei charakteristische Messpunkte, welche mit Normwerten verglichen werden. Je nach Messverfahren sind diese jedoch unterschiedlich:

- **Blur-Point (Nebelpunkt).**

Dies ist der Messwert, bei dem der Proband zum ersten Mal Unschärfe der Buchstaben bemerkt. In diesem Moment folgt das Akkommodationssystem der Vergenzbewegung. Im Fall der Messung der positiven fusionalen Vergenz bedeutet dies, dass der Proband nicht mehr in der Lage Konvergenz ohne Akkommodation aufzubringen. Findet die Messung in der Nähe statt, so drückt dieser Messwert gleichzeitig auch die **positive relative Konvergenz (PRK)** beim Vorhalten von Basis außen Prismen oder die

²⁹⁰ Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Management of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S. 12f.

negative relative Konvergenz (NRK) beim Vorhalten von Basis innen Prismen aus.²⁹¹

- **Break-Point (Abreißpunkt).**

Dies ist der Messwert, bei dem der Proband die vorgehaltenen Prismen nicht mehr kompensieren kann und die Fusion abbricht. Zu diesem Zeitpunkt sieht der Proband entweder plötzlich doppelt oder ein Scheindruck wird unterdrückt. Die in der Nähe gefundenen Messwerte bezeichnet man beim Vorhalten von Basis außen Prismen als Maximum der **positiven fusionalen Vergenzreserve** und bei Basis innen Prismen entsprechend als Maximum der **negativen fusionalen Vergenzreserve**.²⁹²

- **Recovery-Point (Wiedervereinigungspunkt).**

Dies ist der Messwert, bei dem der Proband nach Reduktion der Prismen das erste Mal wieder Einfachsehen erreicht.

3.27 Positive/ negative relative Akkommodation

Eine weitere Eigenschaft des erlernten Koppelungsverhältnisses von Akkommodation und Vergenz kann auch mittels positiver relativer Akkommodation (PRA) und negativer relativer Akkommodation (NRA) bestimmt werden.

Die Messung der PRA und NRA findet nur in der Nähe statt. Der Proband betrachtet hierzu Buchstaben entsprechend seiner maximalen Visusleistung in 40cm Entfernung. Zum Messen der PRA werden dem Probanden binokular solange Minusgläser vorgehalten, bis dieser die Buchstaben nicht mehr erkennen kann. Zur Messung der NRA werden entsprechend Plusgläser statt Minusgläser vorgehalten.

Die Höhe der Messwerte der PRA und der NRA sind in erster Linie abhängig von der monokularen Akkommodationsflexibilität (Kapitel 3.29) und von den fusionalen Vergenzreserven, welche hierbei indirekt beansprucht werden (Kapitel 3.28).

²⁹¹ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.134

²⁹² Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.134

3.28 Indirekte fusionale Vergenzreserven

Der Proband ist bei der Messung der PRA und der NRA (Kapitel 3.27) gefordert, die Akkommodation an- oder zu entspannen, während er die Vergenzstellung der Augen weiterhin unverändert beibehalten muss, um einfach zu sehen. Hierzu benötigt er bei der PRA indirekt die negative fusionale Vergenz, da die an die Akkommodation gekoppelte Vergenz ausgeglichen werden muss. Bei der Messung der NRA ist es entsprechend. Hier muss der Proband die an die Desakkommodation gekoppelte Divergenzbewegung mittels positiver fusionaler Vergenz kompensieren. Liegen die maximal erreichten Messwerte der PRA und der NRA deutlich unter den monokularen Messwerten der Akkommodationsflexibilität, so wird die Leistung des Probanden indirekt durch die fusionale Vergenz (Kapitel 2.4.3).eingeschränkt. Sind z.B. die Fähigkeiten des Probanden bei der positiven fusionalen Vergenz eingeschränkt, so fällt auch die NRA niedrig aus, da der Proband zum Kompensieren der an die Desakkommodation gekoppelten Divergenzbewegung positive fusionale Vergenz benötigt.

3.29 Flexibilität

Die Flexibilität eines visuellen Systems ist kein genormter Begriff. Auch findet man selten eine Definition dieses Wortes. Innerhalb dieser Diplomarbeit wird der Begriff Flexibilität wie folgt verwendet:

Die Flexibilität eines Systems wird durch die Fähigkeit bestimmt, in welchem sich dieses sowohl in positiver als auch in negativer Richtung verändern kann, ohne eine anderes System mit anzusprechen.

Die Flexibilität des Akkommodationssystems bestimmt man nur in der Nähe durch monokulares Vorhalten von Plus- und Minusgläsern. Die Bestimmung der Vergenzflexibilität kann über die direkte Messung der fusionalen Vergenzreserve (Kapitel 3.26) sowohl in der Ferne als auch in der Nähe durch Vorhalten von Basis außen/ innen Prismen erfolgen. Das System der Vergenz ist solange flexibel, bis es indirekt ein anderes System anspricht. Dieser Zeitpunkt ist erreicht, wenn der

Proband entweder verschwommen oder, falls er dies nicht bemerkt, doppelt sieht. Die Bestimmung der Vergenzflexibilität kann aber ebenfalls, wie unter dem Kapitel 3.27 beschrieben, indirekt beurteilt werden.

Im Idealfall sollte die Flexibilität eines Systems in positiver und negativer Richtung mindestens den Normwerten entsprechen. Ist die Akkommodation oder/ und die Vergenz in die positive Richtung über die Normwerte hinaus flexibel, so ist die Anpassungsfähigkeit (Kapitel 3.30) des entsprechenden Systems hoch. Liegt hingegen die Flexibilität in positiver Richtung unter den Normwerten, so ist die Anpassungsfähigkeit dieses Systems niedrig.

3.30 Anpassungsfähigkeit

Unter der Anpassungsfähigkeit eines visuellen Systems, so wie Schor es in den Kapitel 2.4.2 beschriebenen Versuchen verwendet, versteht man die Möglichkeit einen positive Leistung über die Normwerte aufzubringen, ohne ein anderes System mitzuziehen.

Ist die Anpassungsfähigkeit des Akkommodationssystems z.B. hoch, so ist das Akkommodationssystem in positiver Richtung über die Normwerte hinaus flexibel. Eine Person, deren Anpassungsfähigkeit der Akkommodation hoch ist, kann gut akkommodieren, ohne Konvergenz aufzubringen. Der Messwert der positiven relativen Akkommodation (PRA) liegt demnach über der Norm. Häufig ist dies bei Personen der Fall, bei denen ein Akkommodationsexzess (Kapitel 3.35) vorliegt.

Bei einer niedrigen Anpassungsfähigkeit des Akkommodationssystems liegt die Fähigkeit zur positiven Akkommodation unter den Normwerten, so dass beim Akkommodieren auch gleich die Konvergenz angesprochen wird. Der Messwert der PRA liegt unter der Norm. Meist sind hiervon Personen mit Konvergenzexzess (Kapitel 3.31) oder einer Akkommodationsinsuffizienz (Kapitel 3.36) betroffen.

Die Anpassungsfähigkeit des Vergenzsystems hingegen ist dann hoch, wenn die Person über die Norm positive Konvergenz aufbringen kann, ohne gleich akkommodieren zu müssen. Die Fähigkeit zur positiven relativen Konvergenz

(PRK) liegt über der Norm. Dieser Fall tritt oft bei Konvergenzexzess (Kapitel 3.31) auf. Bei einem Divergenzexzess (Kapitel 3.33) hingegen, liegen die Messwerte der PRK meist innerhalb der Norm, so dass trotz der Endung „excess“ die Anpassungsfähigkeit der Vergenz nicht hoch ist.

Eine niedrige Anpassungsfähigkeit des Vergenzsystems bedeutet entsprechend, dass die positiven Vergenzreserven unter der Norm liegen. Somit ist mit einer Konvergenzbewegung ziemlich schnell auch die Akkommodation verbunden und der Messwert der PRK ist niedrig. Dies tritt in der Regel bei Konvergenzinsuffizienz (Kapitel 3.32) oder Divergenzinsuffizienz (Kapitel 3.34) auf. Die Divergenzinsuffizienz ist jedoch eher selten und nach Scheiman pathologisch abzuklären.

3.31 Konvergenzexzess (convergence excess)

Hauptmerkmale²⁹³:

- größere Eso-Phorie in der Nähe als in der Ferne
- hoher AC/A
- hohe „monocular estimate method“ (MEM). Dies ist eine Form der Skiaskopie in 40cm, bei welcher nur kurzzeitig die Ausgleichsgläser vorgehalten werden.²⁹⁴
- niedrige negative fusionale Vergenz (NRK)
- indirekt: niedrige positive relative Akkommodation (PRA).

3.32 Konvergenzinsuffizienz (convergence insufficiency)

Hauptmerkmale:²⁹⁵

- größere Exo-Phorie in der Nähe als in der Ferne
- reduzierter Konvergenznahpunkt (near point of convergence NPC)
- niedriger AC/A
- niedrige „monocular estimate method“ (MEM).

²⁹³ Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Management of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S.269

²⁹⁴ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.169

²⁹⁵ Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Management of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S.226

- niedrige positive fusionale Vergenz (PRK)
- indirekt: niedrige negative relative Akkommodation (NRA).

3.33 Divergenzexzess (*divergence excess*)

Hauptmerkmale²⁹⁶:

- größere Exo-Phorie in der Ferne als in der Nähe
- hoher AC/A bei Berechnung (kalkulierte Methode). Dies lässt die Vermutung entstehen, dass hieran vor allem die proximale Vergenz beteiligt ist.
- der Norm entsprechende positive und negative fusionale Vergenzwerte (Ferne und Nähe).

3.34 Divergenzinsuffizienz (*divergence insufficiency*)

Hauptmerkmale²⁹⁷:

- größere Eso-Phorie in der Ferne als in der Nähe
- niedriger AC/A
- niedrige negative fusionale Vergenz (nur Ferne).

Divergenzinsuffizienz ist eher selten und sollte grundsätzlich ärztlich abgeklärt werden, da sie häufig in Verbindung mit pathologischen Erkrankungen auftritt.

3.35 Akkommodationsexzess (*accomodation excess*)

Hauptmerkmale.²⁹⁸

- hohe „monocular estimate method“ (MEM)
- Schwierigkeiten beim Wechsel von Nah- zur Fernsicht
- niedrige negative Akkommodation (monokular)
- indirekt: niedrige negative relative Akkommodation (NRA).

²⁹⁶ Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Managment of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S.285

²⁹⁷ Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Managment of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S.247

²⁹⁸ Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Managment of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S.357

3.36 Akkommodationsinsuffizienz (*accommodation insufficiency*)

Hauptmerkmale:²⁹⁹

- Schwierigkeiten beim Wechsel von Nah- zur Fernsicht und umgekehrt
- niedrige negative und positive Akkommodation (monokular)
- indirekt: niedrige negative und positive relative Akkommodation (NRA+PRA).

²⁹⁹ Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Management of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S.368

4 Methodische Vorgehensweise

Ein Teil, der im Visualtraining verwendeten Übungen wird nun im Hinblick auf die folgenden sieben grundlegenden Fragen untersucht werden:

1. Benötigte Übungsutensilien

Unter dem Punkt „Benötigte Übungsutensilien“ findet man Informationen zu den in der Übung verwendeten Materialien, deren technische Daten sowie deren Beschaffenheit. Ferner werden, falls der Entwickler und das Entstehungsjahr der Übung bekannt sind, diese hier erwähnt.

2. Durchführung der Übung

Um die Übung durchführen zu können, wird im zweiten Teil die Anwendung der Materialien erläutert. Zuerst wird darauf eingegangen, welche Voraussetzungen beim Probanden gegeben sein sollten, um die Übung überhaupt durchführen zu können. Danach erfolgt eine Beschreibung der vom Probanden einzunehmenden Position, sowie des Abstandes zum Übungsmaterial. Zum Schluss werden die einzelnen Übungsschritte aufgezählt und es werden wichtige Zusatzinformationen gegeben, die sich dazu eignen, eine sinnvolle Erklärung der Übungen gegenüber dem Probanden zu erleichtern.

3. Angesprochene Funktionen und Hintergründe

Bei dem Unterpunkt „Angesprochene Funktionen und Hintergründe“ soll dargestellt werden, welche visuellen Funktionen während der Durchführung der Übung beim Probanden angesprochen werden. Falls möglich wurde versucht, dies mittels Abbildungen zu verdeutlichen.

Um die vom Probanden wahrgenommene Situation zu beschreiben, wurde folgendermaßen vorgegangen:

Zuerst wurde versucht, das Netzhautbild des Probanden zu simulieren. Um eine Berechnung der Netzhautbildgröße durchführen zu können, wurde bei der Betrachtung der Übung als erstes von einem emmetropen Probanden mit einem „vereinfacht schematischen Auge“ nach Gullstrand ausgegangen. Im Zweifelsfall wurde später auf Abweichungen, welche durch Fehlsichtigkeiten entstehen könnten, eingegangen.

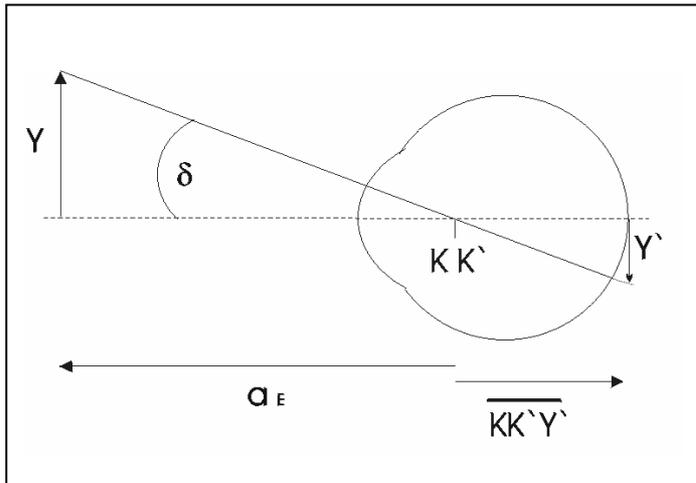


Abbildung 80: Strecken zur Berechnung der Netzhautbildgröße

$$\tan \delta = \frac{Y'}{KK'Y'}$$

Formel 7: Berechnung des Knotenpunktwinkels

Das Objekt Y liefert ein Bild Y' auf der Netzhaut (Abbildung 80). Die von dem Objekt Y entstehende Netzhautbildgröße Y' wurde über den Knotenpunktwinkel δ bestimmt (Formel 7). Die Strecke \overline{YK} vom Objekt Y bis zum Knotenpunkt K wurde zur Vereinfachung mit der Strecke a_E bis zum Einstellpunkt gleichgesetzt ($\overline{YK} = a_E$). Die Vernachlässigung des Abstandes zwischen Hornhautscheitel zum Knotenpunkt konnte vorgenommen werden, da man davon ausgehen kann, dass der Proband nicht in der Lage ist, den vorgegebenen Abstand zu dem Objekt Y exakt einzuhalten und es so zu Schwankungen kommt, die wesentlich größer sind.

Des Weiteren wurde für die Strecke vom Knotenpunkt K' zur Netzhaut ein fester Betrag von 17,0mm angenommen. Zwar ist bekannt, dass sich beim Akkommodieren die Position der Knotenpunkte verlagert, da sich der Brechwert

des Gesamtsystems verändert, jedoch konnte auch dies vernachlässigt werden, da die Größe der Netzhautbereiche ebenso über den Kontenpunktswinkel bestimmt wurde und somit das Verhältnis weiterhin gleich bleibt.

Nach der Berechnung des Netzhautbildes des Probanden wurde versucht, mit Hilfe der unter dem Kapitel „Theoretische Grundlagen“ erwähnten Erkenntnisse, die Wirkung auf die visuellen Systeme zu beschreiben.

Zuerst wurden die Sehanforderungen mit denen auf der Netzhaut erreichbaren Sehleistungen verglichen, um so Aussagen darüber treffen zu können, inwieweit unkorrigierte Fehlsichtigkeiten des Probanden bei der Durchführung der Übung eine Rolle spielen. Aufgrund der Sehanforderungen konnte ebenfalls ermittelt werden, wie hoch die eventuell stattfindende Entkoppelung zwischen Akkommodation und Vergenz sein muss, um einfach und klar sehen zu können. Danach erfolgte eine allgemeine Betrachtung der weiteren visuellen Funktionen. Es wurden die Vergenzstellungen, die Akkommodationszustände und die benötigten Augenbewegungen analysiert.

Im Einzelfall wurden dann Vermutungen darüber angestellt, wie die Deutung des Netzhautbildes aussehen könnte, wenn Teile des Bildes auf gehemmte Areale fallen. Weiterhin wurde überlegt, welche Bedeutung der Ausnutzung von Panumbereichen zukommt und ob eine falsche Anwendung der Übung dem Probanden sogar schaden könnte.

4. Wichtige Größen und Distanzen

In Gedankenmodellen wurden die Auswirkungen von Abwandlungen der Übungen durch Änderung der Entfernung und der Größe durchgesprochen. Hierbei sollten Fragen beantwortet werden wie z.B.: Wie effektiv bleibt die Übung, wenn die Übung vom Probanden in einer anderen Entfernung durchgeführt wird? Was passiert, wenn Teile der Übung weggelassen werden? Wie könnte die Übung abgewandelt werden, um das Leistungsniveau zu erhöhen bzw. zu erniedrigen?

5. Geeignete Zielpersonen

Unter dem Punkt „geeignete Zielpersonen“ findet man die charakteristischen Merkmale der Personen, die von der jeweiligen Übungen profitieren würden. Des Weiteren fand hier eine Empfehlung statt, ob die trainierende Person während der Durchführung der Übung ihre Vollkorrektur tragen sollte oder nicht.

6. Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden

Es ist von besonderer Wichtigkeit, eine Kontrolle der vom Probanden ausgeführten Übungsschritte vorzunehmen. Unter dem Punkt „Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden“ findet man eine Zusammenfassung dessen, wie der Optometrist bzw. die Kontrollperson die Durchführung der Übung kontrollieren kann. Um keinen negativen Trainingseffekt zu erzielen, muss sichergestellt werden, dass die Übung vom Probanden so durchgeführt wird, wie man es ihm zuvor erklärt hat.

7. Ziel der Übung

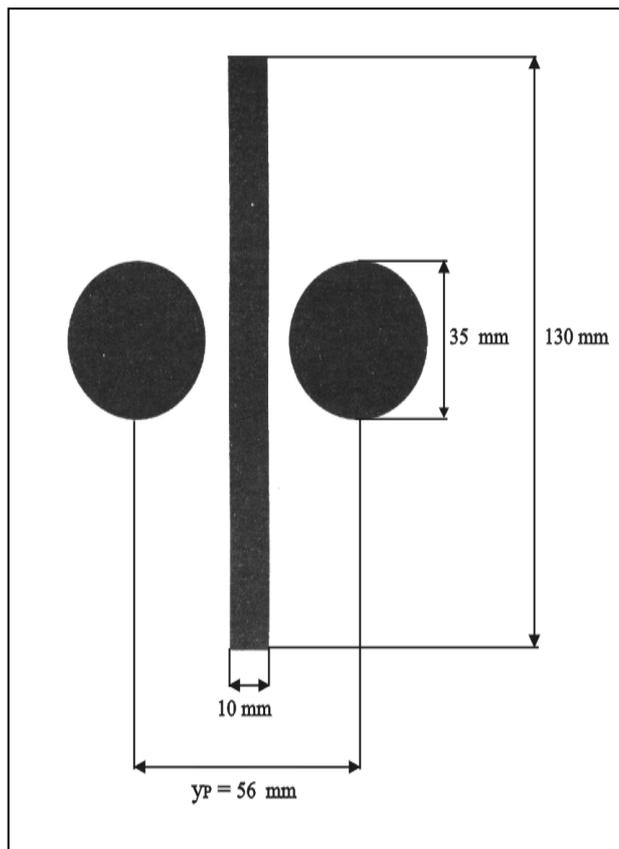
Die Zielbeschreibung dient einer nochmaligen kurzen Aufzählung, der durch die Übung bezweckten Fortschritte. Die genauere Erklärung der Zusammenhänge erfolgte im Kapitel „Angesprochene Funktionen und Hintergründe“. Im Unterpunkt „Ziel der Übung“ findet man also eine stichpunktartige Wiederholung der trainierten Funktionen.

5 Erklärung und Diskussion der einzelnen Übungen

5.1 O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung

Die O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung ist eine der Grundübungen. Sie zählt zu den Übungen für das Binokularsehen und sollte von jedem beherrscht werden. Die Übung ist durchführbar, wenn der Proband zumindest in einer Entfernung binokulares Sehen erlangt hat. Des Weiteren sollte dem Probanden vor Beginn der Übung das Prinzip der physiologischen Diplopie bekannt sein (Kapitel 3.10).

5.1.1 Benötigte Übungsutensilien



Zur O | O-Übung benötigt man die in Abbildung 81 dargestellte Übungsfigur. Sie sollte sich möglichst auf einem weißen DIN A4 Blatt befinden.

Das Übungsblatt wurde 1979 entworfen vom Centrum Voor Visuele Therapie.³⁰⁰

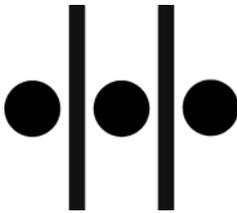
Abbildung 81: O | O-Übungsblatt. Der Abstand zwischen den Kreisen entspricht in einigen Teilen der Übung einer stereoskopischen Parallaxe und wird deshalb mit y_p bezeichnet.

³⁰⁰ Vanhimbeeck-Collier: Handbuch zur Leitung eines Optometrischen Myopie Trainings, Belgium 1998, S. 5.7

5.1.2 Durchführung der Übung

Der Proband hält das Blatt zur Durchführung der Übung auf Augenhöhe in einem Abstand von ca. 40cm. Um seine Konvergenz zu üben, wird er aufgefordert, sich einen Punkt mittig vor dem Balken vorzustellen und diesen zu fixieren. Als Hilfestellung kann dieser imaginäre Punkt am Anfang durch ein reales Objekt z.B. einer Bleistiftspitze ersetzt werden.

Wird die Übung zur Förderung der Divergenz verwendet, so wird der Proband gebeten, sich einen fernen Punkt (Gegenstand) vorzustellen und diesen durch das Blatt hindurch anzublicken.



Fixiert man einen Punkt vor oder hinter dem Blatt, so soll es aufgrund der physiologischen Diplopie (Kapitel 3.10) zu der in Abbildung 82 dargestellten Wahrnehmung kommen.

Abbildung 82: Wahrnehmung aufgrund der physiologischen Diplopie.

Gelingt es dem Probanden nicht, die geforderte Wahrnehmung zu erreichen, so eignet sich eine auf transparenter Folie aufgebrachte Übungsfigur zum Demonstrieren. Sowohl die Entstehung als auch der erwartete Seheindruck können dem Probanden durch die Verschiebung der Folie gegen das eigentliche Übungsblatt nochmals erläutert werden.

Nach Erreichen dieser Wahrnehmung wird der Proband aufgefordert, sich auf den mittleren Kreis zu konzentrieren und diesen scharf und deutlich zu sehen. Kann der Proband seine Aufmerksamkeit auf den mittleren Kreis lenken, so besteht der nächste Schritt darin, den SILO-Effekt (Kapitel 3.9) zu erkennen. Der mittlere Kreis soll beim Üben der Konvergenz kleiner und dichter und beim Üben der Divergenz größer und weiter entfernt empfunden werden. Hat der Proband eine SOLI-Wahrnehmung, so ist es besonders wichtig, ihn auf die fehlerhafte Interpretation des Gesehenen hinzuweisen. Die höchste Stufe der Übung ist der, dem eigenen Willen unterworfenen, bewussten Wechsel zwischen „Einfach-“ und „Doppelt-Sehen“.

5.1.3 Angesprochene Funktionen und Hintergründe

Betrachtet man das Übungsblatt wie in der Durchführung beschrieben, so kann die Wahrnehmung durch die Abbildung 83 und Abbildung 84 verdeutlicht werden:

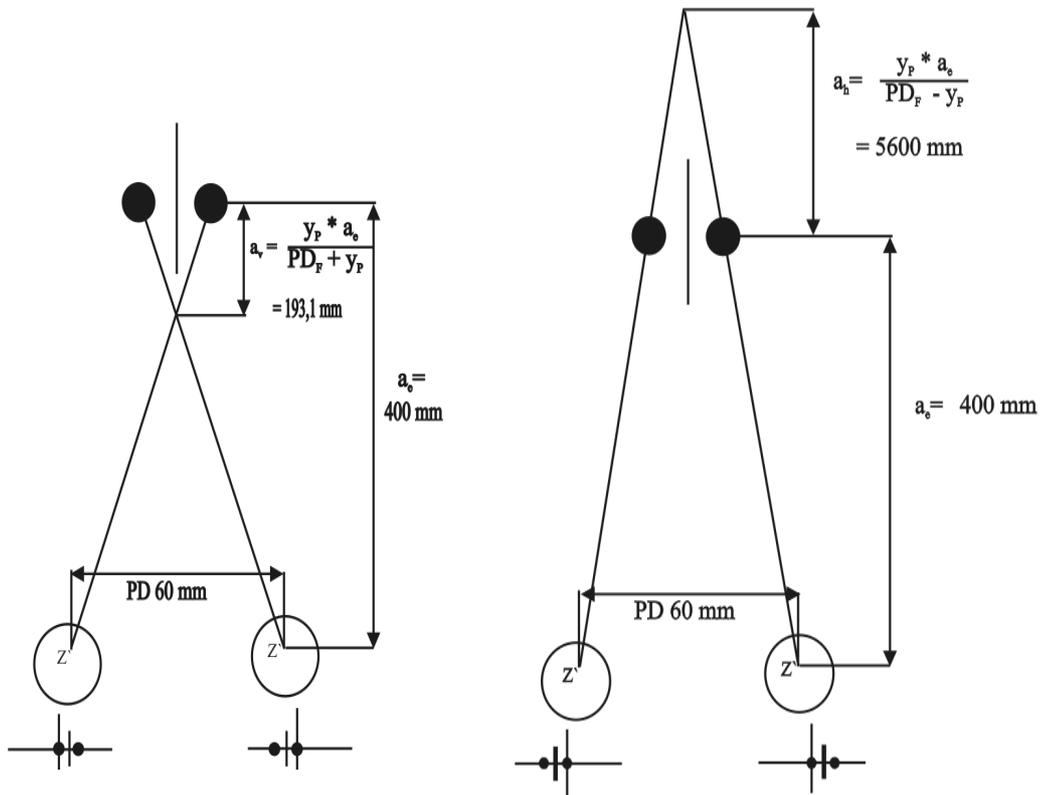


Abbildung 83: Berechnung der Konvergenzstellung

Abbildung 84: Berechnung der Divergenzstellung

Bei einem angenommenen Pupillenabstand von 60mm ergäbe sich so ein Fixierlinienkreuzungspunkt von ca. 21cm vor bzw. 6m hinter dem Blatt.

Es ist des Weiteren zu sehen, dass die Bilder in den beiden Augen nicht auf korrespondierende Netzhautstellen fallen. Betrachtet man sich das Netzhautbild des O | O-Übungsblattes genauer, so könnte sich bei zentraler Abbildung des mittleren Kreises und ohne Berücksichtigung der Ausnutzung von Panumbereichen, die in Abbildung 85 demonstrierte Situation ergeben. Der zentral abgebildete Kreis ist in beiden Augen deckungsgleich und erfüllt die objektive Fusionsbedingung. Somit wird es zur Fusion dieser Kreise kommen, und der Proband nimmt drei Kreise und zwei Balken wahr.

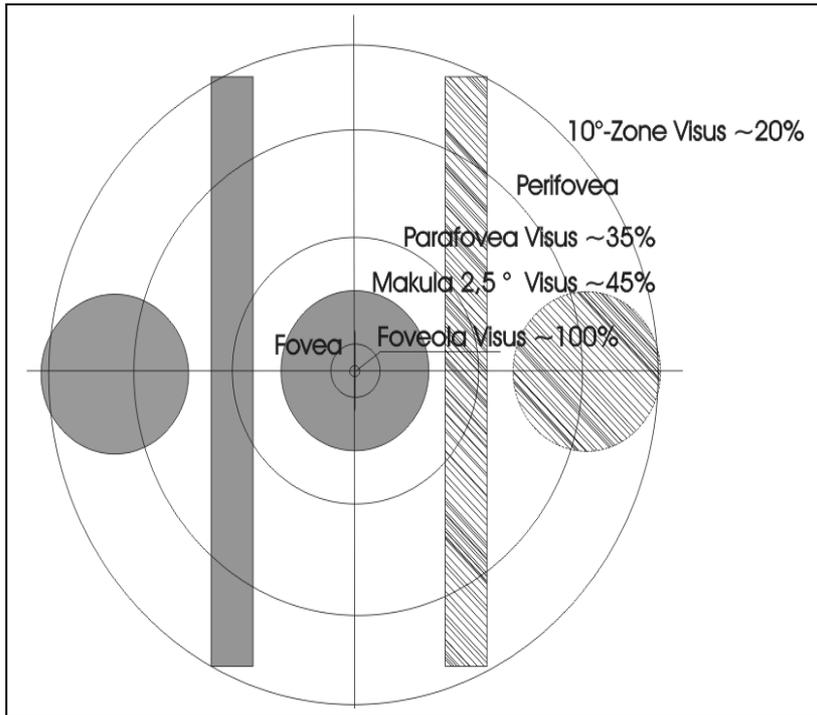


Abbildung 85:
schematisches
Netzhautbild der
O | O-Übung

Die Größe des mittleren Kreises entspricht ziemlich genau der Größe der Makula, wenn man von einem Betrachter mit Gullstrandauge ausgeht und das Blatt in einem Abstand von 40cm gehalten wird. Nach heutigen Erkenntnissen liegt hier physiologisch keine besondere Eigenschaft vor, so dass die Größenwahl des Kreises offensichtlich nach anatomischen Netzhautstrukturen bestimmt worden ist. Am Rande der Makula beträgt der Visus ungefähr noch 45%. Sowohl der Akkommodationsanreiz als auch der Fusionszwang werden durch die Hell-Dunkel-Kante des mittleren Kreises hervorgerufen. Der entstehende Fusionsreiz ist demnach ein rein „peripherer“ Fusionsreiz (Exzentrizität $\geq \pm 1^\circ 15'$).

Die Stärke des Fusionsreizes nimmt trotz der exzentrischen Lage (Kapitel 3.11) der Hell-Dunkel-Kante, wie in Kapitel 2.4.3 vermutet, verhältnismäßig weniger stark ab, als der Visus. Der Akkommodationsanreiz hingegen lässt mit zunehmender Exzentrizität rasch nach. Näherungsweise kann man sagen, etwa proportional zum Visusverlust (Kapitel 2.3.1). Dies erleichtert die Entkoppelung zwischen den beiden Systemen Akkommodation und Vergenz. Infolgedessen ist der Proband in der Lage sowohl „doppelt“ als auch „scharf“ zu sehen.

Um den mittleren Kreis deutlich zu sehen, muss die Akkommodation von der Vergenzstellung entkoppelt werden.

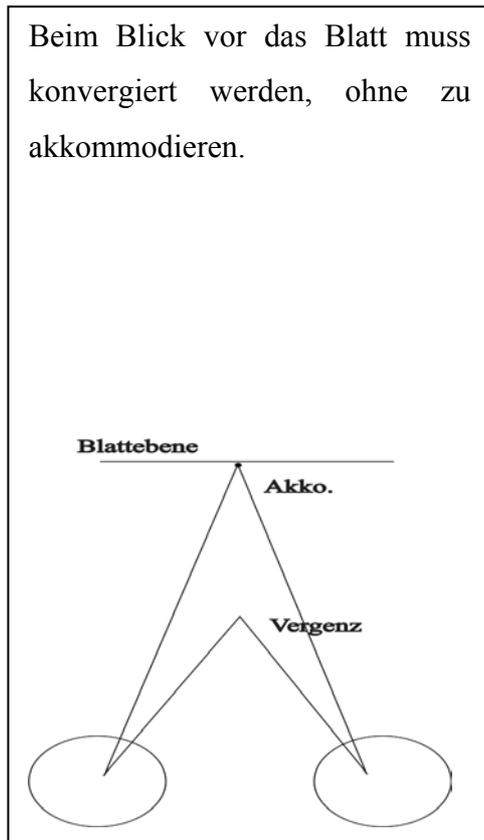


Abbildung 86: Akkommodations- und Vergenzverhältnis beim Üben der Konvergenz

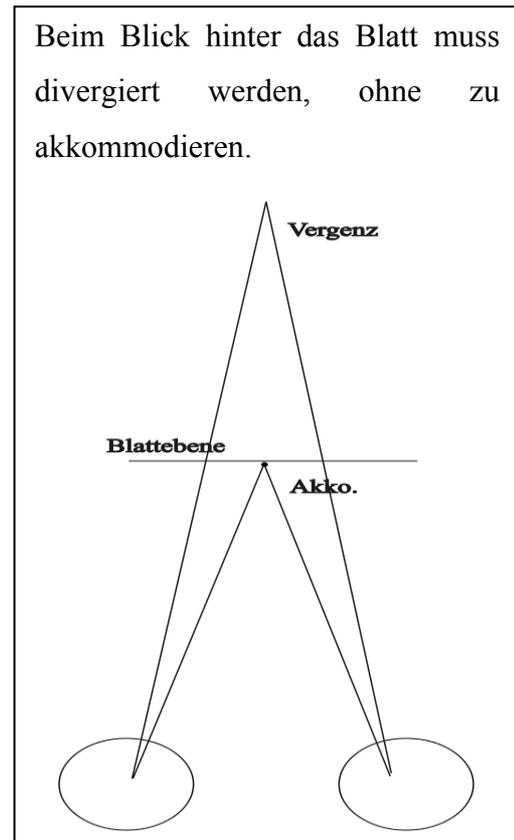


Abbildung 87: Akkommodations- und Vergenzverhältnis beim Üben der Divergenz

Werden die Augen bei der Konvergenz-Übung auf 21cm ausgerichtet, so ist im Regelfall daran eine Akkommodation von $\Delta A \approx 4,75 \text{dpt}$ und ein Konvergenzbetrag von $\Delta K \approx 28,5 \text{cm/m}$ gekoppelt. Um die Kreise „doppelt und scharf“ sehen zu können, ist der Proband gefordert, lediglich die Vergenzstellung seiner Augen zu verändern und die Akkommodation weiterhin auf die Blattebene ausgerichtet zu lassen, die sich in einer Entfernung von 40cm befindet. Eine Ausrichtung der Augen auf die Blattebene entspräche einer Akkommodation von $\Delta A \approx 2,50 \text{dpt}$ und einem Konvergenzbetrag von $\Delta K \approx 15 \text{cm/m}$. Deshalb ergibt sich zwangsweise zum Erfüllen der Aufgabe („doppelt und scharf“) eine negative relative Akkommodation (Desakkommodation; Kapitel 3.27) von $\Delta A \approx 2,25 \text{dpt}$ oder, wenn die Akkommodation unverändert bleibt, eine zusätzliche positive fusionale Vergenz (Konvergenz; Kapitel 3.26) von $\Delta K \approx 13,5 \text{cm/m}$.

Bei der Divergenz-Übung wird vom Probanden verlangt, dass er die Vergenzstellung seiner Augen auf eine Entfernung von 6m (entspricht $\Delta A \approx 0,17 \text{dpt}$

und $\Delta K \approx 1^{\text{cm}/\text{m}}$) ausrichtet und die Akkommodationsebene hingegen weiterhin auf der Blattebene lässt (entspricht $\Delta A \approx 2,5\text{dpt}$ und $\Delta K \approx 15^{\text{cm}/\text{m}}$). Hierbei ergäbe sich folglich eine positive relative Akkommodation (Akkommodation) von $\Delta A \approx 2,33\text{dpt}$ oder eine zusätzliche negative fusionale Vergenz (Divergenz) von $\Delta K \approx 14^{\text{cm}/\text{m}}$.

Aufgrund des eben erwähnten geringeren Akkommodationsanreizes ist es wahrscheinlich, dass der stärkere Fusionszwang das Vergenzsystem zuerst neu ausrichtet und der Akkommodationszustand sich nachträglich wieder in Richtung Blattebene bewegt. Dies bestätigt sich auch in der Praxis. In der Regel werden zuerst drei unscharfe Kreise gesehen, welche unter Verlagerung der Aufmerksamkeit langsam schärfer werden. Eine vorherige Ausrichtung der Akkommodation würde bedeuten, dass der Proband zu einem bestimmten Zeitpunkt zuerst vier scharf wahrgenommene Kreise sehen würde, die er dann im Anschluss zu dreien zusammenführen würde.

Wechselt man dynamisch zwischen „Einfach- und Doppeltsehen“, so benötigt man, um die Kreise jeweils „scharf und doppelt“ zu sehen, ein sich ständig veränderndes Verhältnis zwischen Akkommodation und Vergenz. Somit trainiert die O | O-Übung auf jeden Fall die Entkoppelung zwischen den beiden Systemen Akkommodation und Vergenz.

Übt man eine Richtung bevorzugt, so ist anzunehmen, dass sich sowohl AC/A Ratio (Kapitel 3.24) als auch CA/C Ratio (Kapitel 3.25) verändern könnten. Wie die von Schor in Kapitel 2.4.2 aufgeführten Versuche nachweisen konnten, ist der Wert der AC/A und CA/C Ratio von der Anpassungsfähigkeit (Kapitel 3.30) der beiden Systeme Akkommodation und Vergenz abhängig. Zur Erinnerung: Ist die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation und des Vergenzsystems ungleich, so entspricht weder AC/A noch CA/C Ratio der Norm. Ist die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation gegenüber der Anpassungsfähigkeit der Vergenz hoch, so ist die AC/A Ratio niedrig und die CA/C Ratio hoch. Im umgekehrten Fall ist die AC/A Ratio hoch und die CA/C Ratio niedrig.

Geht man bei dem O | O-Training davon aus, dass nur die Anpassungsfähigkeit eines Systems erhöht wird und sich so die beiden Anpassungsfähigkeiten

angleichen, so könnte folglich eine Veränderung der Verhältnisse zueinander eintreten.

Beim Üben der Divergenz ist es das Ziel, die Akkommodationsebene vor die Vergenzebene zu bringen. Jedoch ist anzunehmen, dass das Akkommodationssystem trotz der positiven Akkommodation nicht übermäßig belastet wird, wie es vergleichsweise in Schors Versuch, bei der monokularen ramp tracking Aufgabe mit einem $-2,0\text{dpt}$ Glas, geschehen ist (Kapitel 2.4.2). Bei der O | O-Übung geht es vorrangig nicht um Schnelligkeit und Dauerbelastung, sondern um bewusstes Lösen der Vergenzstellung von der Blattebene und um eine dem eigenen Willen unterworfenen Ausrichtung der Augen. Im Anschluss daran soll das unscharfe Netzhautbild das Akkommodationssystem so ansprechen, dass eine Änderung des Akkommodationszustandes eintritt. Es ist deshalb eher wahrscheinlich, dass die Akkommodation nicht ermüdet, sondern ihre Flexibilität (Kapitel 3.29) in eine Richtung (hier akkommodieren ohne zu konvergieren) erhöht wird. Durch die Veränderung der Flexibilität in positiver Richtung kann auch indirekt die Anpassungsfähigkeit und damit die AC/A und der CA/C beeinflusst werden. Gelingt es, die Flexibilität des Akkommodationssystems in positiver Richtung zu erhöhen, so steigt die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation an. Ein Ansteigen der Anpassungsfähigkeit der Akkommodation gegenüber jener der Vergenz hätte in diesem Fall eine Erniedrigung der AC/A und eine Erhöhung der CA/C zur Folge.

Beim Üben der Konvergenz wäre es entsprechend. Hier wird die Vergenzstellung der Augen vor die Akkommodationsebene gebracht. Der Proband führt ebenfalls, wie in Schors Versuch bei der ramp tracking Aufgabe mit dem $5^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis außen Glas, eine positive fusionale Vergenz (Konvergenz) aus, hier jedoch indirekt und ohne das Ziel, eine Dauerbelastung des Vergenzsystems zu erreichen. Würde durch die Konvergenz-Übung hingegen die positive Flexibilität des Vergenzsystems (konvergieren ohne zu akkommodieren) gesteigert, so hätte dies indirekt zur Folge, dass die AC/A Ratio ansteige und die CA/C Ratio abnehme.

Haben sich die Anpassungsfähigkeiten der beiden Systeme (Akkommodation und Vergenz) angenähert, so verändern sich nach Schor AC/A und CA/C in Richtung

der Norm. In diesem Fall dürfte die Divergenz- und die Konvergenz-Übung dem Probanden gleich schwer fallen. Es ist wichtig, dass der Proband ab diesem Zeitpunkt nun beide Richtungen gleich oft trainiert, um das Gleichgewicht zwischen den beiden Systemen nicht wieder zu zerstören. Übt der Proband abwechselnd Konvergenz- und Divergenzstellung, so wird sowohl die Flexibilität als auch indirekt die Anpassungsfähigkeit beider Systeme gleichmäßig erhöht. Folglich bleiben AC/A und CA/C in der Norm.

Des Weiteren kommt es in der Regel durch die veränderte Vergenzstellung und die gleich gebliebene Netzhautbildgröße zu einer abgewandelten Größenwahrnehmung. Es entsteht entweder eine SILO- oder eine SOLI-Wahrnehmung des mittleren Kreises, wie in Kapitel 3.9 beschrieben. Um visuell genauer orten zu können, ist es besonders wichtig, dass der Proband in der Lage ist, die Vergenzstellung seiner Augen korrekt auszuwerten.

Somit sollte ein weiteres Ziel der Übung sein, den Probanden zu einer SILO-Wahrnehmung zu führen. Hierbei erscheint beim Üben der Konvergenz der fusionierte Kreis verkleinert und dichter gelegen (Abbildung 88). Bei der Divergenz-Übung hingegen erwartet man ein größeres und weiter entferntes Empfinden des mittleren Kreises (Abbildung 89).

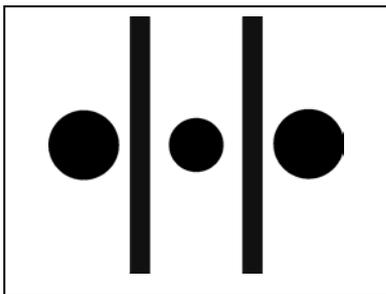


Abbildung 88: Wahrnehmung aufgrund des SILO-Effekt bei Konvergenz-Übung

SILO-
Effekt

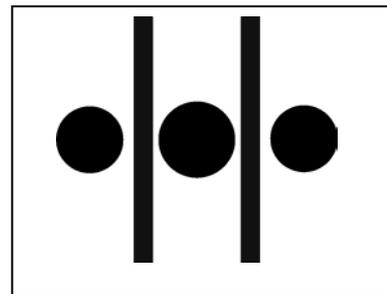


Abbildung 89: Wahrnehmung aufgrund des SILO-Effekt bei Divergenz-Übung

Fixiert der Proband bei der Konvergenz-Übung einen imaginären Punkt vor dem Übungs-Blatt, so wird das Verhältnis von Vergenzwinkel zur Netzhautbildgröße verändert. Ist der Proband in der Lage, die Vergenzstellung seiner Augen exakt auszuwerten, so wird dies zu einer SILO-Wahrnehmung führen. Wertet das

kognitive System die Vergenzänderung im Bezug auf die Entfernung nicht aus, so wird es zu einer SOLI-Wahrnehmung kommen.

Der wahrgenommene Abstand des mittleren Kreises ist des Weiteren abhängig von der Verlagerung der tonischen Vergenzstellung. Wie im Kapitel 2.4.1 bereits erwähnt, dient die tonische Vergenzstellung als Referenzpunkt für das Entfernungsempfinden. Fixiert der Proband bei der Konvergenz-Übung einen imaginären Punkt vor dem Übungs-Blatt, so wird durch die Fusion der beiden Kreise zu einem mittleren Kreis lediglich die fusionale und nicht die akkommodative oder proximale Vergenz direkt angesprochen. Nach Schor könnte der erhöhte Konvergenzaufwand beim Üben der Konvergenz innerhalb weniger Minuten zu einer Verlagerung der tonischen Vergenzstellung durch das Slow-Fusion-System führen (Studie in Kapitel 2.4.1). Man könnte also von einer indirekten Beeinflussung der tonischen Vergenzstellung sprechen. Die tonische Vergenzstellung läge nach Adaptation dann in Richtung des erhöhten Konvergenzaufwandes dichter zum Betrachter und die Tiefenwahrnehmung des mittleren Kreises würde zunehmen. Wird stattdessen die Divergenz trainiert, so läge die tonische Vergenzstellung dementsprechend weiter entfernt. Blickt der Proband wieder direkt auf die Blattebene, so findet dieser Prozess in der umgekehrten Richtung von neuem statt. Dieser Vorgang fördert die Lernfähigkeit des visuellen Systems.

Damit der Proband ein Gefühl für seine Vergenzstellung und das daran gekoppelte Entfernungsempfinden bekommt, kann er z.B. bei der Konvergenz dazu aufgefordert werden, eine Bleistiftspitze auf die Entfernung des mittleren Kreises zu bringen. Sieht er die Spitze doppelt, so ist sein Entfernungsempfinden noch nicht korrekt. Ein richtiges Entfernungsempfinden wäre dann erreicht, wenn sich die Spitze des Bleistiftes im Fixierlinienkreuzungspunkt befindet. Jetzt nimmt er diese zwar verschwommen, aber gleichzeitig mit dem Kreis einfach wahr.

Die räumliche Wahrnehmung des mittleren Kreises könnte des Weiteren durch die Ausnutzung der Panumbereiche unterstützt werden. Ist der Proband in der Lage, seine Aufmerksamkeit von der Kante des Kreises zu lösen und auf die Kreismitte zu blicken, so wäre es denkbar, dass der nun von der Hell-Dunkel-Kante erzeugte

„periphere“ Fusionsreiz den Augen eine Auswanderung erlaubt. Bei maximaler Ausnutzung von normal großen Panumbereichen (horizontal $\pm 1^{\text{cm}}/\text{m}$ und vertikal $\pm 0,5^{\text{cm}}/\text{m}$) könnte es so zu einer räumlichen Wahrnehmung von 4,72cm nach vorne und von 6,22cm nach hinten kommen. Dies errechnet man aus der Querdissipation in temporaler Richtung bei Verminderung der Konvergenzstellung und in nasaler Richtung bei Verminderung der Divergenzstellung.

Diese Auswanderung jedoch kann nur stattfinden, wenn die Sehaufgabe für den Probanden nicht anspruchsvoll ist. Bei anspruchsvollen Sehaufgaben ist der Fusionszwang so stark, dass er ständig eine motorische Nachfusion hervorruft. Da die Situation nicht den gewohnten Sehbedingungen entspricht, ist mit einer räumlichen Wahrnehmung aufgrund von Querdissipation zu Beginn der Übung sicher nicht zu rechnen.

Konvergiert oder divergiert der Proband zu wenig, so nimmt er unter Umständen sogar vier Kreise wahr (Abbildung 90). Dieser Seheindruck ist allerdings sehr unruhig, da die Augen durch die starken Fusionsanreize, welche durch die Balken und die Kreise hervorgerufen werden, aus dieser Position herausgedrängt werden.

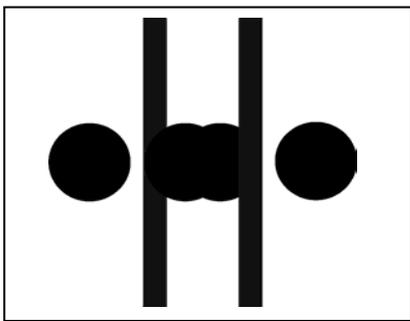


Abbildung 90: Seheindruck bei zu geringer Kon- bzw. Divergenz

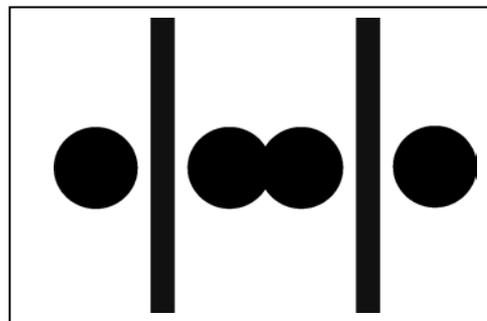


Abbildung 91: Seheindruck bei zuviel Kon- bzw. Divergenz

Gleiches würde auch gelten, wenn der Proband zuviel konvergiert oder divergiert (Abbildung 91). Praktisch ist dieser Seheindruck allerdings durch physiologische Diplopie fast nur in der Konvergenzstellung möglich. Denn bei der physiologischen Diplopie geht man davon aus, dass die Augen maximal bis zum Parallelstand divergieren. Beträgt der angenommene Pupillenabstand 60mm, so können die Fixierlinien maximal 60mm auseinander gehen. Da der Abstand der Kreise y_p

56mm beträgt, wird der Fusionsreiz überwiegen und die Augen in die leicht konvergente Richtung zwingen.

In der Regel ist für einen esophoren Probanden (Kapitel 3.15) die Wahrnehmung der physiologischen Diplopie in der Konvergenzstellung leichter. Der Seheindruck erscheint wesentlich ruhiger und kann länger gehalten werden. Dies könnte zum einen daran liegen, dass er in der Regel gut konvergieren kann, ohne daran Akkommodation zu koppeln. Der fusionierte Kreis wird, wenn die Akkommodation sich entkoppeln kann, schärfer auf die Netzhaut abgebildet und löst somit einen stärkeren Fusionreiz aus, welcher die Augen in der Haltung der Vergenzstellung unterstützen. Einen anderen Grund könnten allerdings auch die Hemmungsareale liefern, welche bei Winkelfehlsichtigkeiten (Kapitel 3.19) entstehen.

In den nächsten Abschnitten soll deshalb die Auswirkung des Trainings mit dem O | O-Übungsblatt bei einer jungen Fixationsdisparation FD (Kapitel 3.20) durchdacht werden. Die Richtungswertumstellung ist hier noch nicht bis in die Peripherie erfolgt. Blickt der Proband direkt auf das Übungsblatt („Einfachsehen“), so dürfte dies für ihn keine anspruchsvolle Aufgabe darstellen, denn die Visusanforderungen der Objekte sind gering. Ein Proband mit einer jungen Eso-FD von ca. $3^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis außen am rechten Auge könnte deshalb voraussichtlich die in Abbildung 92 und Abbildung 93 gezeichneten Netzhautbilder haben.

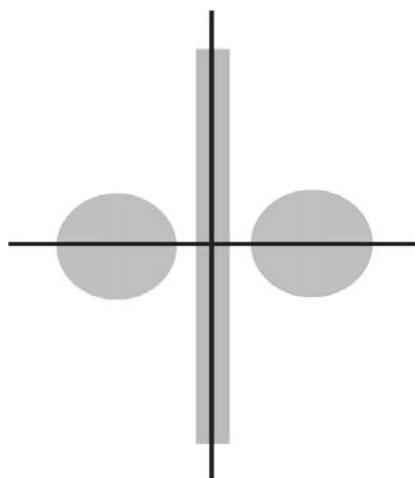


Abbildung 92: NH-Bild des L Auges bei Blick auf die Blattebene

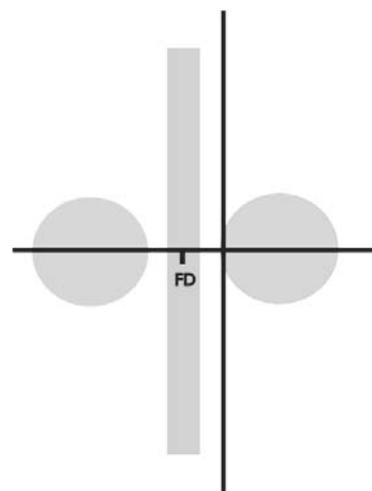


Abbildung 93: NH-Bild des R Auges bei Blick auf die Blattebene mit FD

Fixiert der Proband bei der Konvergenz-Übung einen Punkt vor dem Blatt, so muss dieser mehr konvergieren und die hinteren Augenpole laufen weiter auseinander. Der mittlere Kreis kann nun, da die objektive Fusionsbedingung erfüllt ist, fusioniert werden. Ist für den Probanden diese Situation nicht ungewohnt bzw. stellt sie für ihn keine anspruchsvolle Sehsituation dar, so wird er nun ebenfalls den mittleren Kreis in das FD-Zentrum abbilden. Abbildung 94 und Abbildung 95 demonstrieren das Netzhautbild des Übungsblattes im linken und rechten Auge. Da die Richtungswertumstellung noch nicht bis in die Peripherie erfolgt ist, kommt es zu den jeweils schraffiert eingezeichneten korrespondierenden Netzhautbildern.

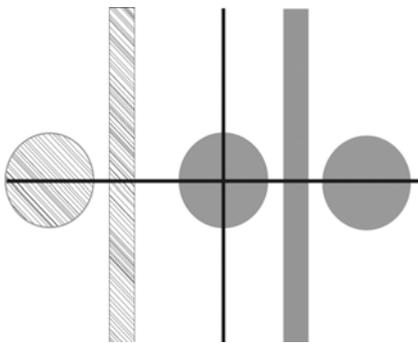


Abbildung 94: NH-Bild des L Auges bei Blick vor die Blattebene

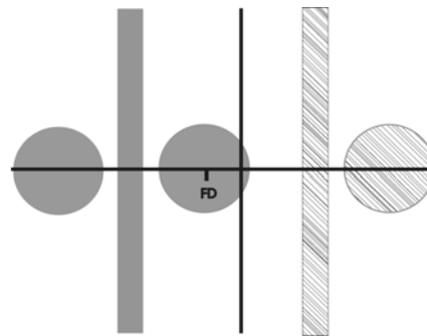


Abbildung 95: NH-Bild des R Auges bei Blick vor die Blattebene mit FD

Bei der Divergenz-Übung ist es entgegengesetzt. Die Fixierlinien verlaufen nun paralleler und die hinteren Augenpole liegen dichter beieinander (Abbildung 96 und Abbildung 97). Wieder wird der Proband den mittleren Kreis fusionieren und ihn im FD-Zentrum abbilden wollen.

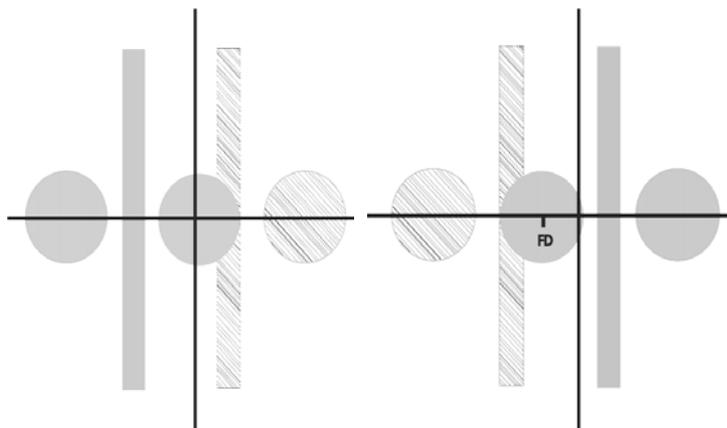


Abbildung 96: NH-Bild des L Auges bei Blick auf die Blattebene

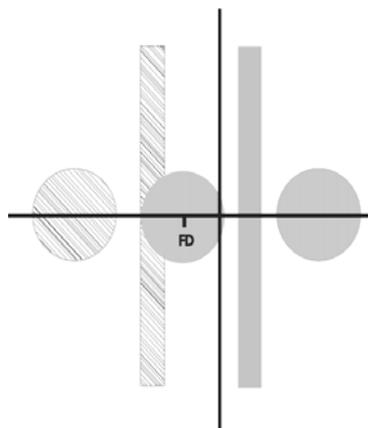


Abbildung 97: NH-Bild des R Auges bei Blick hinter die Blattebene mit FD

Wie zu sehen ist, überlagern sich die Bildpunkte der korrespondierenden Netzhautstellen bei der Divergenzstellung teilweise mit dem vorhandenen Netzhautbild. Je schwächer die Hemmung der Netzhautareale in diesen Bereichen ist, desto unruhiger wird der entstehende Seheindruck für den Probanden sein.

Um einen ruhigeren Seheindruck zu erlangen, müsste der Proband nun motorisch auf das alte Korrespondenzzentrum in der Foveamitte nachzufusionieren. Entstandene Hemmungen in diesem Gebiet können durch Verlagerung der Aufmerksamkeit abgebaut werden. Da der zu erzielende Seheindruck dem Probanden bewusst ist, kann er durch gezieltes Vergleichen eine Art Biofeedbackschleife (Kapitel 3.3) schaffen. Im Amerikanischen spricht man hierbei von „remind and matching“. Es ist folglich bei der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung besonders wichtig, dass der Proband sich bewusst mit seiner Wahrnehmung auseinandersetzt.

In der Konvergenzstellung hingegen würden die Bildpunkte der korrespondierenden Netzhautstellen, da sie sich nicht mit dem vorhandenen Netzhautbild überlagern, vermutlich zu keinem unruhigeren Seheindruck führen. Es ist deshalb zu erwarten, dass der Proband nicht motorisch nachfusioniert. Die zentralen Hemmungen werden folglich nicht aufgehoben, sondern werden sich eher noch verfestigen.

Würde der Proband mit junger FD aufgrund der ungewohnten Sehaufgabe allerdings auch bei der Konvergenz-Übung motorisch nachfusionieren oder hätte er eine alte FD, bei welcher die Richtungswerte schon bis in die Peripherie ersetzt wurden, so trifft das eben aufgeführte Modell nicht mehr zu. In diesen Fällen spräche auch ein Konvergenz-Training eher für einen Abbau als für eine Verfestigung der Hemmungen.

Die Frage, ob die O | O-Übung eine anspruchsvolle Sehaufgabe für den Probanden darstellt, müsste in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Im Rahmen dieser Diplomarbeit war dies jedoch nicht möglich.

5.1.4 Wichtige Größen und Distanzen

Die Tatsache, dass die Augen bei der physiologischen Diplopie maximal bis zum Parallelstand auseinander gehen können, macht deutlich, dass der Abstand zwischen den Kreisen nicht beliebig gewählt werden kann. Soll durch physiologische Diplopie die erwünschte Wahrnehmung erreicht werden, so ist es unabdinglich, dass der Abstand der Kreismittelpunkte (y_P) nicht den Pupillenabstand des Probanden überschreitet. Nähert sich der Abstand y_P der Pupillendistanz an, so wird die Übung für den Probanden erschwert. Die Augen müssen nun stärker konvergieren und divergieren. Im Gegensatz dazu kann man die Übung erleichtern, indem man den Abstand der Kreise verringert. Es sollte aber immer eine deutliche Trennung von Kreis und Balken sichtbar bleiben.

Verringert man lediglich die Größe des Kreises und behält den Abstand der Kreise sowie die Balkenbreite bei, so wird der Fusions- und Akkommodationsanreiz aufgrund der geringeren Exzentrizität der Hell-Dunkel-Kante stärker. Das System ist wesentlich unflexibler, und eine Entkoppelung der beiden Systeme erfordert eine höhere neurologische Leistung. Auch das Lösen der Vergenzstellung von der Blattebene wird durch die kleineren Kreise erschwert, denn die Augen werden durch die stärkeren Fusionsreize in ihrer Stellung gehalten. Zusätzlich wird die Ablenkung durch den Balken größer, da dieser durch das veränderte Größenverhältnis nun mehr Aufmerksamkeit hervorruft.

Verändert man die Übung, so werden bestimmte Funktionen also stärker und andere weniger stark angesprochen. Man sollte sich folglich nach den Problemen des Probanden richten und die Übung falls nötig entsprechend abwandeln.

Hat der Proband Schwierigkeiten in seiner visuellen Verarbeitungsfähigkeit (Kapitel 2.5.2) und kann z.B. nur erschwert Gegenstände über sein peripheres Sehen aufnehmen, so wird es ihm zu Beginn schwer fallen die komplette Übungsfigur „doppelt“ wahrzunehmen. Hierdurch wird der Seheindruck sehr unruhig. Ist der Proband mit der Wahrnehmung überfordert, so kann die Übung für ihn erleichtert werden, indem z.B. der Balken zu Beginn entfernt wird. Nun kann er seine Konzentration voll auf die Kreise ausrichten und so erst einmal das von ihm

geforderte Lösen von der Blattebene und die Fusion der Kreise erlernen. Sobald dem Probanden dies gelingt, ist es wichtig, den Balken wieder hinzuzufügen. Denn so fördert er, zusätzlich zur bewusst gesteuerten Ausrichtung seiner Augen, die periphere Wahrnehmung, mit welcher er Schwierigkeiten hat.

Personen, denen es hingegen bei der Divergenz-Übung schwer fällt, ihre Aufmerksamkeit von der Blattebene zu lösen und somit eine Fusion der Kreise zu erlangen, kann z.B. durch eine vorübergehende Verkürzung des Blattabstandes geholfen werden. Wird der Blattabstand verringert, so kommt es zu einer exzentrischeren Lage der Hell-Dunkel-Kanten, was sowohl die Stärke des Fusionsreizes als auch insbesondere den Akkommodationsanreiz schwächt. Sind diese Reize geringer, so ist es für den Probanden einfacher, seine Aufmerksamkeit auf andere Dinge auszurichten.

Die benötigte Entkoppelung von Akkommodation und Vergenz, um den fusionierten Kreis scharf sehen zu können, wird jedoch bei einem geringeren Blattabstand als 40cm größer als zuvor im Abschnitt „Angesprochene Funktionen und Hintergründe“ berechnet sein, was dem Probanden das Erfüllen des „Scharfstellens“ erschwert. Nach Erreichen der Fusion der Kreise besteht deshalb die Aufgabe des Probanden darin, die Fusion zu halten und die Blattentfernung langsam wieder zu vergrößern.

Eine weitere Möglichkeit, das Lösen der Aufmerksamkeit von der Blattebene zu erleichtern, ist das Aufbringen der Übungsfigur auf einer transparenten Folie. Hierdurch wird dem Probanden die Gelegenheit geboten durch die Übungsfigur hindurch einen realen Objektpunkt zu fixieren.

Die Übung findet dann jedoch auf einer niedrig neurologischen Stufe statt, da der Proband seine Augen nun mit Fusion- und Akkommodationsanreiz eines anderen Objektes ausrichtet. Ist das Blatt undurchsichtig, so kann der Proband nur eine Fusion der Kreise erzielen, indem er willentlich die Vergenzstellung seiner Augen ändert. Dies kann ihm z.B. gelingen durch die Visualisierung eines Objektpunktes. Dieser Vorgang ist hoch neurologisch. Der Proband steuert durch die Vorstellung eines Fixierpunktes die Augen und entscheidet so bewusst, was Stimulus und was Background ist.

5.1.5 Geeignete Zielpersonen

Vor Beginn der Übung sollte genau beurteilt werden, welcher Befund in Bezug auf die Koppelung zwischen Akkommodation und Vergenz (AC/A und CA/C) und welche direkten und indirekten fusionalen Vergenzreserven (Kapitel 3.26 und Kapitel 3.28) vorliegen. Erst danach kann entschieden werden, welche Richtung bevorzugt trainiert und ob bei der Durchführung der Übung die Vollkorrektur getragen werden sollte.

Beim Trainieren der Divergenz werden vor allem die Funktionen der negativen fusionalen Vergenz (divergieren) und der positiven relativen Akkommodation (akkommodieren) angesprochen. Sie eignet sich deshalb besonders für Personen, die in diesen Punkten Schwächen haben. Dies können z.B. Personen mit Konvergenzexzess (Kapitel 3.31) und/oder Akkommodationsinsuffizienz (Kapitel 3.36) sein.

Bei einem Konvergenzexzess ist in der Regel die Flexibilität des Vergenzsystems in positiver Richtung erhöht und damit sehr wahrscheinlich auch die Anpassungsfähigkeit des Vergenzsystems. Im zweiten Fall, der Akkommodationsinsuffizienz, ist hingegen die Flexibilität und somit die Anpassungsfähigkeit des Akkommodationssystems erniedrigt. Dies spricht sehr wahrscheinlich dafür, dass die AC/A Ratio erhöht und die CA/C erniedrigt ist. Wie bereits unter Punkt 5.1.3 erwähnt, kann mit Hilfe der Divergenz-Übung vermutlich, die AC/A Ratio erniedrigt und die CA/C Ratio erhöht werden, da sich die Anpassungsfähigkeiten der Akkommodations- und des Vergenzsystems angleichen. Dies wäre demnach für beide Zielgruppen vorteilhaft.

Während des Trainings der Konvergenz werden die Funktionen der positiven fusionalen Vergenz (konvergieren) und die der negativen Akkommodation (desakkommodieren) geübt. Die Konvergenz-Übung wäre deshalb besonders für Personen mit Konvergenzinsuffizienz (Kapitel 3.32) und/oder Akkommodationsexzess (Kapitel 3.35) geeignet. Auch hier hätte die Konvergenz-Übung indirekt wahrscheinlich den Vorteil, dass der möglicherweise niedrige AC/A ansteigt und der hohe CA/C sinkt.

Nachdem bestimmt wurde, welche Richtung bevorzugt trainiert werden sollte, ist darüber nachzudenken, welche Folgen es hat, wenn der Proband während der Durchführung der Übung seine Fernkorrektion nicht aufsetzt.

Trägt z.B. ein schwach Myoper, bei der Durchführung der Divergenz-Übung keine Brille, so muss er weniger oder unter Umständen, je nach Fehlsichtigkeit, gar nicht akkommodieren, um die Blattebene scharf zu sehen. Ein Training ohne Brille würde deshalb nur Spiel in die Vergenzstellung der Augen bringen, aber nicht dazu führen, Akkommodation ohne Vergenz aufzubringen. Das bedeutet, der Trainingseffekt der positiven relativen Akkommodation ginge teilweise oder ganz verloren und die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation würde indirekt ebenfalls weniger gefördert. Der Erfolg, die Flexibilität der Akkommodation zu erhöhen, sinkt demzufolge. Ein Training ohne Brille wäre also nur zur kurzzeitigen Erleichterung der Übung sinnvoll.

Trägt hingegen ein Hyperoper bei der Divergenz-Übung seine Brille nicht, so ist er hierdurch gezwungen noch mehr zu akkommodieren. Damit wird die Übung für ihn zuerst einmal erschwert. Ist die aufzubringende Dioptriendifferenz größer, so ist das Bild auf der Netzhaut ebenfalls unschärfer. Hierdurch entsteht ein geringerer Anreiz die Akkommodation zu aktivieren/ innervieren.

Ist das Akkommodationssystem überfordert, so findet keine Ausrichtung der Akkommodationsebene statt. Der Trainingseffekt, die positive Flexibilität der Akkommodation zu erhöhen, ginge ebenfalls verloren und damit auch indirekt die Beeinflussung der Anpassungsfähigkeit. An ein Training ohne Brille sollte demnach erst gedacht werden, wenn der Proband die Übung mit Brille beherrscht.

Beim Training der Konvergenz kann man ähnliche Gedankenmodelle durchgehen. Trainiert ein Proband mit Konvergenzinsuffizienz (entweder Myoper mit Brille oder ein Hyperoper ohne Brille) die positive fusionale Vergenz (konvergieren), so wird ihm die Übung leichter fallen. In beiden Fällen müsste nun während der Übung mehr Akkommodation aufgebracht werden, was die vorhandene Exo-Phorie in der Nähe verringert.

Ziel der Konvergenz-Übung ist es jedoch, die Flexibilität des Vergenzsystems so zu steigern, dass der Proband konvergieren kann, ohne zu akkommodieren. Demnach wäre der Trainingserfolg der positiven fusionalen Vergenz geringer. Allerdings gelingt es dem Myopen ohne und dem Hyperopen mit Brille vielleicht nicht, eine Fusion der Kreise zu erzielen. Dies hätte zur Folge, dass gar kein Training ausgeführt und somit auch keine minimale Steigerung der positiven fusionalen Vergenzreserve erreicht wird. Deshalb sollte jede Übung lieber langsam gestartet und dann gesteigert werden.

Trainiert ein Proband nur oder bevorzugt die für ihn nicht geeignete Richtung, so wird diese Übung vermutlich sein Problem verschlimmern, da die Akkommodation/Vergenz-Koppelung in der falschen Richtung flexibler wird. Trainiert z.B. ein Proband mit einer hohen Fähigkeit zur positiven relativen Akkommodation und mit einem niedrigen AC/A statt der Konvergenz- die Divergenz-Übung, so wird seine positive Akkommodationsflexibilität und damit indirekt seine Anpassungsfähigkeit der Akkommodation noch erhöht. Denn bei der Divergenz-Übung lernt der Proband, die Akkommodation anzuspannen, ohne gleich zu konvergieren. Folglich würde die Nah-Phorie in Richtung Exo-Phorie zunehmen und seine Probleme im Alltag verschlimmern.

Des Weiteren kann vermutet werden, dass eine junge Exo-FD durch die Divergenz-Übung weiter gefestigt werden könnte, da die Bilder der korrespondierenden Netzhautstellen sich nicht mit dem eigentlichen Netzhautbild überschneiden und deshalb der Proband vermutlich nicht zu einer motorische Nachfusion gezwungen ist (entsprechend dem Konvergenz-Training bei einer jungen Eso-FD, wie unter Punkt 5.1.3 gezeigt).

5.1.6 Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden

Während der Durchführung der Übung ist es besonders wichtig, dass der Optometrist auf die richtige Stellung der Augen achtet. Soll ein erdachter Punkt hinter dem Blatt fixiert werden, so müssen die Augen divergieren und die Pupillen sich weiten, da die Akkommodation in der Regel ein wenig losgelassen wird.

Im umgekehrten Fall, wenn ein erdachter Objektpunkt vor dem Blatt angesehen wird, sollten die Augen konvergenter stehen und die Pupillen sich verengen, da an die Konvergenzbewegung immer ein wenig Akkommodation gekoppelt bleiben wird.

5.1.7 Ziel der Übung

Folgende Ziele sollen mit der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung erzielt werden:

- Der Proband soll ein Gefühl für die Konvergenz- bzw. Divergenz-Stellung seiner Augen vermittelt bekommen.
- Er soll bewusst seine Aufmerksamkeit von der Blattebene lösen und seine Vergenzstellung willentlich beeinflussen lernen.
- Die periphere Wahrnehmungskontrolle liefert dem Probanden wahrscheinlich die Möglichkeit, gehemmte Verarbeitung durch gezielte Aufmerksamkeitsverlagerung (Biofeedback) abzubauen.
- Bei der Divergenz-Übung trainiert der Proband seine negative fusionale Vergenz (oder fusionale Vergenz in Richtung Basis innen) und die positive relative Akkommodation (PRA). Hierdurch erhöht sich vermutlich indirekt die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation, was zu einer Abnahme der AC/A Ratio und zu einem Anstieg der CA/C Ratio führen könnte.
- Bei der Konvergenz-Übung trainiert der Proband seine positive fusionale Vergenz (oder fusionale Vergenz in Richtung Basis außen) und die negative relative Akkommodation (NRA). Dies erhöht vermutlich indirekt die Anpassungsfähigkeit des Vergenzsystems und könnte sich dann in einem Anstieg der AC/A Ratio und in einer Abnahme der CA/C Ratio äußern.
- Die häufige Verlagerung der tonischen Vergenz führt zu einer erhöhten Lernfähigkeit des visuellen Systems.
- Der Proband fördert sein an das Vergenzsystem gekoppeltes Entfernungsempfinden durch die bewusste Wahrnehmung des SILO-Effektes.

5.2 A | A-Divergenz- und Konvergenz-Übung

Die A | A-Divergenz- und Konvergenz-Übung ist eine Folgelektion auf die O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung. Sie zählt ebenfalls zu den binokularen Übungen und spricht somit überwiegend den zweiten Kreis von Skeffington an.

5.2.1 Benötigte Übungsutensilien

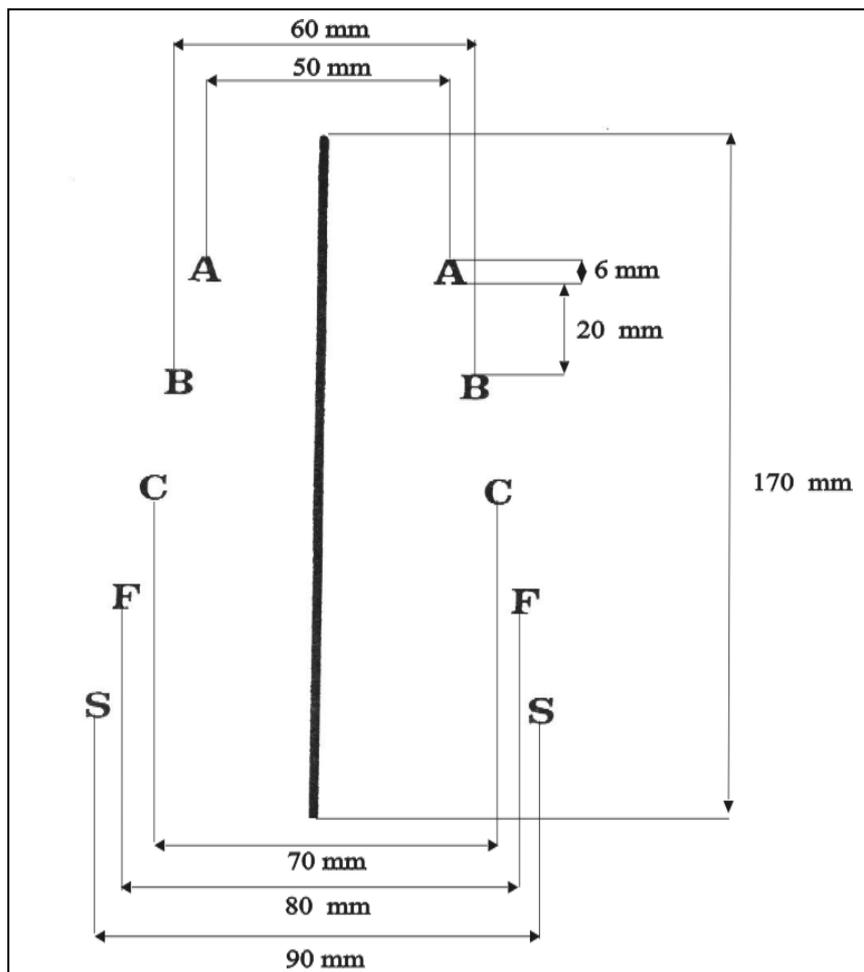


Abbildung 98:
A | A-
Übungsblatt

Für die A | A-Übung benötigt man die in Abbildung 98 dargestellte Übungsfigur. Sie sollte sich auf einem weißen DIN A4 Blatt befinden. Entwickelt wurde diese Übung ebenfalls wie die O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung 1979 vom Centrum Voor Visuele Therapie.³⁰¹

³⁰¹ Vanhimbeek-Collier: Handbuch zur Leitung eines Optometrischen Myopie Trainings, Belgium 1998, S. 5.7

5.2.2 Durchführung der Übung

Das weiße DIN A4 Blatt mit der Übungsfigur sollte in einem Abstand von 40cm gehalten werden. Nun wird der Proband wie bei der O | O-Übung aufgefordert, sich genau einen Punkt in der Entfernung vor bzw. hinter dem Blatt vorzustellen, bei dem mit Hilfe der physiologischen Diplopie (Kapitel 3.10) die einzelnen Buchstaben so fusioniert werden können, dass man genau drei Stück sieht.

Man beginnt mit dem Buchstaben A und wechselt zum nächsten, wenn dieser mehrmals im Wechsel „einfach“ und „doppelt“ gesehen wurde. Kann die durch die physiologische Diplopie entstandene „doppelte“ Wahrnehmung gehalten werden, so soll der Proband damit anfangen, den mittleren Buchstaben schärfer zu sehen und die räumliche Anordnung zwischen den Buchstaben aufgrund des SILO-Effektes bewusst wahrzunehmen.

Der letzte Schritt besteht darin, dass der Proband alle Buchstaben der Reihe nach oder im sprunghaften Wechsel „einfach“ und „doppelt“ betrachten kann.

5.2.3 Angesprochene Funktionen und Hintergründe

Betrachtet der Proband einen imaginären Punkt vor dem Blatt und fusioniert dabei mit Hilfe der physiologischen Diplopie den Buchstaben A, so könnten die auf den Netzhäuten entstehenden Bilder wie in Abbildung 99 zusammengefasst aussehen. Die restlichen Buchstabenpärchen nimmt der Proband jeweils, falls keine Hemmung oder Bahnung eines Seheindrucks vorliegt, als vier einzelne Buchstaben wahr. Sie können nicht mittels Quersparation fusioniert werden, da ihr Abstand die normale Größe von Panumbereichen (horizontal $\pm 1^{\text{cm}}/\text{m}$ und vertikal $\pm 0,5^{\text{cm}}/\text{m}$) überschreitet.

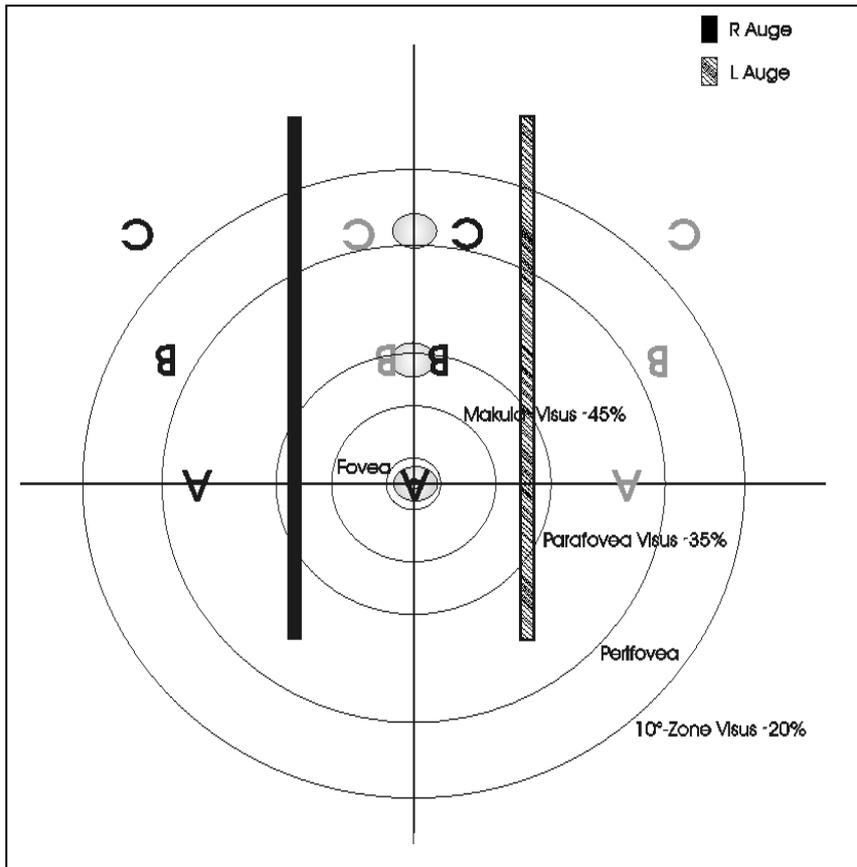


Abbildung 99: vermutliches NH-Bild des A | A-Übungsblattes bei einem Blattabstand von 40cm und Fusion des durch physiologische Diplopie in Konvergenzstellung „doppelt“ gesehenen Buchstaben A.

Die durch den fusionierten Buchstaben entstehende Hell-Dunkel-Kante ruft aufgrund ihrer relativ geringen Exzentrizität (Kapitel 3.11) einen wesentlich stärkeren Fusions- und Akkommodationsanreiz hervor als der Kreis bei der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung. Hierdurch wird das visuelle System unflexibler und die Übung verlangt zum Entkoppeln von Akkommodation und Vergenz ein höheres Leistungsniveau vom Probanden.

Des Weiteren ist zu vermuten, dass die gestiegenen Visusanforderungen die Sehaufgabe nun anspruchsvoller machen und der Proband deshalb eher bestrebt sein wird, das Objekt bizentral abzubilden.

Blickt der Proband mit einer Pupillendistanz von 60mm auf die Blattebene in 40cm, so sind hiermit ein Akkommodationsaufwand von 2,5dpt und ein Konvergenzaufwand von $15^{\text{cm}}/\text{m}$ verbunden. Während der Durchführung der Konvergenz-Übung ergeben sich für den Probanden, die in Abbildung 100

berechneten zusätzlichen Desakkommodations- (negative relative Akkommodation) oder zusätzlichen Konvergenz- (positive fusionale Vergenz) Beträge.

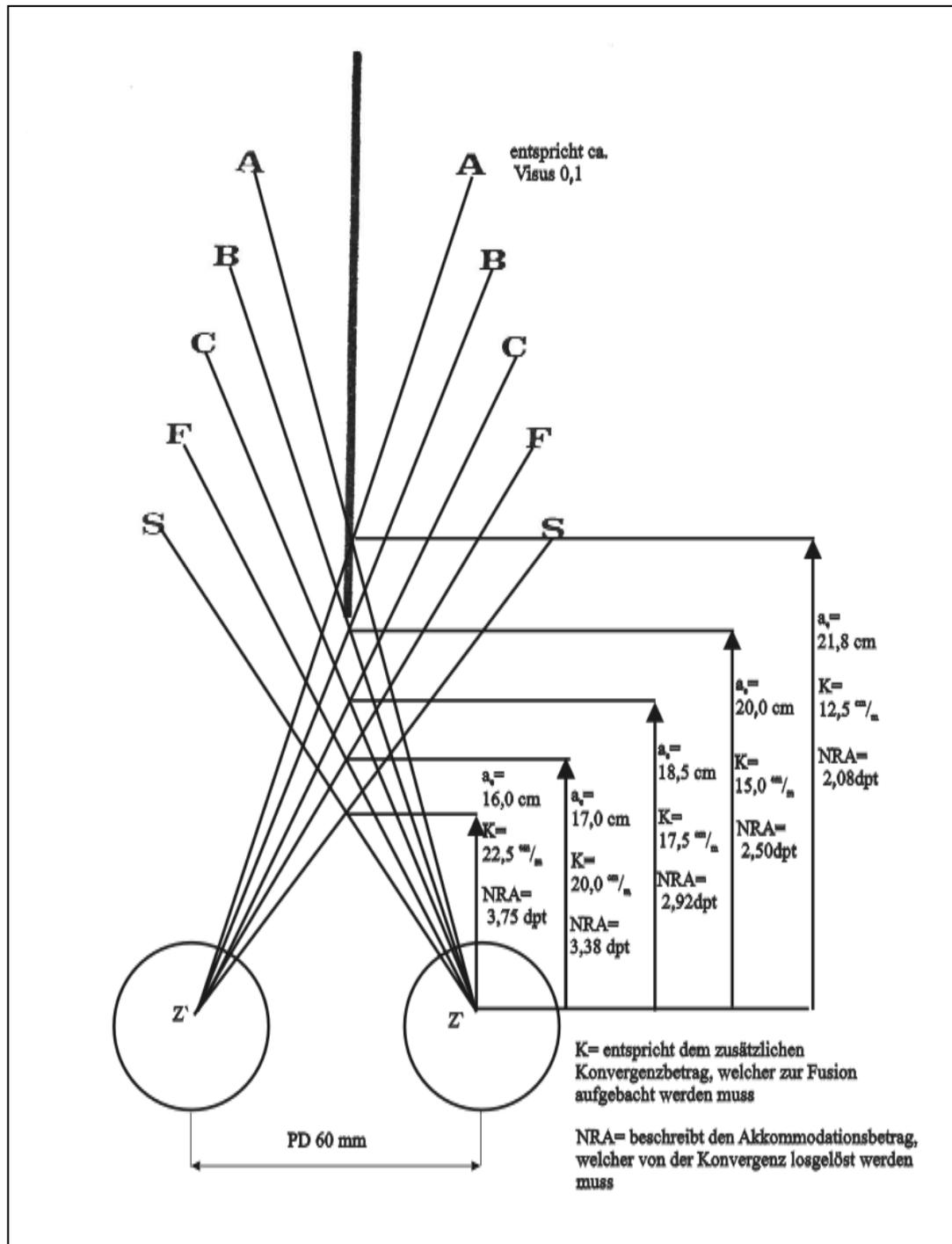


Abbildung 100: Berechnung der zusätzlichen Akkommodation- und Konvergenz-Aufwände beim Fusionieren der einzelnen Buchstaben.

Fusioniert der Proband z.B. den Buchstaben A, so müssen die Augen auf einen erdachten Punkt in 21,8cm ausgerichtet sein. Hierzu benötigt er eine zusätzliche positive fusionale Vergenz (Konvergenz; Kapitel 3.26) von $12,5 \frac{\text{cm}}{\text{m}}$. Um die

Übungsfigur (A) weiterhin scharf zu sehen, darf der Proband die an diese Vergenzstellung und Entfernung gekoppelte Akkommodation von 4,58dpt nicht aufbringen, sondern muss wieder auf die dem Blattabstand entsprechende Akkommodationsebene von 2,5dpt zurückgehen. Dies entspricht bei dem Buchstaben A in etwa einer negativen relativen Akkommodation NRA (Desakkommodation; Kapitel 3.27) von 2,08dpt.

Wird die A | A-Übung zum Training der Divergenz eingesetzt, so sollte man folgendes beachten. Ein Fusionieren der „doppelt“ gesehenen Buchstaben mittels physiologischer Diplopie wird durch den Pupillenabstand begrenzt. Die Augen können maximal ins Unendliche schauen. Bei einer PD kleiner 60mm kann deshalb nur der Buchstabe A und bei einer PD zwischen 60-70mm die Buchstaben A und B doppelt gesehen werden.

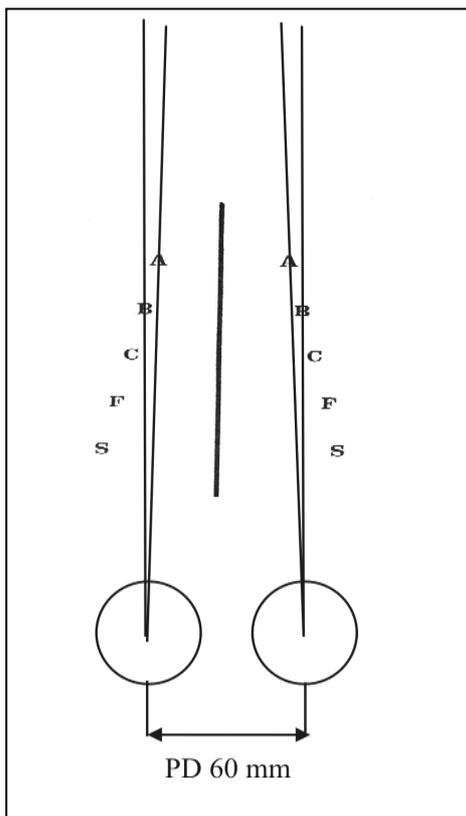


Abbildung 101: mögliche Stellungen der Augen bei der A | A-Divergenz-Übung.

Die sich zusätzlich ergebende negative fusionale Vergenz (Divergenz) oder die positive relative Akkommodation (PRA) für den Beispielprobanden mit einer PD von 60mm kann ebenfalls errechnet werden.

Beim Fusionieren des Buchstaben A (bzw. B) ergibt sich eine Ausrichtung der Augen auf eine Entfernung von $a_e = 2,0\text{m}$ (bzw. ∞). Dementsprechend benötigt man beim Buchstaben A (bzw. B) entweder eine negative fusionale Vergenz vom Betrag $12,5^{\text{cm}/\text{m}}$ (bzw. $15,0^{\text{cm}/\text{m}}$) oder eine PRA von 2,0dpt (bzw. 2,5dpt).

Um die Buchstaben zu erkennen, ist ein Visus von mindestens 0,1 erforderlich. Die geringste PRA oder NRA benötigt man beim Fusionieren des Buchstaben A. Sie liegt bei ca. 2,0dpt. Findet keine Entkoppelung zwischen Akkommodation und Vergenz statt, so entsteht dementsprechend eine Fehlsichtigkeit von 2,0dpt. Diese Fehlsichtigkeit reduziert den Visus gemäß folgender Formel:

$$V_{\text{resultierend}} = V_{\text{max.}} \times 0,25\text{dpt} \mid D_{\text{Fehlsichtigkeit}} \mid$$

Formel 8: Berechnung der Visuseinschränkung durch sphärische Fehleinstellung.

Bei einem Visus von 1,0 ergibt sich so ein resultierender Visus von 0,06. Findet also keine Entkoppelung statt, so ist schon der Buchstabe A nicht mehr zu erkennen. Der Proband erhält so eine wesentlich feinere Kontrolle seines visuellen Systems.

Durch die Entkoppelung von Akkommodation und Vergenz wird die Flexibilität (Kapitel 3.29) entsprechend der trainierten Richtung erhöht. Wie in der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung bereits diskutiert, könnte sich dies indirekt auch auf die Anpassungsfähigkeit (Kapitel 3.30) der Systeme und somit auf das Koppelungsverhältnis AC/A und CA/C auswirken (Kapitel 3.24 und 3.25).

Mit Hilfe des Divergenz-Trainings würde man die Flexibilität der Akkommodation in positiver und die der Vergenz in negativer Richtung erhöhen. Hierdurch könnte demzufolge die Anpassungsfähigkeit der Akkommodation zunehmen und die AC/A sich senken, sowie die CA/C ansteigen.

Die Konvergenz-Übung erhöht hingegen die Flexibilität der negativen Akkommodation und der positiven Vergenz. Dies könnte dazu führen, dass die Anpassungsfähigkeit des Vergenzsystems ansteigt und die AC/A entsprechend steigen und die CA/C sinken könnte.

Der genaue zeitliche Ablauf der Ausrichtung von Akkommodation- und Vergenzsystem ist, wie bereits bei der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung erwähnt, ungeklärt. Jedoch ist es auch hier wahrscheinlich, dass der Fusionsreiz überwiegt und die Bewegung von dem Vergenzsystem ausgeht (Begründung Kapitel 5.2.3).

Je ruhiger der Seheindruck wird, desto eher ist anzunehmen, dass die Akkommodation von der Vergenz entkoppelt wurde. Denn je kontrastreicher das Bild auf der Netzhaut wird, desto größer wird der Fusionsanreiz der Buchstabenpärchen, welcher die Augen in ihrer Vergenzstellung unterstützt.

Gelingt es dem Probanden ein Buchstabenpärchen zu fusionieren, so wird dieses bizentral abgebildet (Abbildung 99). Lenkt der Proband nun seine Aufmerksamkeit auf das nächste Buchstabenpärchen, so wird die disparate Abbildung der anderen Buchstabenpärchen wahrscheinlich zu einer motorischen Nachfusion auf die Netzhautmitten führen. Die relative Sehschärfe, mit der ein Buchstabenpärchen oberhalb bzw. unterhalb des fusionierten Buchstabens erkannt werden könnte, liegt bei ca. 60%. Alle anderen Fusionsanreize z.B. die der Balken sind aufgrund der Exzentrizität wesentlich geringer.

Da das Buchstabenpärchen schon am Rande des Panumbereiches liegt, ist, um es innerhalb diesen zu bringen, lediglich eine Vergenzänderung von ca. $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ bzw. von $0,29^\circ$ nötig. Die Buchstaben könnten nun mittels sensorischer Fusion verschmolzen werden. Da jedoch die Aufmerksamkeit des Probanden auf keinen stärkeren Fusionsreiz ausgerichtet ist, werden die Augen diese Stellung nicht beibehalten, sondern ihre Vergenzstellung so lange ändern bis das Buchstabenpärchen bizentral abgebildet wird (Abbildung 102). Insgesamt wurde nun die Vergenzstellung um einen Betrag von $2,5^{\text{cm}}/\text{m}$ bzw. um $1,4^\circ$ geändert.

Je nachdem wie viel Kontrolle der Proband über seine Vergenzbewegungen hat und ob Hemmungen vorhanden sind, kommt es zu einer gleitenden oder ruckartigen Bewegung der Augen beim Übergang von Buchstabe zu Buchstabe.

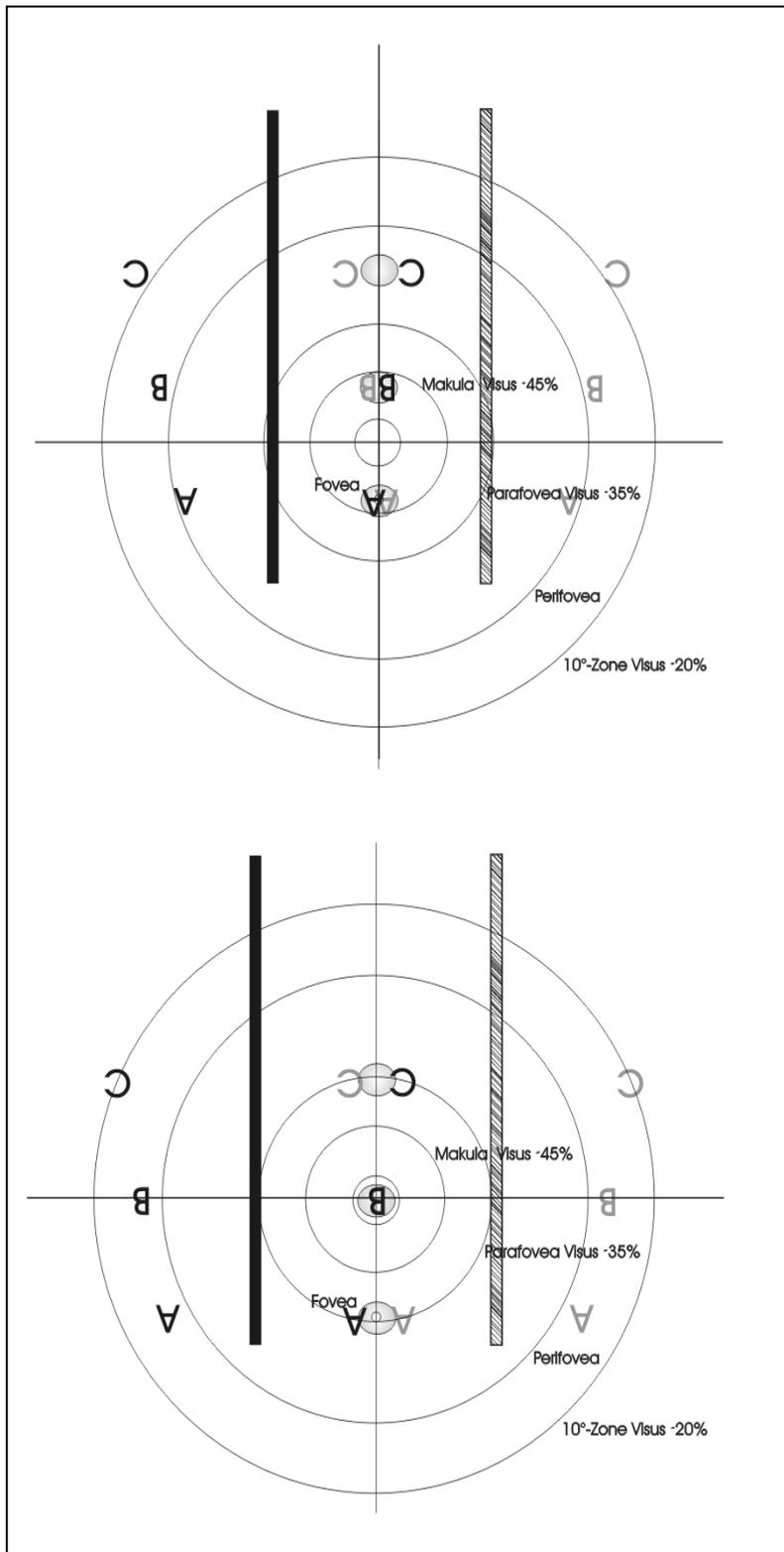
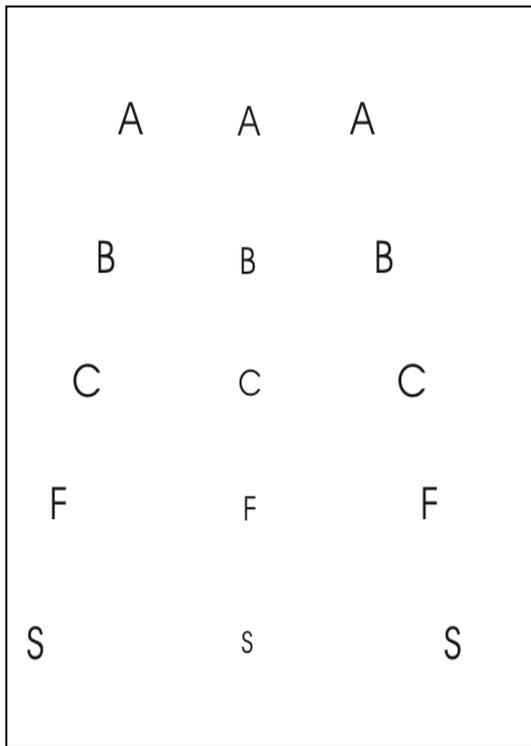


Abbildung 102:
Übergang zur Fusion
des nächsten
Buchstabens B

Je gleitender die Bewegung ausgeführt wird, desto mehr erweckt es den Eindruck, dass einige Buchstaben gleichzeitig räumlich erscheinen.



Wechselt man bei der Konvergenz-Übung von Buchstabe A zu Buchstabe B, von B zu C usw., so erscheinen diese dem Probanden immer näher zu kommen. Die Ursache hierfür liegt in unserem Entfernungsempfinden, welches an die Vergenzstellung der Augen gekoppelt ist. Des Weiteren sollte der Proband die fusionierten Buchstaben immer kleiner wahrnehmen. Dies ist die Auswirkung des SILO-Effektes (Kapitel 3.9).

Abbildung 103: Seheindruck aufgrund des SILO-Effektes beim Üben der Konvergenz

Bei der Divergenz-Übung erscheinen hingegen die fusionierten Buchstaben durch den SILO-Effekt vergrößert und weiter entfernt.

Fusioniert der Proband nacheinander die einzelnen Buchstaben, so wandert er dabei auf seiner Z-Achse (Kapitel 3.8) entlang. Die Z-Achse spiegelt die Symmetrieachse des Probanden wieder und hilft ihm bei der Bestimmung räumlicher Lagebeziehungen. Ist an sie die Empfindung „geradeaus“ gekoppelt, so ist der Proband in der Lage, Gegenstände präziser visuell zu orten. Bewegungen entlang der Z-Achse fördern des Weiteren den Abbau gehemmter Areale.

Die bewusste Aufmerksamkeitslenkung des Probanden auf die periphere Wahrnehmung der anderen Buchstaben und der Balken kann gleichzeitig den Abbau gehemmter Areale in der Peripherie noch unterstützen. Der im Amerikanischen als „remind and matching“ bezeichnete Vorgang, schafft eine Art Biofeedbackschleife (Kapitel 3.3), durch welche unbewusste Körperfunktionen sichtbar gemacht werden können.

5.2.4 Wichtige Größen und Distanzen

Die bisher berechneten Daten bezogen sich immer auf eine Entfernung zum Übungsblatt von 40cm. Wird das Blatt jedoch dichter gehalten, so löst ein fusionierter Buchstabe aufgrund der größeren Exzentrizität der Hell-Dunkel-Kante einen schwächeren Fusionsreiz aus. Schon bei einer geringeren Entfernung als 30cm überschreitet die Netzhautbildgröße des fusionierten Buchstabens den stäbchenfreien Bereich. Je näher das Blatt zum Probanden geführt wird, desto größer werden die Bilder auf der Netzhaut. Aufgrund der Zunahme der Exzentrizität kommt es zu einem immer schwächer werdenden Akkommodations- und Fusionsanreiz und die visuellen Systeme lassen sich folglich leichter voneinander entkoppeln.

Hierdurch gelingt es dem Probanden auch leichter, seine Aufmerksamkeit von der Blattebene zu lösen. Eine Annäherung des Blattes kann also als Hilfestellung für den Probanden unter Umständen empfehlenswert sein. Die benötigte Entkoppelung von Akkommodation und Vergenz steigt jedoch bei einer geringeren Entfernung, da der Akkommodationsaufwand proportional zum Kehrwert der Einstellentfernung ansteigt. Die nachfolgende Beispielsberechnung verdeutlicht dies noch einmal. Wird das Blatt in 20cm Entfernung gehalten, so ergibt sich für den Buchstaben A:

In Konvergenzstellung: $a_e = 10,91\text{cm}$

PRK = $25,0^{\text{cm}}/\text{m}$

bzw. NRA = $4,17\text{dpt}$

In Divergenzstellung: $a_e = 1\text{m}$

NRK = $24,0^{\text{cm}}/\text{m}$

bzw. PRA = $4,0\text{dpt}$

Durch das Verringern des Blattabstandes wird die Übung demnach für den Probanden nicht gerade einfacher. Es ist des Weiteren zu bedenken, dass die Abstände (Querdisparationen) der „doppelt“ gesehenen, aber nicht fusionierten Buchstaben ebenso größer werden. Hierdurch vermindert sich deren Fusionsanreiz und die Ausführung einer gleitenden Bewegung ist wesentlich schwerer.

Demnach ist es empfehlenswert, dass nach Erlernen des „Lösens“ von der Blattebene und der Fusion der „doppelt“ gesehenen Buchstaben so schnell wie möglich zu einer vergrößerten Blattdistanz übergegangen wird. Hierdurch steigt die Ortsfrequenz der Netzhautbilder und die Akkommodation bzw. Desakkommodation wird besser angeregt. Auch die Wahrnehmung der Peripherie und des SILO-Effektes gelingt bei schärferen Netzhautbildern leichter.

Je weiter das Blatt entfernt wird, desto größer wird der Fusionsreiz, welcher die Augen beim Betrachten der Blattebene festhält. Können die Augen sich jedoch von diesem Lösen und in eine andere Vergenzstellung übergehen, so wird der Fusionsreiz der „doppelt“ gesehenen Buchstaben ebenfalls größer und hilft damit, den Seheindruck der physiologischen Diplopie länger zu halten.

5.2.5 Geeignete Zielpersonen

Da es sich bei der A | A-Divergenz- und Konvergenz-Übung um eine Folgelektion der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung handelt, sind die Zielpersonen identisch. Aus diesem Grunde wird hier lediglich auf das Kapitel 5.1.5 verwiesen.

5.2.6 Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden

Bevor mit der A | A-Divergenz- und Konvergenz-Übung begonnen wird, ist es vorteilhaft, wenn der Proband die O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung beherrscht. Ansonsten gelten auch für die Durchführung der A | A-Divergenz- und Konvergenz-Übung die bereits bei der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung erwähnten Regeln.

5.2.7 Ziel der Übung

In der Divergenzstellung ist es das Ziel mit Hilfe der physiologischen Diplopie die Buchstaben A und B doppelt wahrzunehmen. In der Konvergenzstellung hingegen sollte dies mit allen Buchstaben geschehen.

Die A | A-Divergenz- und Konvergenz-Übung dient im Großen und Ganzen den bei der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung beschriebenen Zielen. Durch den erhöhten Schwierigkeitsgrad fördert sie jedoch folgende Funktionen verstärkt:

- Die Augen müssen durch den höheren orthopetalen Fusionsreiz, der durch die kleineren Buchstaben ausgelöst wird, unter einem wesentlich stärkeren willentlichen Bewusstsein in die entsprechende Divergenz- bzw. Konvergenzstellung gesteuert werden.
- Durch die verschiedenen Abstände der einzelnen Buchstabenpärchen ist eine jeweils andere Entkoppelung zwischen Akkommodation und Vergenz zum Doppelt- und Scharfsehen nötig. Die exakte Ausrichtung der Akkommodationsebene kann durch die gestiegenen Visusanforderungen aufgrund der Buchstabengröße hierbei wesentlich besser kontrolliert werden.
- Die Wahrnehmung der Netzhautbilder wird bewusster, da der Proband bei Blickbewegungen sogar zwischen den einzelnen Buchstaben den SILO-Effekt erneut erleben kann.

5.3 MacDonald

Die Übung mit der MacDonald Form Field card spricht hauptsächlich den vierten Kreis von Skeffington an. Man trainiert somit die Verarbeitung/ Wahrnehmung.

5.3.1 Benötigte Übungsutensilien

Zur Durchführung der Übung MacDonald benötigt man ein weißes DIN A4 Blatt mit der in Abbildung 104 vorgegebenen Darstellung.

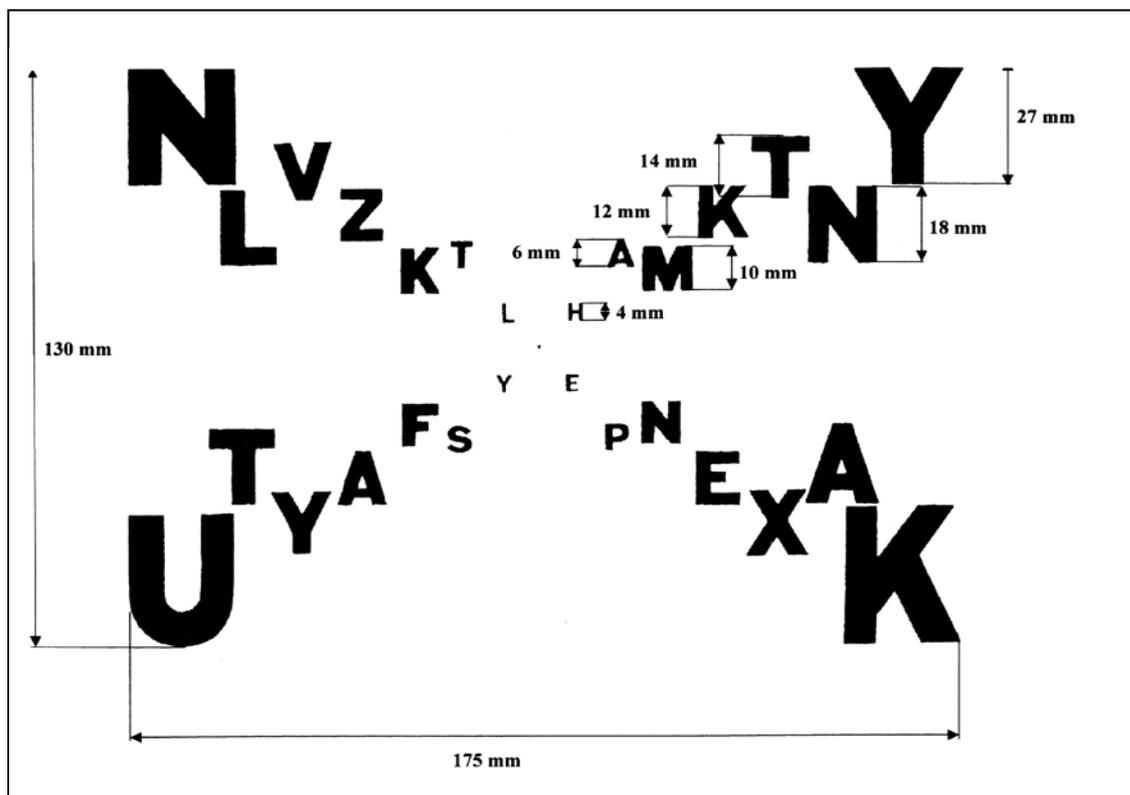


Abbildung 104: MacDonald Form Field card (MacDonalds 1962)³⁰²

5.3.2 Durchführung der Übung

Das Blatt wird zur Durchführung der Übung in 20cm Entfernung so gehalten, dass sich der Fixierpunkt im Zentrum des Blattes etwa auf Nasenhöhe mittig vor dem Körper des Probanden befindet. Während dieser nun binokular auf den Fixierpunkt

³⁰²Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.371

blickt, wird er aufgefordert, so viele Buchstaben wie möglich wahrzunehmen, ohne seine Augen zu bewegen. Dabei kann er kreisförmig von innen nach außen vorgehen oder diagonal versuchen, jede Reihe einzeln zu erkennen.

5.3.3 Angesprochene Funktionen und Hintergründe

Betrachtet man die Abbildung des Übungsblattes auf der Netzhaut, so ist zu erkennen, dass die Buchstaben weit über die 20° Zone hinaus abgebildet werden, aber die Visusanforderungen so gering sind, dass sie von einem Probanden mit uneingeschränktem Visus, gut zu lesen sein müssten (Abbildung 105).

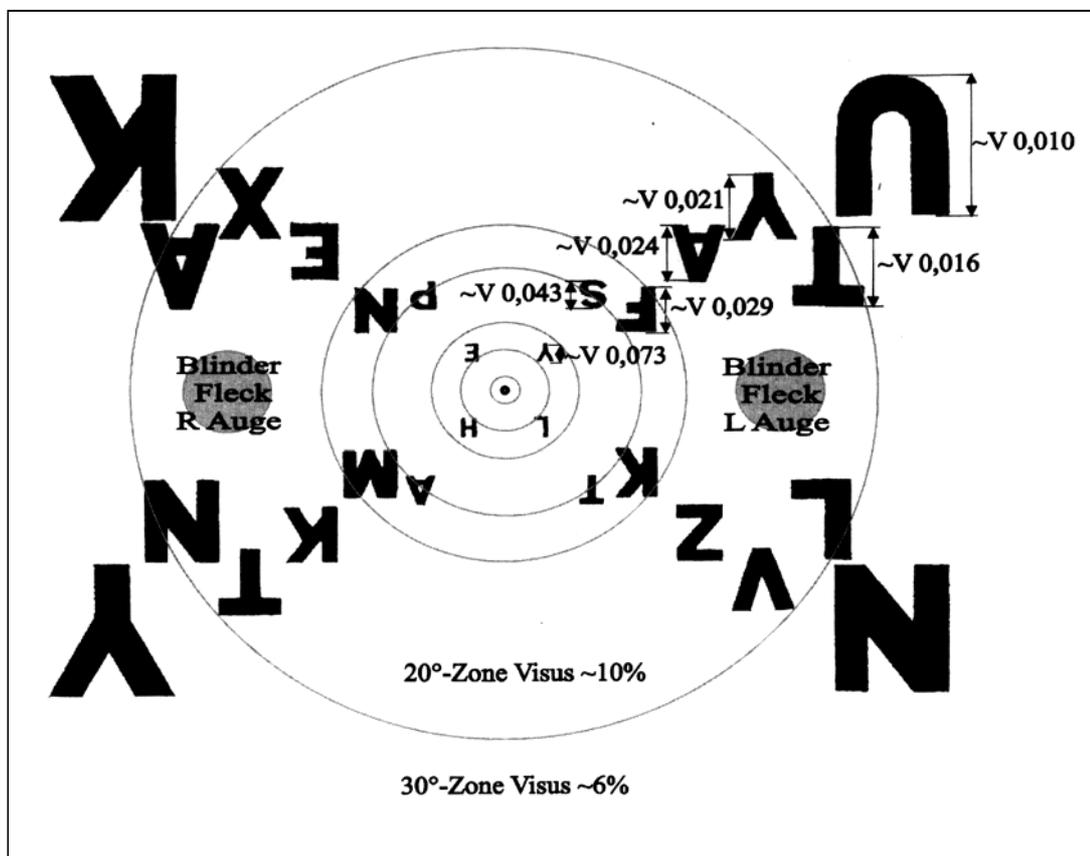


Abbildung 105: Zusammengefasstes Netzhautbild des rechten und linken Auges bei Blick auf die MacDonald Form Field card. Visusangaben entsprechen den geforderten Werten zum Erkennen der einzelnen Buchstaben. Kreise von innen nach außen:

- Foveola V~100%
- Fovea V~70%
- Makula V~45%
- Parafovea V~35%
- Perifovea
- 10°Zone V~20%
- 20°Zone V~10%
- 30°Zone V~6%

Die kleinsten Buchstaben des Blattes werden zwischen Makula und Parafovea abgebildet. Die Sehleistung ist hier aufgrund der Exzentrizität (Kapitel 3.11) auf ca. 40% reduziert. Der Proband benötigt zum Erkennen der Buchstaben im Zentrum des Blattes allerdings nur eine Sehleistung von ca. 0,073. Damit die Optotypen weiterhin über die Peripherie zu entziffern wären, erfordert es demnach lediglich eine zentrale Sehleistung von ca. 0,122.

Wird das Blatt in 20cm Entfernung gehalten, so muss ein Emmetroper oder vollkorrigierter Ametroper, um den vollen Visus zu erlangen, eine Akkommodation von 5dpt aufbringen. Wird hingegen weniger akkommodiert, so reduziert sich der Visus gemäß der Formel 9. Hierbei geht man davon aus, dass ein Buchstabe solange erkannt werden kann, bis der durch sphärische Fehleinstellung entstehende Unschärfekreis (vgl. Seite 178) ein viertel der Buchstabengröße überschreitet.

$$V_{\text{resultierend}} = V_{\text{max}} \times 0,25^{|D_{\text{Fehlsichtigkeit}}|}$$

Formel 9: Berechnung der Visuseinschränkung durch sphärische Fehleinstellungen

Ein Proband mit dem Visus 1,0 darf folglich, damit die zentrale Sehschärfe nicht unter 0,122 fällt, nur maximal 1,5dpt desakkommodieren und müsste somit mindestens auf ca. 28,5cm akkommodieren können, um weiterhin in der Lage zu sein, die Buchstaben zu entziffern. Alle anderen Buchstaben erfordern zum Erkennen vom Probanden eine geringere Leistung. Dies bedeutet, sie wären auch mit einer größeren Fehlsichtigkeit noch lesbar.

Nach Bonnac und Mur können Sehbehinderte einzelne Sehzeichen auch dann noch Erkennen, wenn der Unschärfekreis die halbe Buchstabengröße beträgt.³⁰³ Diese Annahme erscheint für Normalsichtige, die nicht trainiert sind, in der Auswertung unscharfer Netzhautbilder (blur-interpretation), sehr hoch. Jedoch verdeutlicht der Sachverhalt, dass die eben durchgeführte Berechnung nur einen ungefähren Anhaltspunkt bietet und die wahrscheinlich mögliche Desakkommodation noch wesentlich höher sein könnte.

³⁰³ Bonnac, J.-P., Mur, J.: Correction optique des amply1967, S.30

Da alle zu erkennenden Buchstaben außerhalb der Makula liegen, geht es bei der MacDonald Form Field-Übung um das Trainieren der peripher-retinalen Verarbeitung.

Die Wahl der Buchstabenlage im Zentrum des Blattes sowie der Blattabstand scheinen, nach heutigen Erkenntnissen zur physiologischen Verarbeitung der Netzhautstrukturen, unbegründet. Die Bestimmung der einzelnen Parameter scheint mit großer Wahrscheinlichkeit anatomisch getroffen worden zu sein. Beim vorgegebenen Blattabstand werden die kleinsten Buchstaben gerade außerhalb der Makula abgebildet. Durch den gut sichtbaren Makulawall, ist diese Größe schon immer gut bestimmbar gewesen.

Wie im Kapitel 2.2.4 bereits erwähnt, ist es vorteilhaft, wenn man in der Lage ist, Objekte über sein peripheres Sehen zu identifizieren. In verschiedenen Studien konnte man nachweisen, dass im peripheren Sehen geübte Personen weniger Fixationen benötigen, um Informationen aufzunehmen. Ungeübte Personen hingegen neigen häufiger dazu, Informationen nur zentral-foveal aufzuschnappen. Hierdurch benötigen sie eine größere Anzahl von Saccaden (Kapitel 2.2.2). Durch die mit jeder Saccade verbundene kurze Unterdrückung des Seheindrucks bleibt für eine ungeübte Person folglich weniger Zeit für die Verarbeitung und/oder für die Informationsaufnahme. Das Sehen ist somit ineffektiver und die Leistungsfähigkeit wird eingeschränkt.

Viele Probanden werden feststellen, dass sie umso mehr Buchstaben erkennen können, je weniger sie sich direkt darauf konzentrieren. Der Proband soll bewusst zwischen einem konzentriertem und einem eher passiven entspannten Blick unterscheiden lernen. Diese Übung hilft dem Probanden, somit ein Gefühl des Hindurchblickens („phase through“) und der Weite („space out“) zu entwickeln.³⁰⁴ Zum Demonstrieren können dem Probanden zu Beginn der Übung binokular schwache Plusgläser vorgehalten werden, diese vergrößern in der Regel das periphere Bewusstsein.

³⁰⁴ Press, L. Applied concepts in vision therapy, 1997, S.303f

Plusgläser haben nach L. Press die Eigenschaft, die Belastung des tonischen Systems zu reduzieren.³⁰⁵ Birnbaum beschreibt, dass Plusgläser ebenso einen positiven Effekt auf die Haltung bei der Naharbeit, sowie den eingenommenen Arbeitsabstand haben. Er begründet dies zum einen durch den geometrisch optischen Effekt, denn das wahrgenommene Bild, welches vom Plusglas erzeugt wird, liegt für den Betrachter weiter entfernt. Zum anderen führt er dies auf einen physikalisch optischen Effekt zurück. Plusgläser haben hierbei die Eigenschaft die Lichtverteilung auf der Netzhaut zu vergrößern. Hierdurch wird die Anzahl der Photonen, die auf eine bestimmte Fläche treffen, geringer und die unterschiedliche Höhe des Energiegradienten innerhalb der einzelnen Netzhautareale glättet sich.³⁰⁶

Vermutlich werden deshalb eher die magnozellulären Schichten im seitlichen Kniehöcker (*corpus geniculatum laterale*) angesprochen als die parvozellulären Schichten. Dies hätte aufgrund der stärkeren Förderung des phasischen Systems eine Veränderung des phasisch-tonischen Systems zur Folge. Ein ausgewogenes phasisch-tonisches System sorgt z.B. beim Lesen dafür, dass Ausschnitte zur Betrachtung angemessen lang gehalten werden (tonisches System) und dass man im nächsten Moment ebenfalls in der Lage ist, die Fixierung zu lösen und zum nächsten Wort weiterzugehen (phasisches System). Eine Aktivierung des phasischen Systems lenkt damit mehr Aufmerksamkeit auf die Peripherie.

Dieses Thema ist jedoch sehr komplex und kann im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht weiter vertieft werden.

Das bei der Übung erzeugte Gefühl ist ähnlich dem einer Basis innen Übung oder den dreidimensionalen „Magic-Eye“ Random Dot Stereogrammen.³⁰⁷ Hierbei wird die Akkommodation von der Blattebene gelöst und die entstehende Unschärfe ermöglicht dem Probanden seine Vergenzstellung zu verringern und eine negative relative Konvergenz (Divergenz) auszuführen. Die Fusion wird dann mit Hilfe weiter außen liegender peripherer Fusionsreize erhalten. Der Proband soll so lernen seine Konzentration von Details der Blattebene zu lösen und weniger zentriert zu schauen.

³⁰⁵ Press, L. Applied concepts in vision therapy, 1997, S.303f

³⁰⁶ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.193f.

³⁰⁷ Press, L., Applied concepts in vision therapy, 1997, S.303f

Durch die willentliche Bereitschaft zur Informationsaufnahme, kann der Proband die Sensitivität peripherer Netzhautareale erhöhen. Er erlernt, die ankommenden unscharfen Bilder besser zu interpretieren (blur-interpretation) und somit seine Leistungsfähigkeit zu erhöhen.

5.3.4 Wichtige Größen und Distanzen

Je weiter das Blatt vom Probanden entfernt gehalten wird, desto kleiner wird die Abbildung auf der Netzhaut und die Buchstaben werden auf zentralere Bereiche projiziert. Durch die Verkleinerung steigen zwar die Visusanforderungen der Buchstaben an, doch ist dies aufgrund der höheren zentralen Auflösung der Netzhaut unproblematisch. Das zu überblickende periphere Feld wird durch die Vergrößerung des Blattabstandes kleiner und somit ist es für den Probanden leichter, die umliegenden Buchstaben zu erkennen. Schon ein Blattabstand von 25cm statt 20cm hat zur Folge, dass alle Buchstaben nur noch innerhalb der 20°-Zone abgebildet werden. Bei 40cm Abstand wird sogar lediglich die Netzhaut in einem Radius von 12° stimuliert.

Allerdings kommt es auch bei einer Entfernung von 40cm noch nicht dazu, dass einer der Buchstaben in die Fovea abgebildet wird. Der Proband fördert demzufolge zwar im geringeren Maße, aber immer noch ausschließlich, seine peripher-retinale Verarbeitung.

5.3.5 Geeignete Zielpersonen

Die Erweiterung der peripher-retinalen Verarbeitung ist, wie die Fähigkeit zur zentral-fovealen Verarbeitung, für alle Personen von großer Bedeutung. Durch sie sind wir in der Lage, Dinge oder Situationen besser zu überblicken, ohne dass eine genaue Ausrichtung und Scharfstellung auf jedes Detail erfolgen muss. Das Sehen wird komfortabler, da für die Aufnahme der Informationen durch die geringere Anzahl der Saccaden mehr Zeit bleibt.

In der heutigen industriellen Zeit jedoch kommt es verstärkt auf das Betrachten von Details an. Hat der Proband Probleme bei der Differenzierung von „Vorder- und

Hintergrund“ (Stimulus und Background), so kann für ihn die peripher-retinale Verarbeitung sogar hinderlich und auch störend sein. Um diesem Problem zu entfliehen, neigen einige Personen dazu dichter an die Details heranzugehen. Durch diese Annäherung verschwinden einige Störquellen aus dem Gesichtsfeld der Person, und das zu betrachtende Detail nimmt auf der Netzhaut ein größeres Areal ein. Hiermit ist es nun wesentlich einfacher, eine exakte Ausrichtung der Konzentration vorzunehmen. Die andere Möglichkeit für die betroffene Person besteht in einer Unterdrückung der peripher-retinalen Verarbeitung. Kommen keine oder nur abgeschwächte Informationen über die Peripherie an, so sind diese für die Person ebenfalls leichter zu ignorieren.

Die Übung ist demzufolge geeignet für Personen, die Defizite haben mit der „Verarbeitungsfähigkeit visueller Informationen“ (visual analysis skills). Diese Leute sind meist sehr detailorientiert und haben besonders in Bezug auf das Erkennen von „Vorder- und Hintergrund“ (figure ground skills; Kapitel 2.5.2) Probleme.

Des Weiteren ist die MacDonald-Übung zweckdienlich für Personen mit Myopie oder Eso-Phorie in der Nähe.³⁰⁸ Sie lernen durch die Übung Objekte entspannter und weniger konzentriert zu betrachten, was zu einer Divergenzbewegung der Augen führt.

Wird die Übung ohne Vollkorrektur durchgeführt, so ist sie für einen Myopen leichter und für einen Hyperopen schwerer, denn je geringer die Anspannung der Akkommodation ist, desto größer ist, wie bereits zuvor erwähnt, bei den meisten Personen das periphere Bewusstsein.

5.3.6 Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden

Bei dieser Übung ist es wichtig, dass der Proband ständig den zentralen Punkt fixiert und nicht mit seinen Augen auf dem Blatt entlang wandert. Deshalb sollte eine Kontrollperson zu Beginn der Übung die Augen des Probanden überwachen. Hat der Proband Schwierigkeiten, seine Augen zu kontrollieren, so sollte er den

³⁰⁸ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.371

zentralen Fixierpunkt ausschneiden und hinter dem Blatt einen Spiegel befestigen. Verliert er das Spiegelbild seiner Augen, so bekommt er gleich das Feedback, dass er den zentralen Fixierpunkt verlassen hat.

Um die Entspannung zu fördern, ist es dienlich, auf die Atmung des Probanden zu achten. Sie sollte möglichst während der Durchführung der Übung gleichmäßig und ruhig sein.

5.3.7 Ziel der Übung

Die Ziele dieser Übung sind:

- Der Proband soll ein Gefühl der Weite („space out“) und des Hindurchblickens („phase through“) entwickeln.
- Er soll lernen, negative fusionale Vergenz aufzubringen, indem er seine Aufmerksamkeit von der Blattebene löst und versucht durch das Blatt zu sehen.
- Mit der Übung fördert der Proband seine peripher-retinale statt zentral-foveale Verarbeitung. Wichtig ist jedoch, dass er in einem weiteren Training ebenfalls lernt, sich auf einen Stimulus (zentral-foveale Verarbeitung) zu konzentrieren.
- Durch die willentliche Bereitschaft des Probanden zur Reizaufnahme kann und soll er die Sensitivität der peripheren Netzhautareale erhöhen.
- Er regt die Interpretation unscharfer Bilder (blur-interpretation) an, die der Orientierung und der Informationsaufnahme dienen können.
- Durch eine wesentlich geringere Aufmerksamkeit und Konzentration soll der Proband lernen, dass die Umgebung bewusster wahrgenommen werden kann. Dieses Bewusstsein soll dann in die tägliche Sehsituation übertragen werden. Hierdurch reduziert der Proband die durch den Stress induzierten Veränderungen.³⁰⁹

³⁰⁹ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.370

5.4 Brock-Schnur

Die Brock-Schnur-Übung zählt in erster Linie zu den Vergenz-Übungen und dient deshalb, zum Ansprechen des zweiten Kreises von Skeffington (Kapitel 2.1). Mit der Übung kann begonnen werden, sobald der Proband in einer Entfernung binokulares Sehen erlangt hat.

5.4.1 Benötigte Übungsutensilien

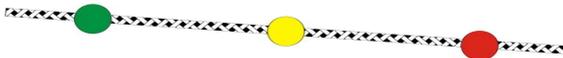


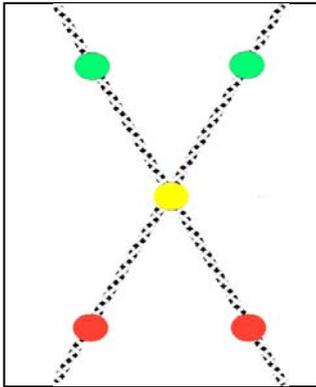
Abbildung 106: Brock-Schnur

Die Brock-Schnur (Abbildung 106) gibt es in zwei verschiedenen langen Ausführungen (50cm und 3m). An jeder Schnur befinden sich drei Holzperlen, die einen Durchmesser von ca. 1cm besitzen. Die Perlen haben die Farben rot, gelb und grün und sind allesamt variabel entlang der Schnur verschiebbar.

5.4.2 Durchführung der Übung

Die Brock-Schnur-Übung beginnt man in der Regel zuerst mit der kurzen Schnur (50cm). Zur Durchführung befestigt der Proband das Ende der Schnur mit der grünen Kugel z.B. an einem Türgriff. Das andere Ende mit der roten Kugel hält er sich nun so unter die Nase, dass die Schnur gespannt ist. Der Abstand von der Nase des Probanden zur roten Kugel sollte ca. 10cm, zur gelben ca. 25cm und zur grünen ca. 45cm betragen.

Fixiert der Proband die mittlere, gelbe Kugel, so kann er die Schnur als X und die anderen beiden Kugeln (grün und rot) doppelt wahrnehmen, wenn keine Suppression oder teilweise Hemmung eines Seheindrucks auftritt (Abbildung 107).



Da die Kreuzung der Schnur den Schnittpunkt der Fixierlinien beider Augen widerspiegelt, sollte sie sich die Schnur genau dort schneiden, wo der Proband gerade hinblickt.

Abbildung 107: Optimale Wahrnehmung - Kreuzung der Schnüre liegt in der angeblickten Kugel.

Das bedeutet: Blickt der Proband die mittlere Kugel an, so sollte sich die Kreuzung genau in dieser Kugel befinden. Die Übung sollte in einer Entfernung begonnen werden, in welcher dem Probanden die Fusion der Bilder beider Augen leicht fällt. Esophore (Kapitel 3.15) beginnen also eher mit der zu ihnen dichter gelegenen roten Kugel. Exophore (Kapitel 3.16) mit der grünen, da sie am weitesten entfernt liegt und den geringsten Konvergenzaufwand verlangt.

Es kann einen Moment dauern, bis der Proband den gewünschten Seheindruck wahrnimmt. Hat der Proband Schwierigkeiten bei der Wahrnehmung, so ist es wichtig, den Probanden darauf hinzuweisen, welchen Sinneseindruck man erwartet. Häufig wird bei älteren und sehr analytisch denkenden Personen die Wahrnehmung der physiologischen Diplopie unterdrückt. Durch ihr Wissen, dass sich nur eine Schnur mit drei Kugeln vor ihnen befindet, lassen sie die Wahrnehmung von zwei Schnüren und entsprechend vielen Kugeln nicht zu. Der Seheindruck eines Auges wird deshalb komplett durch das kognitive System unterdrückt.

Kann der Proband die gewünschte Wahrnehmung nicht erlangen, so kann versucht werden, die Suppression z.B. mittels alternierender Cover Technik zu lösen. Durch das Springen der wahrgenommenen Bilder beim abwechselnden Zudecken, wird die Weiterleitung des Netzhautbildes des jeweiligen Auges gefördert. Gleichzeitig nimmt der Proband beim Wechsel des Covers ein Springen der Schnur wahr, wodurch ihm die unterschiedlichen Wahrnehmungen des rechten und linken Auges noch einmal bewusst gemacht werden. Auch die Anwendung einer Rot-Grün Brille oder einer abgewandelten Übungsdistanz, durch welche die Seheindrücke der

beiden Augen verändert werden, kann erfolgversprechend sein. Ebenfalls sorgt eine geringere Anzahl an Kugeln zu Beginn für weniger Verwirrung, da der Proband nicht so viele Details beobachten muss.

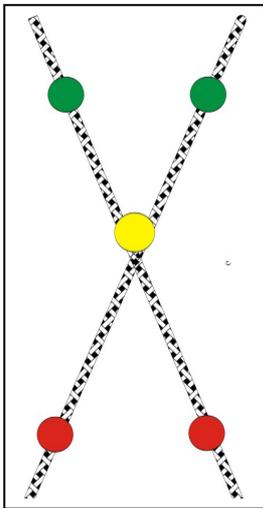


Abbildung 108:
Kreuzung der Schnüre
hinter der angeblickten
Kugel

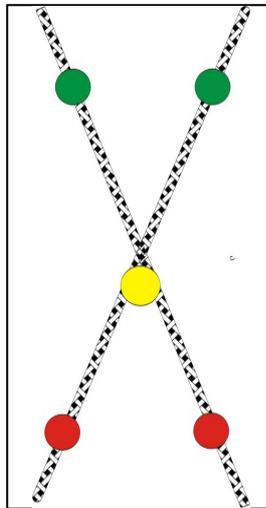


Abbildung 109:
Kreuzung der Schnüre
vor der angeblickten
Kugel

Gelingt es dem Probanden die Schnur als X wahrzunehmen, so kann es jedoch möglich sein, dass die Kreuzung der Schnur nicht in der angeblickten Kugel gesehen wird. In diesem Fall kann sie sich entweder dahinter wie in Abbildung 108 bzw. davor wie in Abbildung 109 befinden.

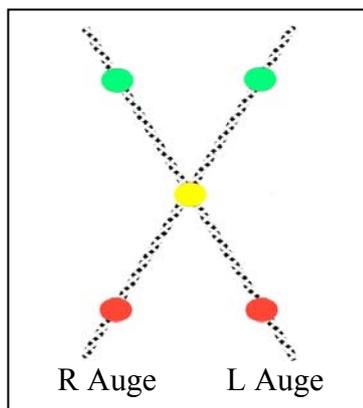
Dem Probanden muss nun verdeutlicht werden, dass dieser gar nicht auf die Kugel blickt, sondern in Wirklichkeit dorthin, wo sich die beiden Schnüre treffen. Liegt die Kreuzung davor, so wird der Proband aufgefordert, die Kugel weniger konzentriert anzublicken und seinen Blick eher etwas zu lösen. Befindet sich die Kreuzung hingegen dahinter, so muss der Proband die Spannung erhöhen und versuchen noch mehr Details der Kugel zu erkennen. Schafft es der Proband die Kreuzung in die angeblickte Kugel zu legen, so soll er damit beginnen, seine Konzentration auf die periphere Wahrnehmung zu lenken. Fehlen Teile der Wahrnehmung, so können diese eventuell durch Verlagerung der Aufmerksamkeit auf diese Bereiche dem Probanden sichtbar werden.

Im nächsten Schritt spielt der Proband mit seinen Fähigkeiten. Er kann z.B. versuchen, diese Wahrnehmung beizubehalten, während er das hintere Ende der Schnur kreisend bewegt. Ein weiteres Ziel ist es, die Kreuzung bewusst zwischen den Kugeln entlang wandern zu lassen oder während der Ausübung von Sprungbewegungen die Kreuzung so schnell wie möglich in die angeblickte Kugel zu legen.

Im letzten Schritt der Übung werden die Kugeln an das hintere Ende der Schnur geschoben oder ganz von ihr entfernt. Der Proband erhält nun den Auftrag, ebenfalls mit den Augen auf der Schnur entlang zu gleiten und die Kreuzung dabei zu verschieben. Die Augenbewegungen sollten hierbei möglichst langsam und gleitend vonstatten gehen. Im Amerikanischen nennt man diesen Teil der Übung „Bug On String“.³¹⁰

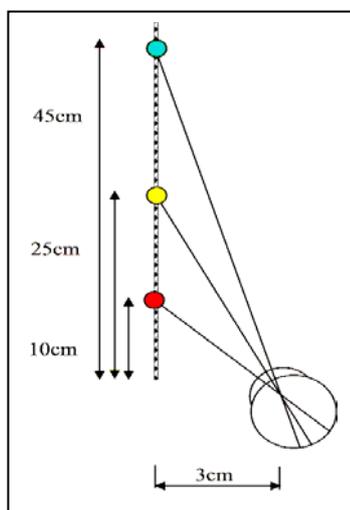
5.4.3 Angesprochene Funktionen und Hintergründe

Die Ursache für die Wahrnehmung zweier Schnüre und entsprechend vieler Kugeln liegt in der physiologischen Diplopie (Kapitel 3.10) begründet. Alle Objekte außerhalb des Panumraumes können nicht mehr fusioniert werden. Tritt weder „Bahnung“ noch „Hemmung“ eines Seheindrucks auf, so werden diese doppelt gesehen.



Infolgedessen sieht das rechte Auge die Schnur von links vorne nach rechts hinten laufen und das linke Auge entsprechend eine Schnur von rechts vorne nach links hinten (Abbildung 110).

Abbildung 110: Wahrnehmung durch physiologische Diplopie und Fusion der mittleren Kugel



Um die bei der Übung entstehenden Netzhautbilder nachempfinden zu können, wurde von einer Anordnung, wie in Abbildung 111 dargestellt, ausgegangen. Der Proband mit einem symmetrischen Pupillenabstand blickt zuerst auf die am dichtesten gelegene rote Kugel.

Abbildung 111: Anordnung der Kugeln zur Berechnung der Netzhautbilder

³¹⁰ Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Management of Binocular Vision, Philadelphia 1994, S.190

Schon bei dieser vereinfachten Abbildung ist ersichtlich, dass es aufgrund der verschiedenen Knotenpunktswinkel zwischen den Kugeln, zu unterschiedlichen Abständen der Kugeln auf der Netzhaut kommen wird.

Zur genauen Lagebestimmung der Kugeln und der Schnur, muss allerdings nicht nur die durch den Pupillenabstand entstandene seitliche (horizontale) Abweichung berücksichtigt werden, sondern ebenfalls die durch die Nasenhöhe entstandene Höhenabweichung (vertikal). Der nachfolgenden Berechnung wurde deshalb eine Höhendifferenz von 4cm zugrunde gelegt.

Blickt der Proband mit dem rechten Auge auf die rote Kugel, so nimmt er sowohl die gelbe als auch die grüne Kugel nicht nur weiter hinten wahr, sondern gleichzeitig auch nach oben und nach rechts verschoben. Möchte man die exakte Lage der Kugeln bestimmen, so kann dies, wie in Abbildung 112 angedeutet, über je drei Winkel geschehen. Hierzu vernachlässigt man zunächst einmal die Unschärfe, welche durch die unterschiedlichen Entfernungen zur Einstellebenen der Akkommodation entsteht. Durch Verschieben, der in den Raum projizierten Netzhautmeridiane entlang der Fixierlinie, kann die genaue Position der Kugel auf der Netzhaut schon angedeutet werden.

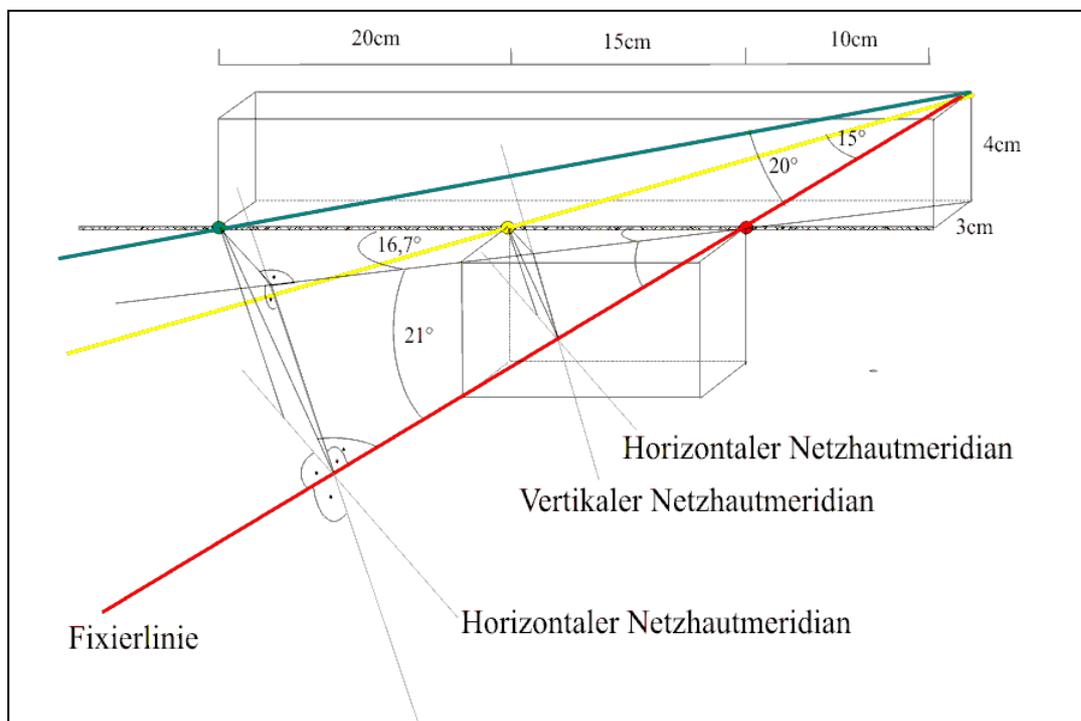


Abbildung 112: graphische Darstellung der zur Berechnung notwendigen Strecken und Winkel beim Blick auf die rote Kugel

Blickt der Proband im nächsten Schritt auf die gelbe Kugel, so wird wie in Abbildung 113 deutlich, dass die rote Kugel nun vom Betrachter im Bezug auf die gelbe Kugel sowohl weiter vorne, als auch unten links - die Grüne hingegen hinten und oben rechts - wahrgenommen wird.

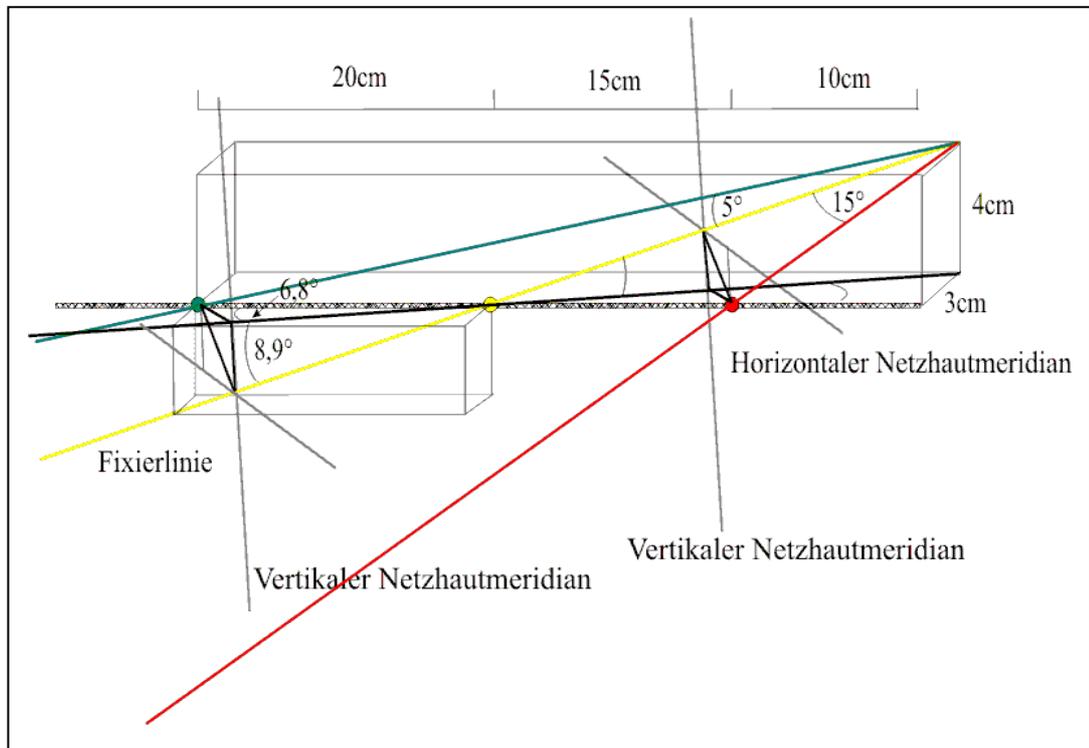


Abbildung 113: graphische Darstellung der zur Berechnung notwendigen Strecken und Winkel beim Blick auf die gelbe Kugel

Sieht der Proband auf die grüne Kugel, so liegen entsprechend den vorherigen Abbildungen, die rote und gelbe Kugel dann weiter vorn und unten links.

Wie bereits angedeutet, entsteht durch die unterschiedlichen Abstände der Objekte zu der Einstellebene der Akkommodation, ein unscharfes Netzhautbild. Möchte man das Netzhautbild während der Ausführung der Brock-Schnur-Übung genau bestimmen, so darf dieser um jedes Objekt entstehende Unschärfekreis nicht vernachlässigt werden. Die Berechnung des Unschärfekreises ist abhängig von der Pupillengröße des Probanden. Je größer die Pupille, desto mehr macht sich eine Defokussierung bemerkbar. Für die weitere Beispielrechnung wurde zu diesem Zweck eine Pupillengröße von 4mm angenommen.

Abbildung 114 demonstriert den zur Berechnung des Unschärfekreises zugrunde gelegten Gedanken. Akkommodiert der Proband auf die Objektebene weiter hinten, so wird die Größe des ins Auge gelangenden Lichtbündels durch die Pupillengröße (Eintrittspupille EP) bestimmt. Die Strahlen eines Lichtbündels, welche von einem Objektpunkt dieser Ebene ausgehen, schneiden sich bei exakter Akkommodation auf der Netzhaut. Objekte vor oder hinter der Einstellebene der Akkommodation werden erfahrungsgemäß unscharf abgebildet.

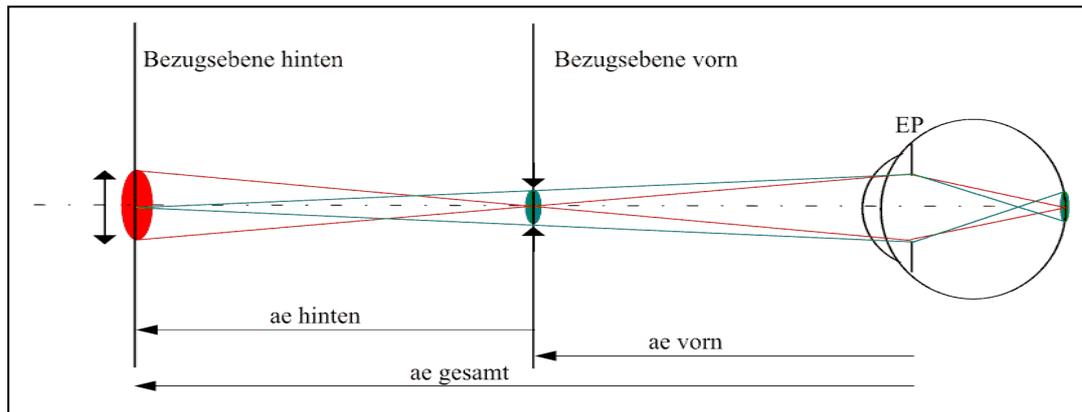


Abbildung 114: Modell zur Berechnung des Unschärfekreises

Die Größe des Unschärfekreises von Objekten hinter der angeblickten Ebene kann mit Hilfe der Randstrahlen des von ihm ausgehenden Strahlenbündels in der Bezugsebene vorn bestimmt werden. Hierbei berechnet sich der Unschärfekreisdurchmesser wie folgt:

$$\varnothing_{\text{Unschärfekreis}} = \frac{|a_{e,\text{gesamt}}| - |a_{e,\text{vorn}}|}{a_{e,\text{gesamt}}} \times \varnothing_{\text{EP}}$$

Formel 10: Berechnung des Unschärfekreises von Objekten hinter der Einstellebene

Die Größe des Unschärfekreises plus den eigentlichen Sehwinkel ergibt die Bildgröße des unscharfen Bildes auf der Netzhaut.

Bei der Berechnung der Bildgröße von unscharfen Objekten vor der angeblickten Ebene, müssen die Randstrahlen des von ihm ausgehenden Lichtbündels, nach hinten bis auf die Bezugsebene verlängert werden. Hierdurch erhält man die Größe des Unschärfekreisdurchmessers, welcher zu der für diese Entfernung entsprechenden Bildgröße hinzu gerechnet werden muss.³¹¹

³¹¹ Reinhard, M.: Lesbarkeit defokussierter Schrift, Diplomarbeit TFH Berlin 1999, S. 16-19

$$\varnothing_{\text{Unschärfekreis}} = \frac{|a_{e\text{gesamt}}| - |a_{e\text{vorn}}|}{a_{e\text{vorn}}} \times \varnothing_{\text{EP}}$$

**Formel 11: Berechnung
des Unschärfekreises von
Objekten vor der
Einstellebene**

Fasst man die entstehenden Netzhautbilder des rechten und des linken Auges auf einer schematischen Netzhaut zusammen, so ergibt sich auf der Grundlage der eben bereits aufgeführten Rechenschritte beim Blick auf die rote Kugel, das in Abbildung 115 dargestellte Netzhautbild. Die entstehende Größe des Unschärfebereiches im Verhältnis zum eigentlichen scharfen Netzhautbild ist durch die helleren Bereiche angedeutet. Die Unschärfe wächst mit zunehmendem Abstand von der roten Kugel an. Dies bedeutet allerdings nicht zwingend, dass die Größe des Netzhautbildes insgesamt (Unschärfekreis + eigentliches Netzhautbildgröße) sich ändern muss. In Abbildung 115 bleibt aus diesem Grunde die Fläche der Schnur hinter der roten Kugel annähernd gleich. Davor jedoch nimmt sowohl das Netzhautbild der Schnur aufgrund von Annäherung als auch die Unschärfe bedingt durch Defokussierung zu. Somit verläuft die gesamte Fläche des Netzhautbildes vor der roten Kugel divergent.

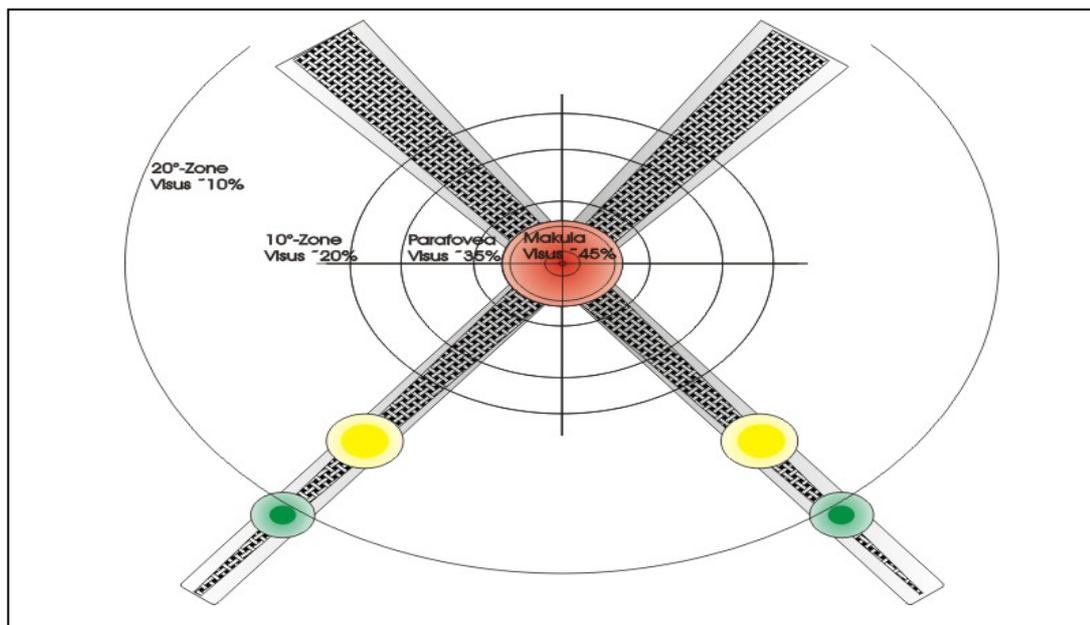


Abbildung 115: schematisches Netzhautbild des rechten und linken Auges zusammengefasst beim Blick auf die vordere rote Kugel

Das Netzhautbild der roten Kugel bei direkter Betrachtung bedeckt aufgrund des geringeren Abstandes den kompletten makulären Bereich. Die Hell-Dunkel-Kante

der roten Kugel würde demnach bei zentraler Fixation einen „peripheren“ Fusionsreiz auslösen, da ihr Netzhautbild den stäbchenfreien Bereich überdeckt (Kapitel 2.4.3). Der entstehende Akkommodationsanreiz nimmt im Verhältnis zum Fusionsreiz durch die exzentrische Lage der Kante, wie vermutet, noch wesentlich stärker ab. Je größer der von der Kugel abgedeckte Bereich ist, desto flexibler wird folglich das visuelle System. Dieser Effekt ist bei der Brock-Schnur-Übung eher unerwünscht, denn der Proband soll eine exakte Ausrichtung seiner Augen in jeder beliebigen Entfernung überprüfen können. Damit die Auswirkungen dieses Phänomens so gering wie möglich gehalten werden, sind die Anordnungen der Kugel absichtlich so gewählt, dass die rote Kugel dem Probanden am nächsten liegt. Die Farbe rot ist eine Signalfarbe und regt den Identifizierungsprozess (dritter Kreis von Skeffington; Kapitel 2.1) besonders an. Somit liefert die rote Kugel den größten Akkommodationsanreiz und schränkt damit die Flexibilität des visuellen Systems gegenüber den anderen Kugeln etwas stärker ein. Falls es trotzdem zur Wahrnehmung der Kreuzung hinter der Kugel kommt, können zusätzlich kleine Symbole auf die Kugel gemalt werden. Diese erhöhen dann sowohl Akkommodationsanreiz als auch den Fusionszwang.

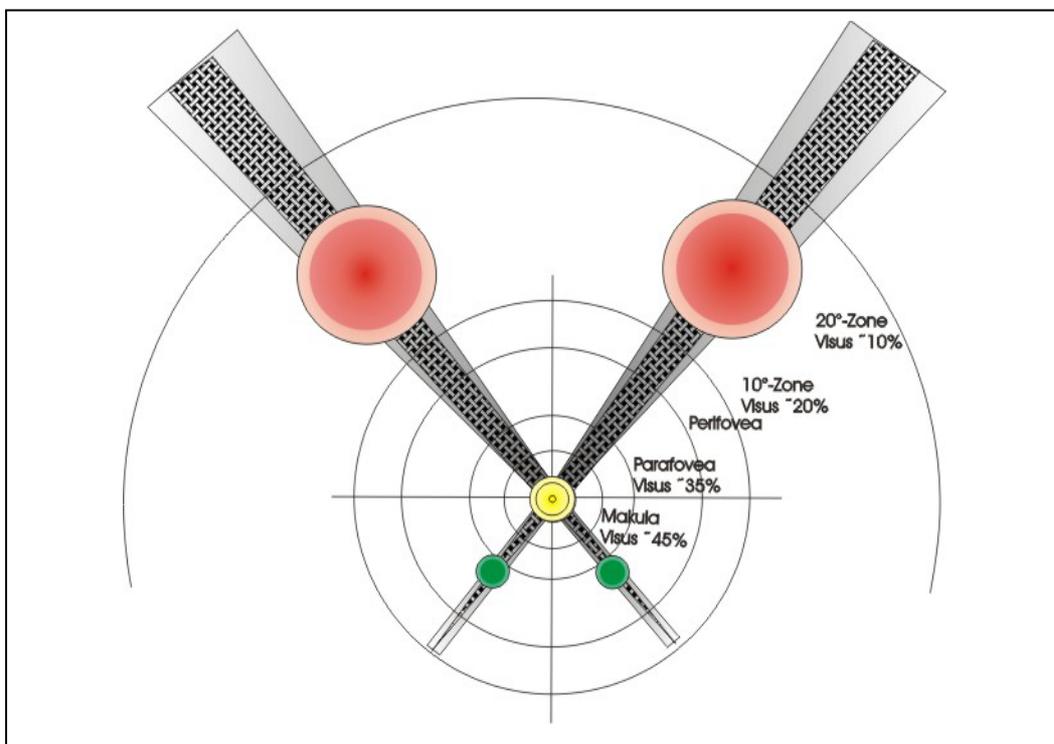


Abbildung 116: schematisches Netzhautbild des rechten und linken Auges zusammengefasst beim Blick auf die mittlere gelbe Kugel

Die Netzhautbildgröße der fixierten Kugel wird mit zunehmendem Abstand geringer. So überdeckt die gelbe Kugel lediglich noch das foveale Netzhautareal und löst, da das Bild nicht über den stäbchenfreien Bereich hinausreicht, einen „parazentralen“ Fusionsreiz aus (Abbildung 116).

Blickt der Proband zuletzt auf die grüne Kugel, ist das Bild von ihr schon so klein, dass es innerhalb der Fovea abgebildet wird. Das Netzhautbild der davor liegenden Schnur und der Kugeln bedecken aufgrund der Annäherung und der zunehmenden Unschärfe nun verhältnismäßig größere Netzhautareale (Abbildung 117).

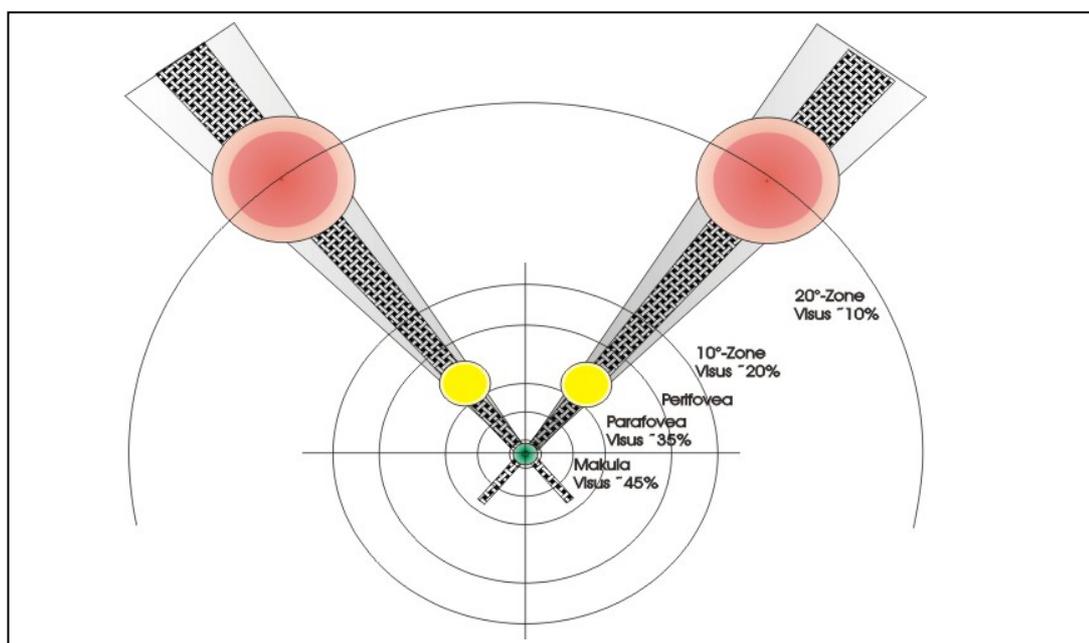


Abbildung 117: schematisches Netzhautbild des rechten und linken Auges zusammengefasst beim Blick auf die hintere grüne Kugel

Auf allen drei Bildern ist zu sehen, dass, während der Durchführung der Brock-Schnur-Übung mit der kurzen Schnur, Netzhautareale bis über die $\pm 20^\circ$ -Zone angesprochen werden. Damit fördert die Übung des Weiteren neben der zentral-fovealen auch die peripher-retinale Verarbeitung.

Zur Wahrnehmung der peripher gelegenen Kugeln ist der Proband gefordert, seine visuelle Aufmerksamkeit (visual attention; Kapitel 2.5.2) auf die Peripherie auszurichten, während er jedoch das zentrale Ziel weiterhin fixiert. Dies fördert eine

ausgeglichene Verarbeitung von zentralen und peripheren Reizen und schafft eine bessere räumliche Organisation (central-peripheral organisation).³¹²

Durch die Wahrnehmung der physiologischen Diplopie entsteht eine Art Biofeedback-Schleife (Kapitel 3.3), welche hauptsächlich für den Trainingserfolg der Brock-Schnur verantwortlich ist. Der Proband erhält durch den Verlauf der Schnüre Informationen über die normalerweise unwillkürlich ablaufende Ausrichtung seiner Augen und kann eventuell fehlerhafte Ausrichtungen bewusst korrigieren, indem er die Kugeln mit höherer oder geringerer Aufmerksamkeit/Anspannung betrachtet. Die Brock-Schnur bietet dem Probanden des Weiteren die Möglichkeit des Trainings im freien Raum. Es werden durch sie keine künstlichen Bedingungen geschaffen wie durch technische Geräte, und die erzielten Lerneffekte können aufgrund dessen schneller in das alltägliche Leben integriert werden.

Auf dem Prinzip der Biofeedback-Schleife basiert auch der Abbau von gehemmten Arealen. Dem Probanden ist bekannt, wie im Optimalfall die Wahrnehmung aussehen sollte. Fehlen nun Bruchstücke in dem wahrgenommenen Seheindruck, so kann der Proband seine Aufmerksamkeit bewusst auf diese Areale lenken und somit die Weiterleitung des eigentlich vorhandenen Bildes erzwingen. Ist eine Schnur schwächer zu sehen, weist dies auf eine ungleichwertige Reizaufnahme und/oder Verarbeitung der Seheindrücke des rechten und des linken Auges im Binokularsehen hin. Da jedes Auge eine Schur sieht, kann anhand einer ungleichmäßigen Wahrnehmung sofort ermittelt werden, um welches Auge es sich handelt. Ist z.B. die Schnur von rechts vorne nach links hinten schlechter zu sehen, so handelt es sich um das linke Auge (Abbildung 110). Für unterschiedliche Seheindrücke kann es mehrere Gründe geben. Zum einen kann eine Visusdifferenz der beiden Augen vorliegen, so dass die Informationen eines Auges ungenauer und abgeschwächt vermittelt werden. Zum anderen kann ein gestörter binokularer Wettstreit zu einem binokularen Ungleichgewicht führen (Kapitel 2.6.3).

³¹² Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.362f.

Häufig werden jedoch nur Teile einer Schnur bruchstückhaft oder gar nicht gesehen, wie in Abbildung 118 dargestellt. In diesen Fällen liegt ein Reizaufnahme-/Verarbeitungsfehler innerhalb eines bestimmten Areals der Netzhaut vor.

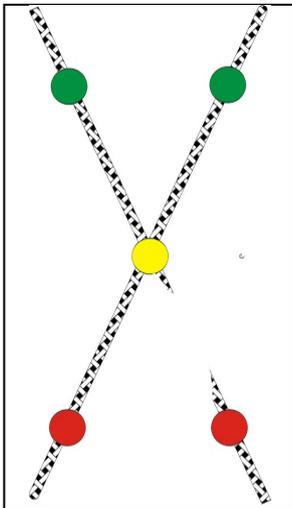


Abbildung 118: Beispiel einer vermutlich gehemmten Wahrnehmung

Führt man diesen Gedanken weiter, so stellt sich die Frage, ob es möglich ist, anhand des fehlerhaften Teiles der Wahrnehmung auf die Lage des gehemmten Areals und die damit vielleicht verbundene Phorie (Kapitel 3.12) zurück zu schließen.

Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, geht man zuerst von folgender Annahme aus. Der Betrachter der Schnur habe eine junge Eso-Fixationsdisparation FD I (Kapitel 3.20) von $2^{\text{cm}}/\text{m}$ am rechten Auge (Abbildung 119).

Blickt der Proband binokular auf die gelbe Kugel, so wird diese, wenn es sich um eine nicht anspruchsvolle Sehaufgabe handelt, im rechten Auge auf das disparate Fusionszentrum und im linken Auge zentral abgebildet. Aufgrund des zentralen Hemmungsareals und der erfüllten objektiven Fusionsbedingung, wird es zu einer Fusion der Kugel kommen.

Der Verlauf der Schnur von vorn nach hinten wird auf der Netzhaut des rechten Auges entsprechend von rechts oben nach links unten abgebildet. Im linken Auge verläuft die Schnur hingegen auf der Netzhaut von links oben nach rechts unten. Da die Richtungswerte bei einer FD I noch nicht umgeschaltet sind und keine objektive

Fusionsbedingung erfüllt ist, haben die korrespondierenden Netzhautstellen des Schnurbildes im abweichenden Auge noch die alten Richtungswerte. In Abbildung 119 sind die korrespondierenden Netzhautstellen zu den Netzhautbildern des linken Auges hellgrau angedeutet.

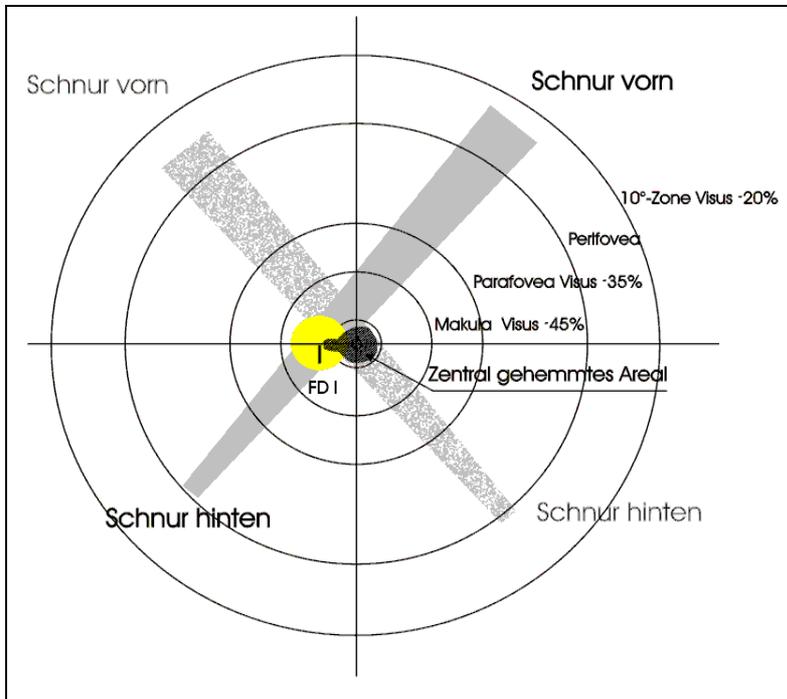


Abbildung 119:
schematisches NH-Bild
des R/L Auges bei
Betrachtung der gelben
Kugel. Es besteht ein
Eso-FD I Zentrum
 $2^{cm}/m$ am rechten Auge.

Liegt eine FD I vor, so könnte es demnach zu der in der Durchführung bereits erwähnten Wahrnehmung kommen, dass die Schnüre sich nicht in der abgeblickten Kugel schneiden. Bei der abgebildeten Eso-FD läge die Kreuzung dementsprechend davor, bei einer Exo-FD dahinter.

Je stärker sich eine FD verfestigt, desto eher ist mit Hemmungen bei der binokularen Verarbeitung zu rechnen. Liegt z.B. eine ältere Eso-FD als $FD II_{/2}$ am rechten Auge vor, so würde vermutlich das zusammengefasste schematische Netzhautbild des rechten und linken Auges, ähnlich dem in Abbildung 120 dargestellten, aussehen.

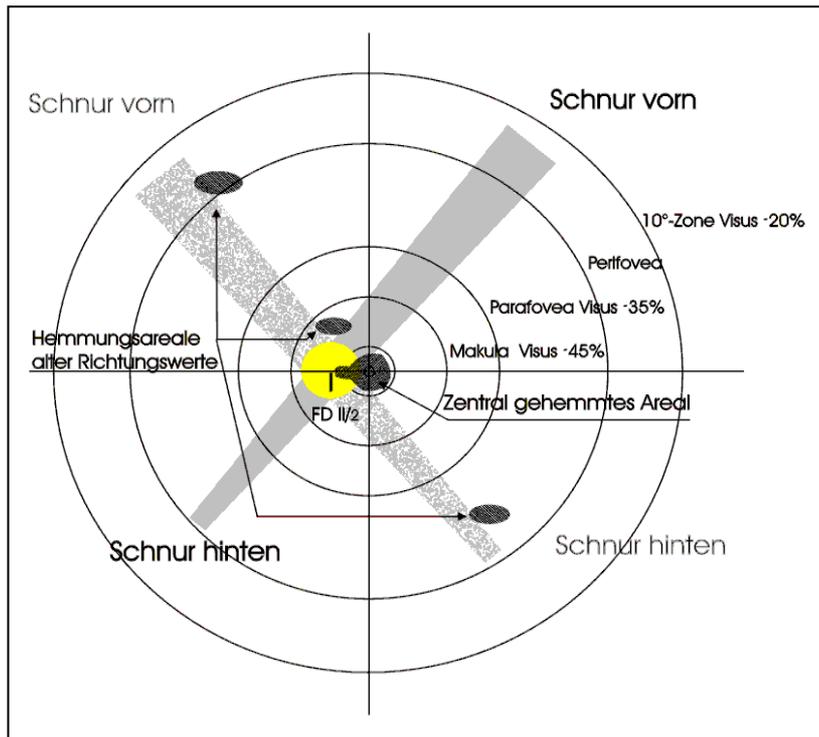


Abbildung 120: NH-Bild des R/L Auges bei Betrachtung der gelben Kugel. Es besteht eine Eso-FD $II_{1/2}$ Zentrum $2^{cm}/m$ am rechten Auge.

Die Richtungswerte sind nun auch bis in die Peripherie umgeschaltet, so dass das korrespondierende Netzhautbild vom linken Auge komplett in Richtung FD-Zentrum verschoben ist. Die alten Richtungswerte der Netzhaut im rechten Auge werden durch Hemmungsareale unterdrückt. Bei einer älteren Eso-Fixationsdisparation erstreckt sich demnach von jeder korrespondierenden Netzhautstelle ein Hemmungsareal in Richtung des alten Richtungswertes. Hierbei entspricht die Größe des Areals in etwa der Größe der FD. Aufgrund der im Beispiel angenommenen Größe von $2^{cm}/m$ käme es vor der Kugel dazu, dass ein Teil der Schnur des rechten Auges noch in ein gehemmtes Areal abgebildet wird. Vermutlich führt dies zu einer Behinderung der Wahrnehmung an dieser Stelle.

Käme es zu einer Unterdrückung des Seheindrucks, so wäre hiervon bei einer älteren Eso-FD offenbar ein Teil vor der Kugel betroffen. Betrachtet man sich jedoch die Größenverhältnisse auf der Netzhaut, so kann das Verschwinden großer Teilstücke der Schnur nicht allein auf die Größe der Hemmungsareale einer FD zurückzuführen sein. Verschwinden Teile der Wahrnehmung, so lässt sich dies eher auf eine allgemein schlechte zentral- und peripher-retinale Verarbeitung des Netzhautbildes, sowie auf ein eventuell gestörtes Binokularsehen zurückführen. Fallen Netzhautbilder auf gehemmte Areale, so kann es des Weiteren sein, dass

unter Umständen das kognitive System den Seheindruck an dieser Stelle ergänzt oder verändert.

Wandert der Proband mit seinen Augen auf der Schnur entlang, so verschiebt er die Kreuzung der Schnur entsprechend nach vorne oder hinten. Auf der Netzhaut bewegen sich die hinteren Augenpole diagonal entlang der Schnur. Für eine solche Bewegung ist die Innervierung/ Aktivierung aller sechs Augenmuskeln nötig. Kommt es zu einer fehlerhaften Innervierung/ Aktivierung der Muskeln bei der Reizableitung, so wird der Bewegungsfluss ruckartig. Gleiches geschieht auch, wenn Hemmungen von Netzhautarealen eine kontinuierliche Reizaufnahme verhindern oder bei Schwierigkeiten der Reizverarbeitung im Kortex. Alle genannten Funktionen sind jedoch lernfähig (Kapitel 3.2).

Bewegt der Proband seine Augen entlang der Schnur, so könnte es aufgrund von Hemmungsarealen (z.B. bei einer FD) und der damit verbundenen zeitweisen Unterdrückung eines Seheindruckes zu einer ruckartigen Bewegung kommen. Im Moment der Unterdrückung verschwindet ein Teil der Schnur und im nächsten Moment taucht die Kreuzung an einer anderen Stelle wieder auf. Der Seheindruck der Schnur ist demnach unruhig. Diese Wahrnehmung dient dem Probanden als Kontrollsignal und es entsteht somit eine Biofeedback-Schleife.

Aufgrund der Lage der Hemmungsareale hätten hierbei Esophore mehr Probleme bei der Ausführung von gleitenden Augenbewegungen nach vorne (Konvergenz) und Exophore hingegen bei den Bewegungen nach hinten (Divergenz). Die Bewegungen werden durch die zeitweise Unterdrückung ruckartiger. Bei der jeweils entgegengesetzten Augenbewegung stören die Hemmungsareale weniger, so dass eine kontinuierliche Fusion der Kugel vorstellbar wäre.

Um die Reizaufnahme, Reizverarbeitung und Innervierung/ Aktivierung der Muskeln zu verbessern, ist es demzufolge das Ziel des Probanden, eine ununterbrochene, langsame und gleichmäßige Verschiebung des Kreuzungsbereiches mit einer ruhigen Wahrnehmung der Peripherie zu erlangen.

Um die zentral-periphere Verarbeitung und die räumlich Organisation noch zu unterstützen, kann der Proband die Schnur in verschiedene Richtungen bewegen (Abbildung 121).

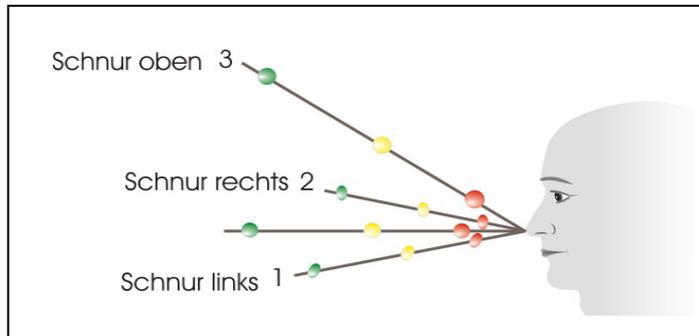


Abbildung 121: verschiedene Blickwinkel zur Brock-Schnur

Dies hat zur Folge, dass sich das Bild auf der Netzhaut in verschiedene Richtungen dreht und somit andere Netzhautbereiche stimuliert werden. Wird das Schnurende z.B. nach rechts verschoben, so dreht sich das Bild der Schnur auf beiden Netzhäuten ebenfalls nach rechts (Abbildung 122). Da die Schnur nun verhältnismäßig dichter zum rechten Auge liegt, verringert sich der Abstand zu den Kugeln und die Winkel zwischen den Kugeln vergrößern sich. Als Folge entstehen im rechten Auge größere Bilder der Kugeln, welche im Vergleich zu den vorherigen auch weiter auseinander liegen. Für das linke Auge ist es entgegengesetzt. Hier wächst durch die Drehung der Schnur der Abstand vom linken Betrachterauge zu den Kugeln an und die Winkel zwischen den Kugeln werden kleiner. Folglich schrumpfen die Bilder der Kugeln auf der Netzhaut des linken Auges und deren Abstand erscheint gestaucht. Bewegt man hingegen die Schnur nach links, so ergibt sich eine um den vertikalen Netzhautmeridian gespiegelte Situation. Das Gesamtbild ist nun auf der Netzhaut nach links gedreht (Abbildung 123). Der Winkel zwischen den Schnüren jedoch bleibt in beiden Fällen immer gleich.

Der Winkel verändert sich erst, wenn der Proband das Ende der Schnur z.B. nach oben oder unten bewegt oder er seinen Kopf zur Seite neigt. Abbildung 124 stellt das Netzhautbild dar, wenn die Schnur geradeaus nach oben gehalten wird. Die Höhenkomponente ebenso wie der Abstand zwischen den Kugeln vergrößern sich in diesem Fall symmetrisch. Abbildung 125 demonstriert das Netzhautbild bei Neigung des Kopfes nach links. Der Proband nimmt die Kugeln, aufgrund der kompensatorischen Rollbewegungen der Augen, auf unterschiedlicher Höhe wahr.

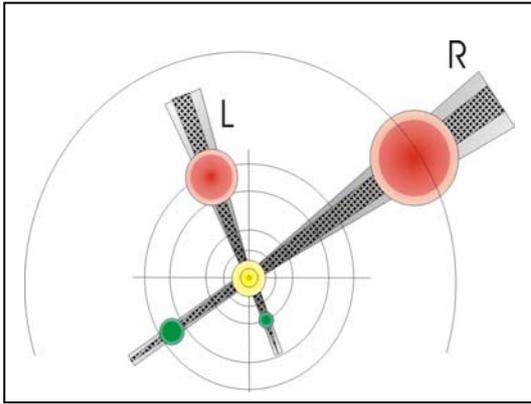


Abbildung 122: schematisches NH-Bild R/ L beim Blick nach rechts

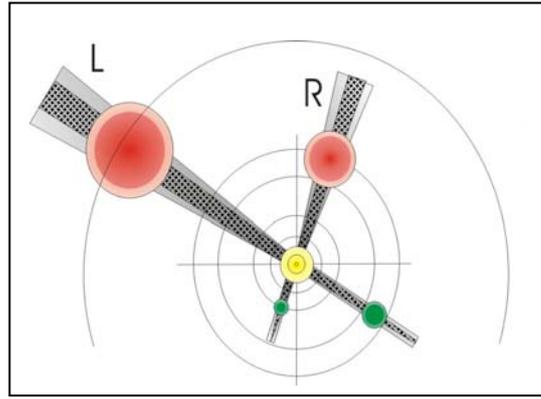


Abbildung 123: schematisches NH-Bild R/ L beim Blick nach links

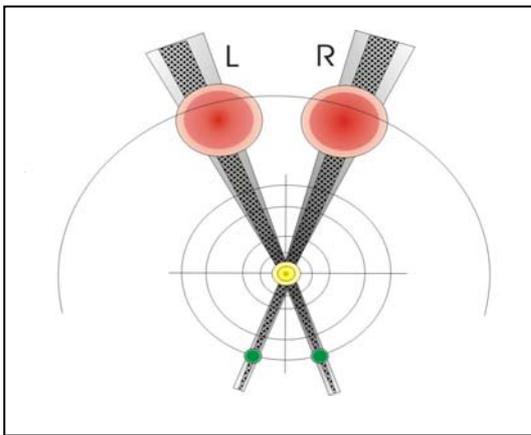


Abbildung 124: schematisches NH-Bild R/ L beim Blick nach oben

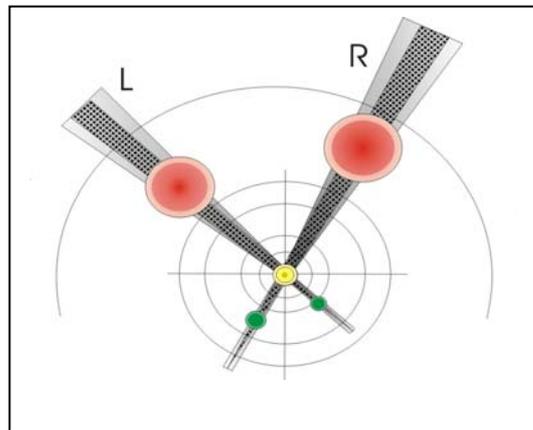


Abbildung 125: schematisches NH-Bild R/ L bei Kopffrollung

Wird die Schnur zu einer Seite gedreht, so muss der Proband bei der Übung asymmetrische Vergenzbewegungen ausüben.³¹³ Das bedeutet, der Vergenzbewegung ist eine Version überlagert. Verläuft die Schnur entlang der Körpermitte, so müssen, wenn der Blick auf der Schnur entlang wandert, symmetrische Vergenzbewegungen ausgeführt werden. Der Proband bewegt sich in der Regel nun auf seiner Z-Achse (Kapitel 3.8).

Die Z-Achse spielt eine große Rolle bei der Bestimmung „Wo bin ich?“ und „Wo ist es?“, da ihr Ursprung am Probanden den Null-Punkt aller räumlichen Beziehungspunkte darstellt. Ist sie zu einer Körperhälfte verschoben, so wird der Proband oft Probleme haben, einen Gegenstand richtig visuell zu orten und schätzt

³¹³ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.363

so z.B., öfters Abstände zu Gegenständen auf einer Seite seines Körpers falsch ein. Um eine visuell gesteuerte Bewegung ausführen zu können, benötigt man eine exakte Vorstellung seines eigenen Körperschemas (Kapitel 2.5.1).

Informationen über sein Körperschema können dem Probanden ebenfalls über den Verlauf der Schnüre bewusst gemacht werden. Liegt der Null-Punkt nicht auf seiner Körpermittellinie, sondern ist er zu einer Seite seines Körpers hin verschoben, so nimmt er die Winkel zwischen den Schnüren nicht symmetrisch zu seiner Körpermitte wahr. In seinem Fall verläuft eine Schnur gerader und eine schräger. Ursache hierfür sind Meldungen der Muskelspindeln und der Propriozeptoren (Kapitel 3.6), an denen fehlerhafte Richtungswerte gekoppelt sind. Die geradere Schnur wird von dem Auge gesehen, zu welchem sein Körperschema hin verschoben wurde.

Um ein korrektes Körperschema zu erlernen, sollte der Proband mit den Augen auf der Schnur entlang wandern. Hierbei ist es besonders wichtig, dass die gerade Ausrichtung des Körpers von einer dritten Person kontrolliert wird. Ist ein verschobenes Körperschema vorhanden, neigen die Personen nämlich dazu, sich schräg zur Schnur auszurichten. Dem Probanden muss nun bewusst werden, dass die Schnur, welche er sich an die Nase hält und somit von seiner Körpermitte startet, geradeaus verläuft. Durch die Bewegung der Augen erlernt der Proband nun, an die symmetrische Vergenzbewegung der Augen das Gefühl geradeaus zu koppeln. Hat der Proband die korrekte Ausrichtung seiner Augen erlernt und integriert, so führt dies zu einer genaueren und effektiveren visuellen Ortung.

In Abwesenheit der Kugeln ist diese Übung wesentlich schwieriger. Werden sie entfernt, so nimmt man dem Probanden die Fixier- und Fusionshilfen. Man benötigt ein höheres Level an Augenmuskelkontrolle, um ohne die Kugeln eine gleitende Vergenzbewegungen auszuführen.³¹⁴ Die Fusionszwänge der Kugelpaare hatten bisher immer die Vergenzbewegung unterstützt. Des Weiteren dienten sie dem Probanden als Orientierungspunkte. Ohne sie muss der Proband seine Bewegung viel mehr willentlich steuern.

³¹⁴ Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993, S.362

Somit ermöglicht die lange Schnur eine deutlichere Beurteilungsmöglichkeit und einen feineren Abbau von Hemmungen. Jedoch bietet sie durch die geringere Exzentrizität der Kugeln weniger Möglichkeiten, die peripher-retinale Verarbeitung zu fördern.

5.4.5 Geeignete Zielpersonen

Diese Übung eignet sich grundsätzlich für alle Personen, da sie dem Anwender ein Gefühl für sein visuelles System und dessen Leistungsfähigkeit vermittelt.

Da das Akkommodations- und Vergenzverhältnis durch das Tragen einer Korrektur verändert wird, ist es zum Erlernen einer korrekten Ausrichtung der Augen empfehlenswert, dass der Proband während der Übung immer die überwiegend getragene Korrekturbrille verwendet.

5.4.6 Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden

Während der Durchführung der Brock-Schnur-Übung sollte der Optometrist oder die Kontrollperson zuerst auf die exakte Ausrichtung von Körper und Kopf des Probanden zur Schnur achten. Der nächsten Schritte bestehen darin, die Wahrnehmung der physiologischen Diplopie zu erzeugen und mit Fragen zu kontrollieren. Des Weiteren muss die Kreuzung der Schnüre vom Probanden in die angeblickte Kugel gelegt werden. Der Proband muss aufgefordert werden, gehemmte Areale bewusst abzubauen und durch die Wahrnehmung der Peripherie, seine peripher-retinale Verarbeitung gezielt anzusprechen.

Der Optometrist sollte bei Sprungbewegungen zwischen den Kugeln beobachten, ob die Augen nach dem Sprung sofort exakt ausgerichtet sind oder ob Korrekturbewegungen benötigt wurden. Ist dies der Fall, so sollte der Proband darauf aufmerksam gemacht werden, um ihm eine verstärkte Rückmeldung zu geben. Beim Wandern auf der Schnur ist auf die gleitende Vergenzbewegung der Augen zu achten. Dies gilt sowohl für die Divergenz- als auch für die Konvergenzbewegungen.

5.4.7 Ziel der Übung

Die Ziele mit der Brock-Schnur-Übung sind:

- Man soll eine richtig abgestimmte Ausrichtung von Akkommodation und Vergenzstellung erlernen.
 - Bei einer Kreuzung der Schnur vor der Kugel bedeutet dies, seine Konzentration zu erniedrigen und entspannter zu schauen.
 - Bei einer Kreuzung der Schnur hinter der Kugel hingegen übt der Proband einen konzentrierteren Blick.
- Der Proband soll ein Gefühl für die Konvergenz- und Divergenzstellung seiner Augen entwickeln und so die Flexibilität, Vergenzbewegungen auszuführen, erhöhen.³¹⁵ Hierbei sollten die ausgeführten Augenbewegungen in beiden Richtungen gleitend sein.
- Der Proband erhält die Möglichkeit durch die Biofeedback-Schleife gehemmte Areale abzubauen, sowie die Reizaufnahme, Reizverarbeitung und Innervierung/ Aktivierung der Muskeln zu verbessern.
- Durch das Verschmelzen der beiden identischen Bildanteile trainiert der Proband des Weiteren die Fusion.
- Durch die Wahrnehmung der physiologischen Diplopie kann der Proband seine peripher-retinale Verarbeitung erweitern und sich eine bessere räumliche Organisation aneignen.
- Die Übung dient dem Probanden bei der Bestimmung seiner Mittellinie und hilft ihm so, ein besseres Körperbewusstsein zu erlangen.

³¹⁵ Vanhimbeek-Collier: Das Training der allgemeinen Fähigkeiten in einem optometrischen Studio, Belgium 2001, S. P16

5.5 Sprungbewegungs-Übungen

Die Sprungbewegungs-Übungen sind vorrangig Übungen zum Training der Augenbewegungen. Sie sollen somit den ersten Kreis von Skeffington „antigravity system“ ansprechen (Kapitel 2.1).

5.5.1 Benötigte Übungsutensilien

Für die Übung verwendet man verschiedene Übungsfiguren, die sich jeweils auf DIN A4 Blättern befinden. Auf dem ersten Übungsblatt (Abbildung 127) befinden sich in unterschiedlichem Abstand horizontal ausgerichtete Zahlen.

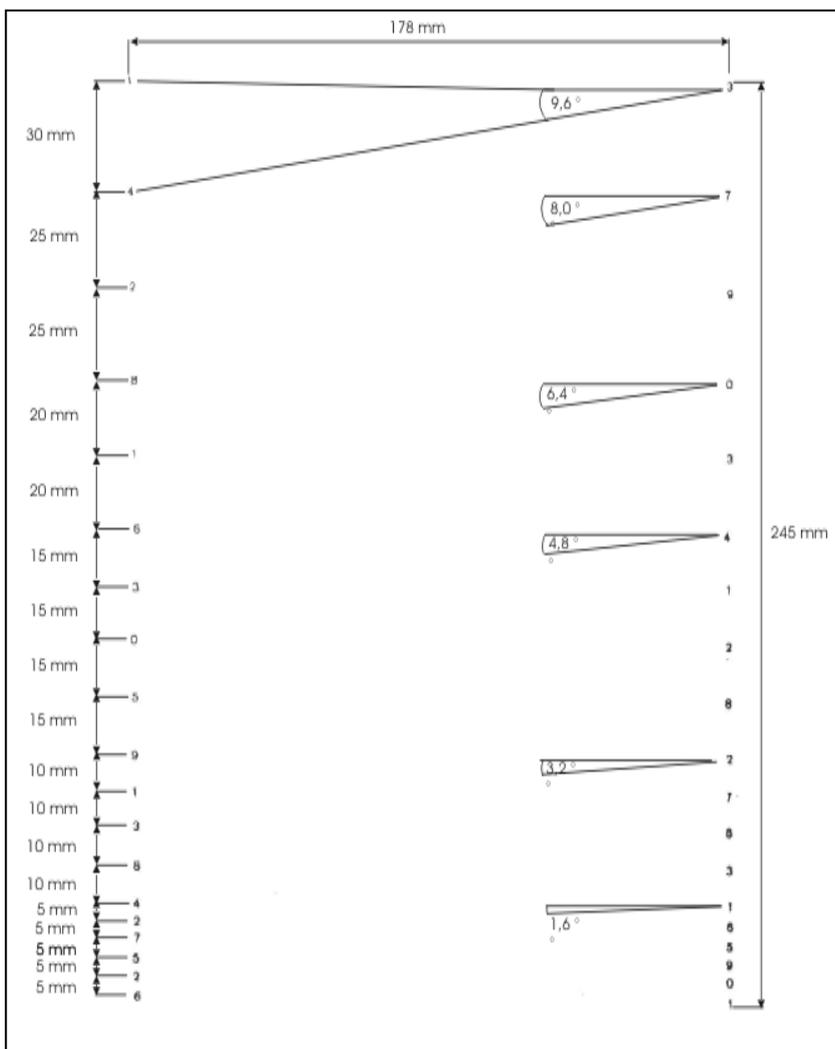


Abbildung 127:
horizontal
ausgerichtetes
Nummernchart³¹⁶

³¹⁶ Collier, S.: Seminarunterlagen Visualtraining II, WVAO-Seminar Berlin, 25./26. November 2000, S. 25f.

Danach folgt das in Abbildung 128 skizzierte Nummernchart, auf dem vertikal in einem regelmäßigen Abstand Zahlen angeordnet sind.

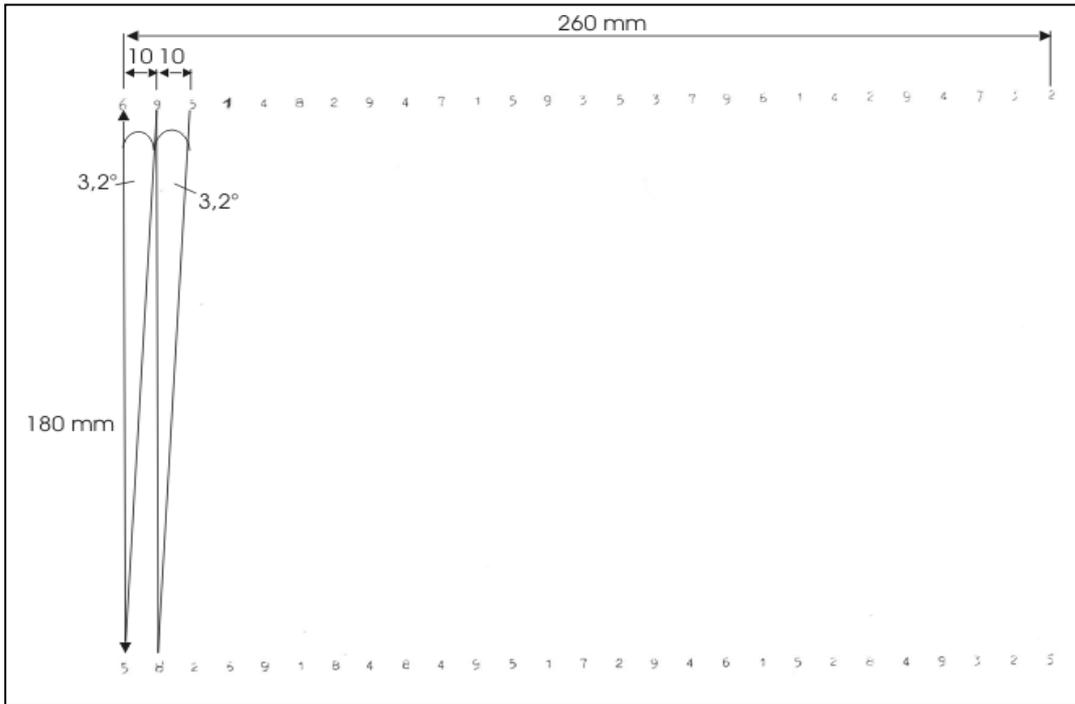


Abbildung 128: vertikal ausgerichtetes Nummernchart³¹⁷

Des Weiteren gibt es drei Nummerncharts, auf denen die Zahlen kreisförmig positioniert sind (Abbildung 129, Abbildung 130, Abbildung 131).

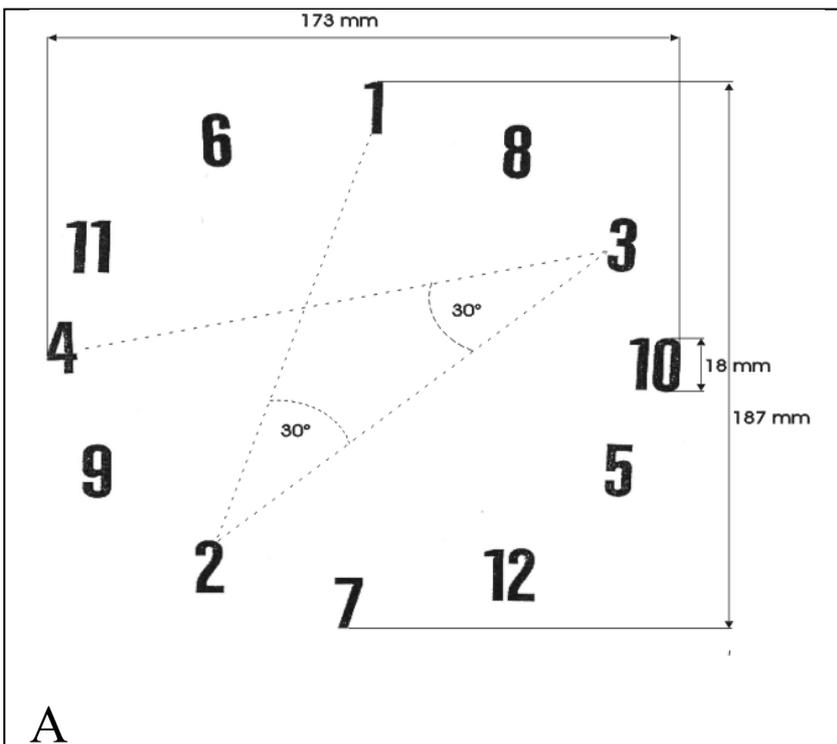


Abbildung 129: kreisförmig ausgerichtete Nummernchart mit großen Zahlen 1-12 (A)

³¹⁷ Collier, S. :Seminarunterlagen Visualtraining II, WVAO-Seminar Berlin, 25./26. November 2000, S. 25f.

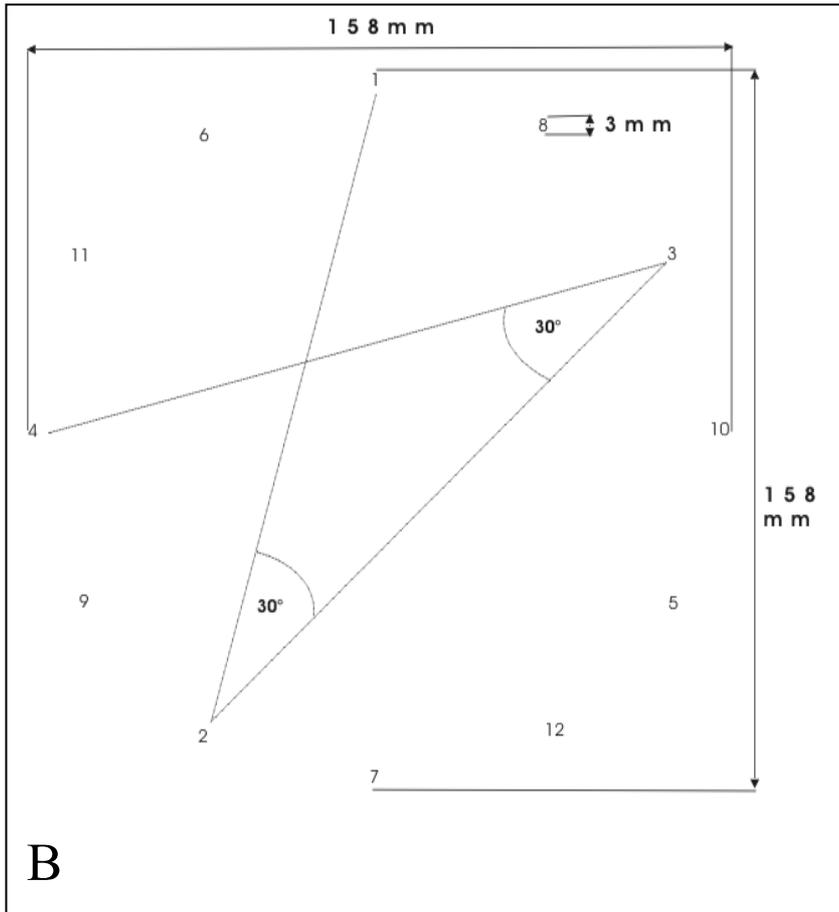


Abbildung 130:
kreisförmig
ausgerichtete
Nummernchart
mit kleinen Zahlen
1-12 (B)

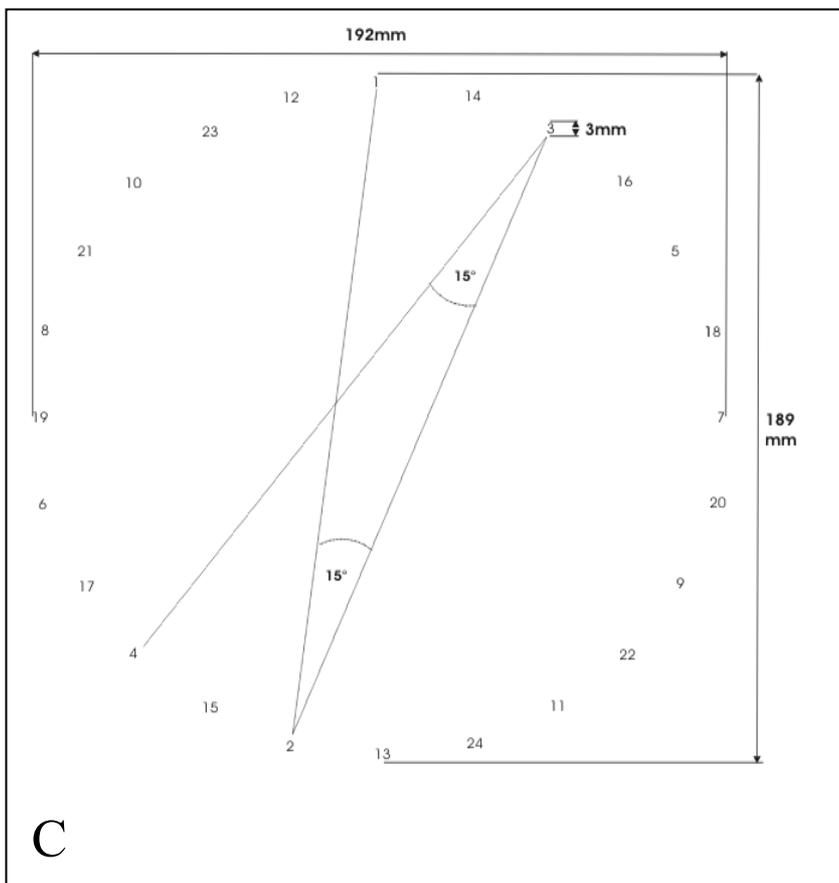


Abbildung 131:
kreisförmig
ausgerichtete
Nummernchart
mit kleinen Zahlen
1-24 (C)

5.5.2 Durchführung der Übung

Aus inhaltlichen Gründen werden an dieser Stelle mehrere Übungen zusammengefasst. In der Regel bilden horizontal und vertikal orientierte Nummerncharts sowie die drei kreisförmig ausgerichteten jeweils eine getrennte Übungseinheit.

Jedes Blatt wird bei entsprechender Durchführung in einer Entfernung von ca. 40cm mittig vor den Probanden auf ein Lesepult gelegt. Falls dies nicht vorhanden ist, so sollte das Blatt entsprechend etwas schräg gehalten werden, so dass der Proband möglichst überall senkrecht auf das Blatt sieht. Alle Übungen können sowohl monokular als auch binokular durchgeführt werden, wobei der Proband möglichst immer eine gerade Kopf- und Körperhaltung einnehmen sollte.

Der Proband beginnt die Übung zuerst mit dem horizontal ausgerichteten Nummernchart (Abbildung 127). Er wird nun aufgefordert, in einem gleichmäßigen Rhythmus, der auch durch Zuhilfenahme eines Metronoms unterstützt werden kann, horizontal von Zahl zu Zahl zu springen und diese laut vorzulesen. Dabei soll der Proband möglichst keine Kopfbewegungen in Sprungrichtung machen. Treten ab einem bestimmten Zeitpunkt unterstützende Kopfbewegungen auf, so wird die Übung abgebrochen und von neuem gestartet. Falls keine genauen Fixationen ohne Kopfbewegungen möglich sind, so sollte die zu lesende Zahl mittels Finger oder Stift vom Probanden selbst gesucht oder vom Optometristen bzw. einer dritten Person gezeigt werden.

Danach wird in gleicher Weise die Übung mit der senkrecht (Abbildung 128) und später auch mit den kreisförmig orientierten Nummerncharts (Abbildung 129, Abbildung 130, Abbildung 131) fortgeföhren. Bei dem senkrecht ausgerichteten Nummernchart führt der Proband vertikale Blicksprünge aus, und bei den kreisförmigen Charts besteht die Aufgabe des Probanden darin, die Zahlen der Reihenfolge nach von 1-12 bzw. von 1-24 im gleichmäßigen Rhythmus entlang zu springen.

Bei den kreisförmigen Charts gilt des Weiteren: Erst nachdem vier Mal hintereinander Chart A korrekt ausgeführt worden ist, sollte der Proband zu Chart B übergehen. Das Chart C wird ebenfalls erst hinzugefügt, wenn Chart B vier Mal fehlerfrei ausgeführt werden konnte.

5.5.3 Angesprochene Funktionen und Hintergründe

Auf allen Nummerncharts befinden sich die nacheinander zu erreichenden Zahlen in einem Abstand von ca. $21,5^{\circ}$ - 25° . Der Proband muss dementsprechend zum Erreichen der nächsten Zahl eine große Saccade ausführen (Kapitel 2.2.2). Unter normalen Sehbedingungen finden Saccaden dieser Größe nur selten statt. Wissenschaftliche Studien ergaben, dass für gewöhnlich lediglich Saccaden bis 20° ohne Kopfbewegungen ausgeführt werden. Bei größeren Blicksprüngen wird in der Regel der Kopf mitbewegt. Der Proband muss folglich bei der Übung Konzentration aufbringen, um bewusst seinen Kopf stillzuhalten.

Des Weiteren fand man bei den Messungen heraus, dass Saccaden über 10° Größe häufig nicht das Ziel mit der Erstsaccade trafen. Die Erstsaccade legt nur etwa 90% des Weges zurück. Danach erfolgt eine Korrektur-Saccade. Saccaden, die das Ziel nicht treffen und vor dem Ziel landen, nennt man „Unterschuß-Saccaden“ (undershoots).

Trainieren Personen jedoch ihre Sprungbewegungen, so kann die Zielgenauigkeit der Erstsaccade erhöht werden. Fey fand in seinen Experimenten zur Saccadengenauigkeit bei „geübten Personen“^{*} nur noch ca. 33% Doppelsaccaden bei einer Saccadengröße von 24° . Diese relative Häufigkeit spricht für einen Lerneffekt bei den geübten Testpersonen. Eine Einfachsaccade dauerte bei dieser Saccadengröße im Durchschnitt 109ms. Doppelsaccaden indessen hatten im Durchschnitt eine Gesamtdauer von 254ms.³¹⁸

* Diese Personen waren im eigentlichen Sinne nicht trainiert. Sie hatten lediglich während des Experimentes mehrfach Sprungbewegungen ausgeführt.

³¹⁸ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen

Die effektiv benötigten Zeiten für einen Blicksprung können zwar nicht direkt auf die Sprungbewegungs-Übungen übertragen werden, da diese, wie in Kapitel 2.2.2 erwähnt, von der Reizstruktur abhängig sind. Jedoch geben sie eine ungefähre Vorstellung der Größenverhältnisse zueinander an. Doppelsaccaden benötigten somit mehr als doppelt so viel Zeit, um ans Ziel zu kommen.

Bedenkt man zusätzlich noch, dass die Informationsaufnahme während einer Saccade fast vollständig verloren geht, so wird deutlich, dass Personen mit Doppelt- oder sogar Dreifachsaccaden benachteiligt sind. Sie benötigen wesentlich mehr Zeit, um sich neu zu orientieren und Informationen aufzunehmen.

Wird der betroffenen Person die Ineffektivität der Bewegung bewusst, so wird diese das Verhaltensmuster ändern, um die Effektivität zu steigern. Dieser Lerneffekt (Kapitel 3.2) kann ebenfalls auf das Bewegungssehen des Menschen übertragen werden. Das Bewegungssehen wird, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, durch einen Regelkreislauf gesteuert. Erreicht der Proband mit seiner Sprungbewegung das Ziel nicht, so wird dies mittels Rückkoppelung (Reafferenz) einem höheren Zentrum gemeldet. Jede Kopie eines efferenten Signals wird, so vermutet Held, im Korrelationsspeicher mit dem reafferenten Signal verknüpft. Trifft eine neue Reafferenz ein, so wird diese im Komparator mit den bisher zu diesem efferenten Signal gespeicherten reafferenten Signalen verglichen. Sind diese nicht stimmig, so kann das Ergebnis dieses Vergleiches Änderungen in der Bewegungsausführung hervorrufen.³¹⁹

Fey wies sogar Änderungen in der Bewegungsausführung nach, wenn die Testpersonen das Ziel aufgrund einer Zielversetzung während der Ausführung der Saccade nicht erreichten.³²⁰ In seinen in Kapitel 2.2.2 aufgeführten Versuchen zeigten alle Versuchspersonen sowohl bei symmetrischer als auch bei asymmetrischer Zielversetzung einen Lerneffekt. Hierbei war der Lerneffekt umso schneller, je weiter das zu Beginn der Saccadenprogrammierung zu erreichende Sprungziel entfernt lag. Dies erklärt vielleicht auch, warum die in den

³¹⁹ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S.7f.

³²⁰ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 31ff.

Sprungbewegungs-Übungen auszuführenden Blicksprünge die Größe der unter normalen Sehbedingungen ausgeführten Saccaden überschreiten.

Das System der Saccadenprogrammierung ist also flexibel und kann sich an neue Situationen und Bedingungen anpassen. Jedoch konnte bei den bisherigen Studien nicht geklärt werden, ob die veränderte Saccadenprogrammierung über eine neue retinale Zuordnung der Richtungswerte oder über abgewandelte „räumlich-extraretinale“ Informationen (visuo-spatial localization) hervorgerufen wird.

Bevor eine Saccade ausgeführt werden kann, benötigt es nach Fischer neurophysiologisch folgender Schritte (Kapitel 2.2.2):³²¹

1. Fixation oder Haltefunktion des Auges
2. Lösen der Fixation
3. Entscheidung
4. Bestimmung von Richtung und Größe der Saccade.

Hierbei wird vor allem die visuelle Aufmerksamkeit des Probanden gefordert. Er muss sich an die Lage der Zahlen erinnern und durch das periphere Sehen den Ort der Zahlen wieder auffinden. Gelingt es ihm, so werden danach seine visuell-verbale Fähigkeiten beansprucht. Je nachdem wie gut diese automatisiert sind, desto weniger Konzentration des Probanden wird für die Aussprache der Zahlen benötigt. Ist das visuell-verbale Integrationssystem allerdings unterentwickelt, so kann dies ebenfalls zu einer langsameren und ineffektiveren Leistung führen.

Untersuchungen haben des Weiteren ergeben, dass kognitive Anforderungen bei der Entwicklung von Automatismen helfen. Sie sind als potentielle Störfaktoren präsent und steigern so die Fähigkeit auf längere Zeit exakte Augenbewegungen auszuführen.

Zum Erkennen der horizontal ausgerichteten Zahlen benötigt es ein Visus von 0,3 und bei den senkrechten einen Visus von 0,2. Die zu erreichenden Zahlen sind bei

³²¹ Fischer, B.: Neurophysiologische Grundlagen willkürlicher Zielgerichteter Blicksprünge, Bücherei des Augenarztes Band 121 Augenbewegung und visuelle Wahrnehmung, Stuttgart 1990, S.44-46

charakteristischen Merkmalen des Zieles sucht. Zu Beginn des Nummerncharts liegen die Zahlen unter- und oberhalb des eigentlichen Sprungzieles verhältnismäßig weit von der Netzhautgrubenmitte entfernt, so dass diese Zahlen einen größeren Fehlbetrag verursachen, als das verfehlt Sprungziel (Abbildung 133).

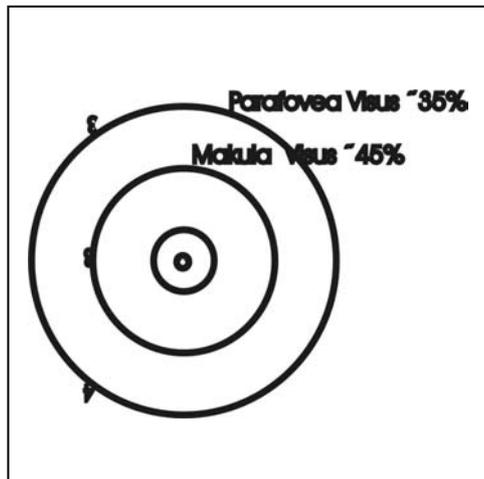


Abbildung 133: Ausschnitt des Netzhautbildes nach ca. 90% des Sprungweges

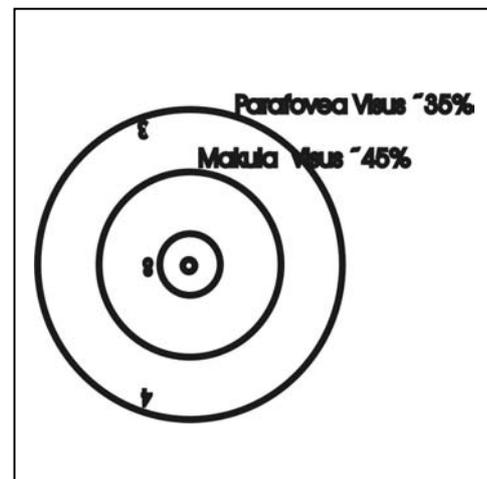


Abbildung 134: Ausschnitt des Netzhautbildes nach ca. 95% des Sprungweges

Je genauer die Erstsaccade ausgeführt wird, desto deutlicher werden die Unterschiede der Fehlbeträge der anderen Zahlen zu dem Fehlbetrag der zu erreichenden Zahl. Abbildung 134 demonstriert hierzu die Lage der Zahlen, wenn die Erstsaccade ca. 95% des Weges zurücklegen würde. Das visuelle System erkennt folglich die richtige Zahl schneller und das „package“ Programm kann schneller fortgesetzt werden, bzw. es besteht nicht die Notwendigkeit des Abbruches. Somit sinkt die für die Durchführung der Übung benötigte Zeit.

Am Ende des horizontal ausgerichteten Nummerncharts wird der Abstand der Zahlen in der Vertikalen immer geringer. Dies wirkt als zusätzlicher Störfaktor, da die Aufmerksamkeit des Probanden abgelenkt wird und dieser nun mehr Konzentration benötigt, um die nächste Zahl aufzusuchen. Im unteren Drittel des Charts ist z.B. bei einer angenommenen Erstsaccadenweite von 90% die Höhenkomponente zwischen den Zahlen sogar kleiner als die Entfernung der verfehlten Zahl von der Netzhautgrubenmitte (Abbildung 134). Somit könnte es

dazu kommen, dass beim Verfehlen des Sprungzieles mehrere Zahlen innerhalb des akzeptierten Fehlbetrages liegen.

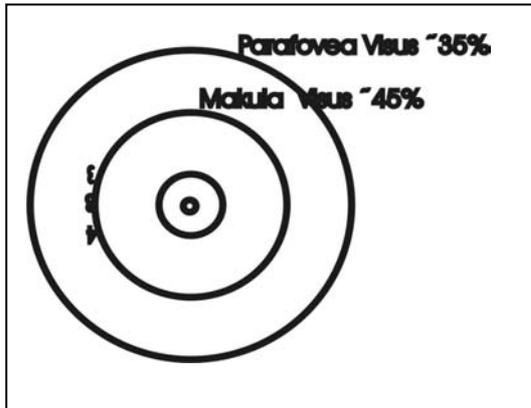


Abbildung 135: Ausschnitt des Netzhautbildes nach ca. 90% des Sprungweges im unteren Drittel des Charts

Das Ziel kann vom Probanden in diesem Fall nur noch über die charakteristischen Merkmale gefunden werden. Das bedeutet, der Proband muss zwischen den Zahlen selektieren. Dies kann z.B. über sein visuelles Erinnerungsvermögen (visual memory; Kapitel 2.5.2) geschehen, indem er sich an die zuletzt gelesene Zahl in dieser Reihe erinnert.

Wird seine Konzentration überfordert, so wird er die zu findende Zahl verlieren oder sich die Übung durch motorische Unterstützung (motor overflow; Kapitel 3.7) des Kopfes vereinfachen. Ist dies der Fall, so wird die Übung, wie in der Durchführung beschrieben, abgebrochen und neu begonnen.

Gerade im unteren Drittel ist die Exaktheit der Erstsaccade von großer Bedeutung. Je näher das Sprungziel an der Netzhautgrubenmitte zu liegen kommt, desto größer werden verhältnismäßig die Entfernungen der anderen Zahlen zur Netzhautgrubenmitte und desto einfacher ist die zu erreichende Zahl zu identifizieren.

Gelingt es dem Probanden schon zu Beginn nicht, ohne Kopfbewegungen die nächste Zahl aufzufinden, so kann die Übung durch taktile Unterstützung der Hand oder durch einen größeren visuellen Reiz erleichtert werden. Durch die motorische Bewegung der Hand bzw. des Fingers erhält der Proband zusätzliche Raum- bzw. Lageinformationen über die propriozeptiven Rezeptoren (Kapitel 3.6). Des Weiteren fördert er somit seine Auge-Hand-Koordination (visuo-motor-integration; Kapitel 2.5.3).

Die Übungen können ebenfalls erleichtert werden, indem sie zuerst monokular durchgeführt werden. So kann der Proband seine Konzentration allein auf die auszuführenden Augenbewegungen und die Akkommodationseinstellung ausrichten. Wird die Übung hingegen binokular ausgeführt, so muss zusätzlich die Bewegung des zweiten Auges koordiniert werden.

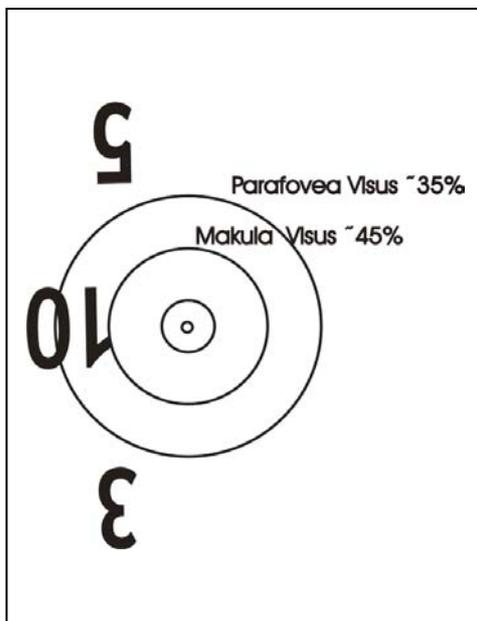
Zu Beginn der Übung ist es das Ziel, dass der Proband die Abstimmung der visuellen Systeme und seine räumliche Orientierung optimiert. Je exakter diese werden, desto schneller ist er auch in der Lage, Informationen aufzunehmen und neue Sprungbewegungen zu planen. Deshalb kann man, um den Schwierigkeitsgrad zu steigern, die Geschwindigkeit erhöhen, mit der die nächste Zahl erreicht werden soll. Hierzu eignet sich die Vorgabe eines Taktes durch ein Metronom. Dabei gilt ebenfalls wieder, wird die Konzentration des Probanden durch Defizite bei einer der visuellen oder visuell-verbale Aufgaben zu sehr beansprucht, so ist seine Kapazität überlastet und der Proband fällt auf ein niedrigeres Leistungsniveau zurück.

Nachdem die horizontalen und die vertikalen Nummerncharts trainiert wurden, wird zu den kreisförmigen übergegangen. Die kreisförmig angeordneten Nummerncharts gibt es, wie bereits in der Durchführung beschrieben, in drei verschiedenen Ausführungen. Die Aufgabe für den Probanden besteht jeweils darin, die Zahlen der Reihenfolge nach zu finden und von Zahl zu Zahl zu springen. Aufgrund der Anordnungen der Zahlen ergeben sich deshalb schräge Blicksprünge. Zur Ausführung dieser müssen alle sechs Augenmuskeln exakt innerviert werden. Die Abstimmung der Bewegung ist demnach wesentlich komplexer. Klinische und neurophysiologische Befunde deuten aber daraufhin, dass die Bestimmung von Richtung und Größe bei der Programmierung schräger Saccaden vermutlich ebenfalls über eine horizontale und vertikale Organisation abläuft.³²² Wäre diese Annahme richtig, so hätte ein Training der horizontalen und vertikalen Blicksprünge vor den kreisförmigen Nummerncharts den Vorteil, dass die Orientierung in diesen Richtungen schon exakter abgestimmt wäre und somit die Zielbestimmung schräger Saccaden erleichtert würde. Die Gesetze der Rotationskinetik hingegen erlauben jedoch eine solche Zerlegung nicht.

³²² Blanke, O.: Taktile Saccaden beim Menschen-Steuerung saccadischer Augenbewegungen durch somatosensorische und propriozeptive Stimuli, Berlin 1999, S.17

Chart A besteht aus großen und fett gedruckten Buchstaben, welche noch mittels des peripheren Sehens gesucht und erkannt werden können. Die Visusanforderung bei einem Abstand von 40cm beträgt lediglich 0,006. Die Zielkoordinaten, der zu erreichenden Zahl, können also über die Peripherie ermittelt werden und tragen somit zur Orientierung bei. Die aufeinander folgenden Zahlen stehen sich immer schräg in einem Abstand von ca. 16,3cm gegenüber, was einem Blicksprung von ca. 22,2° entspricht.

Geht man von einer ungenauen Bestimmung der Zielkoordinaten zu Beginn der Übung aus, so würde die Erstsaccade wahrscheinlich wieder ca. 90 % der gesamten Sprungweite zurücklegen.



Wie in Abbildung 136 zu sehen ist, wird dieser Fehlbetrag aufgrund der Größenverhältnisse den Probanden vermutlich nicht weiter stören. Es ist sogar ungewiss, ob er seine Augen überhaupt so ausrichtet, dass die zu erreichende Zahl zentral auf der Netzhautgrubenmitte zu liegen kommt, da die Sehanforderung zum Erkennen der Zahl so gering ist.

Abbildung 136: Ausschnitt des Netzhautbildes nach ca. 90% des Sprungweges auf dem kreisförmigen Nummernchart

Das Chart A trainiert demzufolge vermutlich hauptsächlich die gleichzeitige Innervierung/ Aktivierung der sechs Augenmuskeln, sowie die peripher-retinale Verarbeitung bei der Bestimmung der Zielkoordinaten. Für den Probanden ist bei dieser Übung besonders wichtig, dass er die genaue Richtung des Blicksprunges bestimmt und diesen auch mittels entsprechender Signale an die Muskeln auszuführen lernt.

Kommt es bei der Richtung zu Fehlern, so sind diese wesentlich gravierender für den Probanden als eine falsche Sprungweite. Stimmt die Richtung der Erstsaccade

nicht mit der Zielrichtung überein, so landet diese je nach Größe der Abweichung zwischen zwei Zahlen (Abbildung 137).

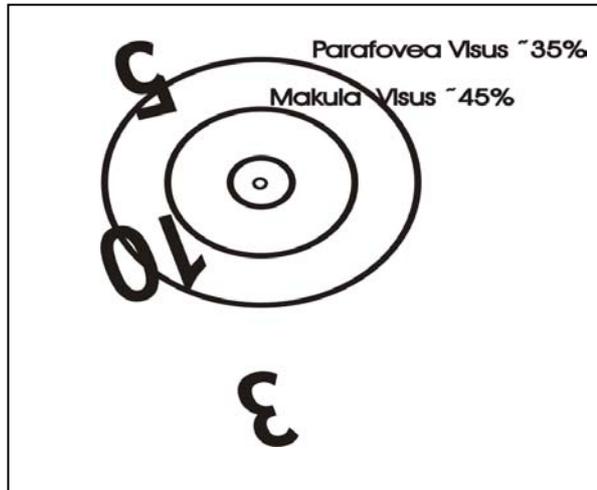


Abbildung 137: Ausschnitt des Netzhautbildes bei ungenauer Richtungsbestimmung

Sucht das visuelle System nun im Umkreis des akzeptierten Fehlbetrages nach der verfehlten Zahl, so ist eine eindeutige Zuordnung nicht mehr so leicht möglich. Folglich muss der Proband zum Auffinden der zu erreichenden Zahl mehr Konzentration aufbringen.

Bei dem Übungsblatt B ist die Anzahl der Zahlen identisch geblieben. Jedoch ist ihre Größe verringert worden. Die Visusanforderungen der Zahlen betragen nun 0,3. Des Weiteren ist zum zentralen Fixieren der nächsten Zahl ein Blicksprung von ca. 20,4° nötig. Dies entspricht ca. 92% der vorher geforderten Sprungweite. Hätte der Proband die vorherigen Richtungen der Zielkoordinaten automatisiert und/oder würde er diese gleichfalls auf Chart B anwenden, so bildet die Erstsaccade annähernd die zu erreichende Zahl in der Netzhautgrubenmitte ab. Infolgedessen wäre die Zahl, trotz der erhöhten Visusanforderungen, für den Probanden erkennbar. Diese positive Rückkoppelung liefert dem Probanden eine Art Biofeedback, welches den Lernprozess unterstützt.

Der Proband ist bei Chart B durch die erhöhte Sehanforderung der kleinen Zahlen nicht mehr in der Lage, die Zahl mittels des peripheren Sehens zu erkennen. Er muss die Zielkoordinaten also schon kennen (und automatisiert haben), um die Blicksprünge exakt ausführen zu können. Beim Training mit Chart B kommt es vorrangig auf die Genauigkeit der Sprungweite und die exakte Ausrichtung der

anderen visuellen Systeme an. Unstimmigkeiten hierin machen sich für den Probanden durch die erhöhten Sehanforderungen in Unschärfe bemerkbar.

Auf dem Chart C befinden sich statt der Zahlen 1-12 nun Zahlen von 1-24. Die Visusanforderungen sind identisch mit denen aus dem Chart B. Zum Erreichen der Folgezahl ist im Chart C ein Blicksprung von ca. 25° nötig. Der Automatismus der vorangegangenen Übungen ist also für dieses Blatt nicht einfach zu übernehmen. Die Zielkoordinaten müssen neu abgestimmt werden.

In den Versuchen von Fey trat die veränderte Saccadenprogrammierung bei Zielversetzung auch für Ziele auf, welche nicht trainiert wurden.³²³ Würde der Proband durch die vorangegangenen Übungen bereits seine räumliche Organisation und damit die Saccadenprogrammierung verändert haben, so ist zu vermuten, dass die Zielbestimmung bei der neuen Übung ebenfalls über diese gesteuert wird. Die Treffsicherheit der Saccade ist demnach schon erhöht. Nun sollte es das Ziel sein, diese durch minimale Veränderung der Übung in Routine umzuwandeln.

Die gesteigerte Anzahl von Zahlen beim Chart C stiften, wie die bei dem horizontal ausgerichteten Chart die immer enger werdenden Abstände, eine größere Verwirrung für den Probanden, falls dieser das Sprungziel nicht genau erreicht. Schon bei geringeren Fehlbeträgen der Sprungweite und/oder der Sprungrichtung können nun, aufgrund der kleineren Abstände zwischen den Zahlen, mehrere Zahlen im eingeplanten Toleranzbereich liegen und so die Suche nach dem richtigen Sprungziel erschweren. Abbildung 138 und Abbildung 139 demonstrieren die Netzhautbilder von Chart B bzw. Chart C bei Verfehlen des Sprungzieles um einen identischen Betrag in Richtung und Größe.

Das Auffinden der nächsten Zahl benötigt folglich auf dem Chart C mehr Konzentration, die dem Probanden für die Abstimmung der einzelnen Augenmuskelbewegungen, der Akkommodation oder für die visuell-verbale Integration verloren geht. Ist der Proband überfordert, so muss er auf eine niedrigere neurologische Leistungsstufe zurückgehen und es kommt zum Abbruch oder zum motor overflow (Kapitel 3.7).

³²³ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 63

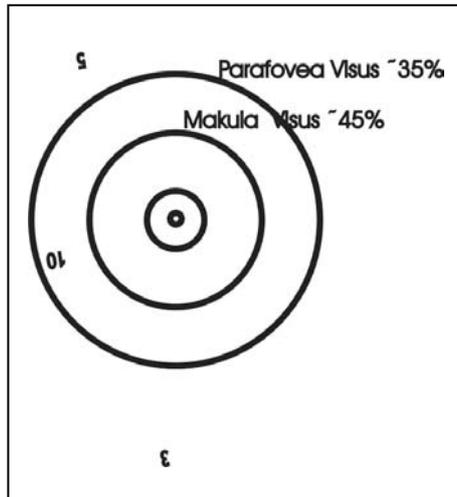


Abbildung 138: Ausschnitt des Netzhautbildes bei ungenauem Zielsprung bei Chart B

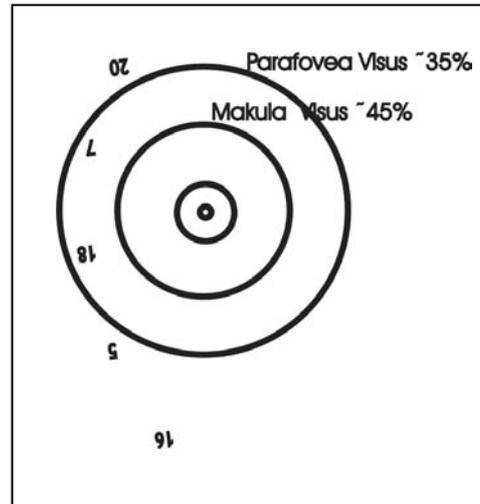


Abbildung 139: Ausschnitt des Netzhautbildes bei ungenauem Zielsprung bei Chart C

5.5.4 Wichtige Größen und Distanzen

Verringert man den Abstand zu den einzelnen Übungsblättern, so sinkt die geforderte Visusleistung. Ein peripheres Erkennen der Zahlen wird jedoch nicht ermöglicht, da mit geringerem Blattabstand gleichzeitig das Bild der als nächstes zu erreichenden Zahl auf der Netzhaut weiter peripher liegt. Die Größe des benötigten Blicksprunges steigt demnach an. Dies hat des Weiteren zur Folge, dass die Anzahl der Einfachsaccaden, mit der das Ziel erreicht wird, abnimmt. Fey fand die in Abbildung 140 graphisch dargestellten Häufigkeiten von Einfachsaccaden über einen Zielwinkel von 6° bis 84° bei „geübten“ Personen. Der Rest sind jeweils Mehrfachsaccaden.

Hält der Proband das Blatt statt in 40cm in 25cm, so liegen die auszuführenden Blicksprünge in einer Größenordnung von ca. 36° . Bei Zielwinkeln von 36° liegt die relative Häufigkeit von Einfachsaccaden unter 50%.

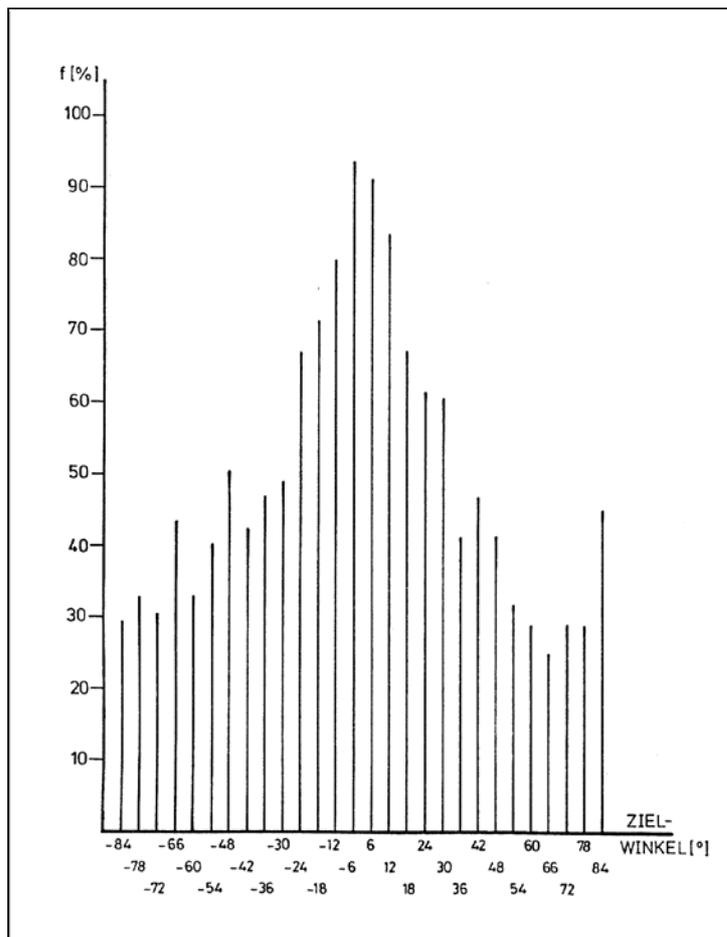


Abbildung 140: Relative Häufigkeit von Einzelsaccaden über einen Zielwinkel von 6° bis 84°³²⁴

Der Proband erlebt also seltener ein positives Feedback, welches den Lernprozess unterstützt. Er findet häufiger die zu erreichende Zahl nicht mehr und muss die Übung dadurch häufiger abbrechen und neu beginnen. Dies führt unweigerlich zur Abnahme der Motivation des Probanden, die Übung durchzuführen.

Ist die Frustrationsschwelle des Probanden überschritten, so nützt auch die Erkenntnis nichts, die Fey in seinem Experiment mit der Zielversetzung nachweisen konnte, dass mit Zunahme der Zielentfernung ein schnellerer Lerneffekt der Erstsaccade eintritt.

Aufgrund dieser Überlegung könnte man die Anordnung der Zahlen auf dem vertikal ausgerichteten Nummernchart wahrscheinlich noch verbessern. Geht man von der Annahme aus, dass die Genauigkeit der Erstsaccade in vertikaler Richtung genauso gut ist wie in horizontaler, so ist die Durchführung der Übung mit dem vertikal ausgerichteten Nummernchart wesentlich schwieriger.

³²⁴ Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983, S. 92

Der Abstand zwischen den Zahlen beträgt hier überall nur 10mm. Sind die Ausführungen der Erstsaccade ungenau, so benötigt der Proband sehr viel Konzentration, um die zu erreichende Zahl aufzufinden. Zu Beginn der Übung könnte dies den Probanden überfordern und es käme folglich öfters zum Abbruch der Übung sowie zur Motivationsabnahme beim Probanden. Aus diesem Grunde wäre eine Anordnung ähnlich der des horizontal ausgerichteten Nummerncharts vielleicht empfehlenswerter.

5.5.5 Geeignete Zielpersonen

In den täglichen Sehsituationen ist die Ausübung von Saccaden fester Bestandteil. Damit das Sehen möglichst effektiv wird, ist demnach jeder auf eine korrekte Ausführung von Saccaden angewiesen. Die Sprungbewegungs-Übungen können deshalb als eine der Grundübungen angesehen werden, die von jedem beherrscht werden sollten.

5.5.6 Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden

Die Übung sollte vom Probanden möglichst mit gerade Kopf- und Körperhaltung durchgeführt werden. So erreicht man, dass zur Ausführung der horizontalen und vertikalen Blicksprünge hauptsächlich die geraden Augenmuskeln aktiviert/innerviert werden müssen. Durch Korrekturen der Haltung bekommt der Proband auch in dieser Übung noch einmal ein Feedback im Bezug auf seine Ausrichtung und kann so ein genaueres Körperbewusstsein entwickeln. Auch der ständige Sprungwechsel zur rechten und linken Körperhälfte, wenn das Blatt mittig zum Probanden ausgerichtet liegt, helfen bei der Entwicklung einer besseren Bilateralität (Kapitel 2.5.1).

In der Regel sollte die Größe der Brillenfassung bei dieser Größe der Blicksprünge noch unerheblich sein. Um den Blick durch das Brillenglas zu garantieren, sollte der Glasdurchmesser bei einem HSA von z.B. 15mm mindestens ca. 3,5mm um den Nahdurchblickspunkt betragen.

Wird die Übung binokular ausgeführt, so sollte daran gedacht werden, dass bei Brillenträgern mit hohen Aniseikonien der Schwierigkeitsgrad erhöht wird, da in den Durchblickspunkten unterschiedliche prismatische Wirkungen entstehen können.

Um die Zielgenauigkeit der Sprungbewegungen zu kontrollieren, kann der Optometrist die Augenbewegungen des Probanden beobachten. Je ungenauer diese sind, desto häufiger wird der Proband suchende Augenbewegungen ausführen, um sich neu zu orientieren. Damit der Proband die Zahlen nicht auswendig aufsagt, sollte er sie immer erst dann aussprechen, wenn er sie genau sehen kann. Dies erleichtert auch die Kontrolle der Übung für außenstehende Personen, da sich die Augen im Moment der Aussprache nicht bewegen dürfen.

5.5.7 Ziel der Übung

Ziel der Übung ist die Verbesserung:

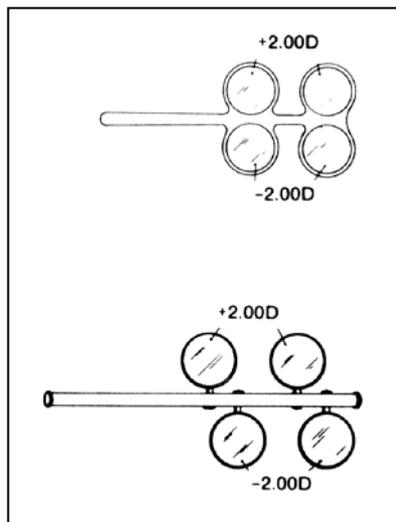
- der visuellen Aufmerksamkeit
- der räumlichen Organisation (visuo-spatial orientation)
- der zentral-peripheren Organisation zur Bestimmung der exakten Zielkoordinaten in Bezug auf
 - Sprungweite
 - Sprungrichtung
- der Feinabstimmung für die Innervierung/ Aktivierung, der für die motorisch auszuführende Bewegung zuständigen Mechanismen (visuo-motor)
- der Koppelung der visuellen Systeme (Akkommodationszustand, Vergenzstellung)
- der visuellen Erinnerungsfähigkeit (visual memory)
- der visuell-verbalen Integrationsfähigkeiten.

5.6 Akkommodations Rock $\pm 2,0$ dpt (mono)

Die Akkommodations Rock-Übung spricht in erster Linie den dritten Kreis von Skeffington an. Sie dient demzufolge dem Identifizierungsprozess (Kapitel 2.1).

5.6.1 Benötigte Übungsutensilien

Für die Akkommodations Rock-Übung benötigt der Proband eine Augenklappe und eine Leseprobe, sowie im Regelfall einen Flipper (Abbildung 141), mit der Gläserstärke von $-2,0$ dpt und $+2,0$ dpt.



Ausnahmen sind indes z.B. presbyope Personen. Hier sollte das zum Üben verwendete Glas maximal dem Betrag der halben erreichbaren Akkommodationsbreite entsprechen.³²⁵

Abbildung 141: verschiedene Ausführungen von Flippern

5.6.2 Durchführung der Übung

Die Leseprobe wird dem Probanden in einem Abstand von ca. 40cm dargeboten. Nachdem die Augenklappe aufgesetzt wurde, ist der Proband nun gefordert, abwechselnd die Buchstaben auf der Leseprobe mit dem $+2,0$ dpt und $-2,0$ dpt Glas klar und deutlich zu sehen. Hat er Schwierigkeiten im Bezug auf die Akkommodationsflexibilität (Kapitel 3.29) und schafft es nicht, die Buchstaben zu erkennen, so kann zum Erleichtern der Übung auch mit einer geringeren Wirkung der Gläser oder mit einer vergrößerten Schrift begonnen werden.

³²⁵ Scheiman, M.: Clinical Management of Binocular Vision, Philadelphia 1996, S.163f.

5.6.3 Angesprochene Funktionen und Hintergründe

Hält der Proband das Minus- oder Plusglas vor das geöffnete Auge, so erreicht die Netzhaut im ersten Moment ein unscharfes Bild. Dieses unscharfe Netzhautbild wird in der Regel durch ein Kontrollsystem registriert, welches daraufhin ein Signal an den Ziliarmuskel/ Linsen-Mechanismus sendet, um ein klares Bild zu erzeugen (Kapitel 2.3.1).

Wie in den theoretischen Grundlagen im Kapitel 2.3.1 bereits erwähnt, beträgt die Latenzzeit, bis die Akkommodation einsetzt, nach Schor ca. 370ms. Danach erfolgt innerhalb einer Zeitkonstante, welche unabhängig vom Akkommodationsbetrag bei durchschnittlich ca. 250ms liegt, eine Dioptrienänderung von 63% des gesamten Akkommodationsbetrages.

Die gesamte Akkommodationsänderung bei einem Wechsel von $+2,0\text{dpt}$ zu $-2,0\text{dpt}$ oder umgekehrt entspricht 4dpt. Demzufolge ergibt sich für die Akkommodationsänderung innerhalb der 250ms eine Geschwindigkeit von ca. 10dpt/s. Diese Geschwindigkeit bildet einen Mittelwert, welcher genau zwischen der durchschnittlichen Geschwindigkeit für Akkommodationsänderungen von 5dpt/s und der maximalen Akkommodationsgeschwindigkeit von 15dpt/s liegt. Die komplette Reaktionszeit für eine Akkommodationsänderung der Dioptriegröße von 4dpt lag bei den Untersuchungen von Hung und Ciuffreda bei $1,15 \pm 0,15\text{s}$.

Die eben genannten Daten spiegeln Durchschnittswerte wieder, die typischerweise nicht von jeder Person erreicht werden. Es gibt große individuelle Unterschiede nicht nur in der Latenzzeit, sondern auch in der Länge der Zeitkonstante, in welcher 63% der Dioptrienänderung stattfinden. Entsprechen einer oder beide Werte nicht der Norm, so wird auch die benötigte Zeit für eine Umdrehung des Flippers größer und die in Kapitel 2.3.1 genannten Normwerte pro Minute, werden nicht mehr erreicht.

Um der Frage nachzugehen, ob es möglich ist, mittels Training die individuellen Unterschiede zu den Normwerten wieder auszugleichen, untersuchte man die Veränderungen der Latenzzeit, der Zeitkonstante und der für eine

Flipperumdrehung benötigten Zeit dreier Personen über einen Zeitraum von mehreren Wochen.

Abbildung 142 zeigt die wöchentlichen Veränderungen der Testpersonen. Bei Testperson eins entsprach vor allem die Länge der Zeitkonstante (TC) sowohl beim Akkommodieren (-TC) als auch beim Desakkommodieren (+TC) nicht der Norm. Hierdurch benötigte die Testperson zu Beginn des Trainings ca. 45s für eine Umdrehung des Flippers. Nach vier Wochen erfolgte in beiden Richtungen eine Halbierung der Zeitkonstante, in der 63% der Akkommodationsänderung stattfand. Hierdurch entstand schneller ein klares Bild nach jedem Wechsel des Glases und die Testperson war häufiger in der Lage, den Flipper zu wenden. Die Latenzzeit hingegen entsprach schon vor dem Training annähernd der Norm. Sie veränderte sich durch das Training nur minimal.

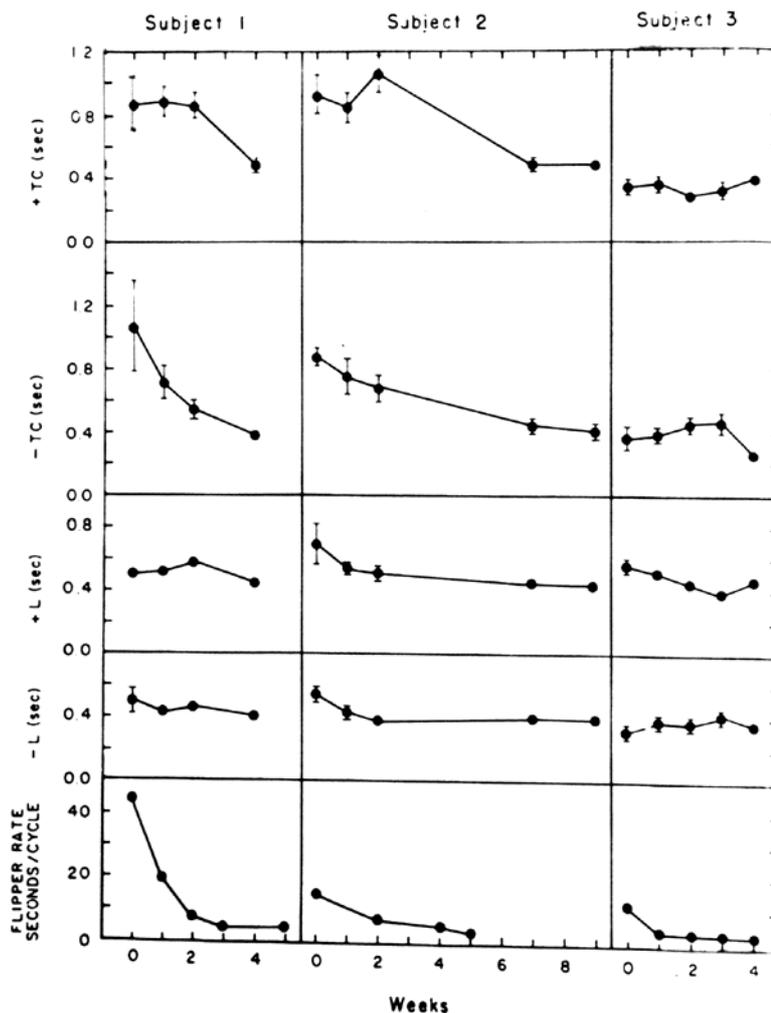


Abbildung 142:
Veränderungen der
Zeitkonstante (TC),
der Latenzzeit (L)
und der benötigten
Zeit für eine
Flipperumdrehung³²⁶

³²⁶ Schor, C., Ciuffreda, K.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.106

Bei Testperson zwei traten durch das Training ebenfalls positive Veränderungen bei der Latenzzeit und der Zeitkonstante auf. Diese konnten auch noch vier Wochen nach Beendigung des Trainings nachgewiesen werden. Entsprachen hingegen die Werte, wie bei Testperson drei, schon annähernd den Normwerten, so scheint ein Training nur noch geringfügige Veränderungen mit sich zu bringen. Eine Verbesserung scheint demnach nur innerhalb bestimmter Grenzen möglich zu sein.

Schor belegt des Weiteren, dass diese Besserung der Akkommodationsänderung (Latenz + Reaktionszeit) auch im alltäglichen Leben messbar ist. Abbildung 143 zeigt die aufgezeichnete Akkommodationsänderung beim Wechseln der Objektentfernung von 1,5dpt (66 cm) auf 4,5dpt (22cm) und zurück. Im oberen Teil ist der Verlauf der Akkommodationsreaktion des Probanden vor, im unteren Teil nach Visualtraining dargestellt. Die Reaktionszeiten (Latenz plus Änderung) der Akkommodation und auch der Desakkommodation wurden deutlich verkürzt.

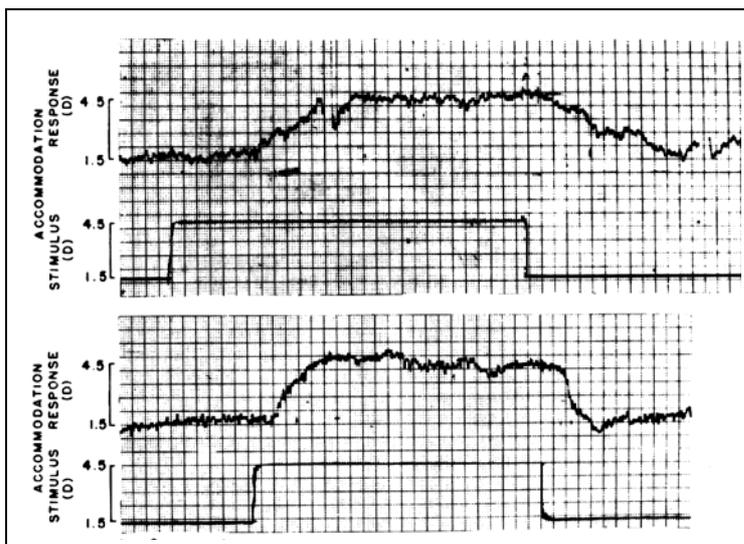


Abbildung 143:
Reaktionszeit der
Akkommodation bzw.
Desakkommodation vor
(oben) und nach (unten)
VT³²⁷

Die aufgeführten Trainingseffekte könnten mittels der bisher gefundenen Erkenntnisse in der Neurophysiologie wie folgt erklärt werden:

Das Kontrollsystem sendet, wenn es z.B. durch Unschärfe aktiviert wird, ein Aktionspotential aus, welches eine Akkommodationsänderung hervorrufen soll. Dieses wird über die Nervenfasern an den Zilarmuskel weitergeleitet. Am synaptischen Spalt findet dann die Übertragung von den Nervenfasern auf die Muskelfasern statt.

³²⁷ Schor, C.M., Ciuffreda, K.J.: Vergence eye movements, Woburn (Butterworth) 1983, S.105

Trainiert man seine Akkommodationsflexibilität, so wird durch die Plus- und Minusgläser das Kontrollsystem häufig aktiviert und an den Endplatten der Nerven entsteht eine ständig veränderte Ausschüttung von Überträgerstoffen (Abbildung 144).

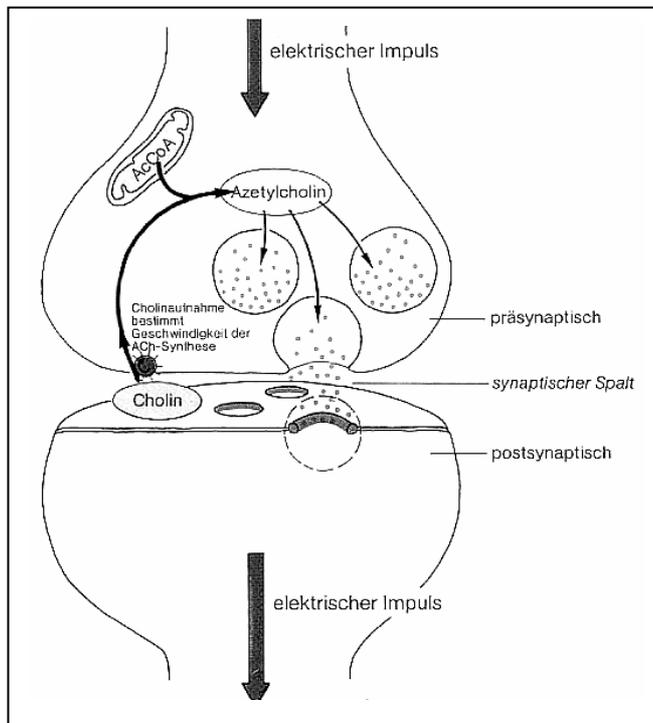


Abbildung 144: Modell einer cholinerge Übertragung von einer Nerven- auf eine Muskelzelle³²⁸

Durch die vielfache Benutzung der Synapse, kann es zu einer erheblichen Vergrößerung der postsynaptischen Potentiale kommen. Man bezeichnet diesen Vorgang als synaptische Potenzierung.³²⁹ Die positiv veränderte Ausschüttung, Aufnahme oder auch die Weiterleitung könnte dazu führen, dass eine schnellere Innervierung/Aktivierung des Muskels stattfindet. Hierbei ist die Ursache für die Veränderung der Potentiale eine Modifikation der Menge an Überträgerstoff. Die synaptische Potenzierung kann folglich als ein durch Üben erleichteter Ablauf eines nervösen Vorganges bezeichnet werden und muss als Lernprozess angesehen werden. Der Effekt kann minuten- bis stundenlang anhalten.

Auch der umgekehrte Fall, dass die postsynaptischen Potentiale kleiner werden, wurde beobachtet (synaptische Depression). Wechselt eine Person demnach selten seine Akkommodationszustand, so könnte die Gesamtgeschwindigkeit (Latenz- und Reaktionszeit) seiner Akkommodationsänderung verlangsamen.

³²⁸ Silbernagel, S., Despopoulos, A.: Taschenbuch der Physiologie, Stuttgart 1987, S.55

³²⁹ Bäßler, U.: Sinnesorgane und Nervensystem, Studienreihe Biologie Band 2, Stuttgart 1979, S.50

Ein Training der Akkommodationsflexibilität fördert also die Ausschüttung, Aufnahme und/oder auch die Weiterleitung von Reizsignalen. Hierdurch steigt indirekt die Fähigkeit zur schnelleren und größeren Akkommodationsänderung innerhalb einer bestimmten Zeit.

Um die Akkommodationsreaktion über weitere Faktoren anzuregen, ist es vorteilhaft, wenn der Proband gleichzeitig Signale über sein kognitives System auszusenden lernt, die zur Kontraktion oder zur Delatation des Muskels beitragen. Hierzu sollte der Proband ein „Gefühl der Anspannung“ bei der Akkommodation und ein „Gefühl der Entspannung“ bei der Desakkommodation entwickeln. Wird eine entsprechende Akkommodationsreaktion vom Probanden erwartet, so ist es im Bereich des Möglichen, dass eine zusätzliche Aktivierung/ Innervierung aufgrund der Vorstellung erzeugt werden kann. Bei der Durchführung der Übung ist es deshalb wichtig, dass der Proband bewusst wahrnimmt, was sich beim Blick durch das Glas verändert. Er sollte versuchen die Anspannung der Augenlinse beim Blick durch das Minusglas zu spüren. Die Buchstaben werden kleiner und das Erkennen von Details ist wesentlich anstrengender. Entsprechendes gilt für das Plusglas. Hier ist es wichtig, dass der Proband die Entspannung verinnerlicht. Die Buchstaben werden größer und Details werden leichter sichtbar.

5.6.4 Wichtige Größen und Distanzen

Verwendet man zur Durchführung der Akkommodations Rock-Übung eine Leseprobe mit großen Buchstaben, so wird der Anreiz (Stimulus) des Akkommodationssystems durch die zunehmende Exzentrizität der Hell-Dunkel-Kante der Buchstaben schwächer. Der Proband hingegen nimmt die durch das Glas entstehende Unschärfe aufgrund der geringen Sehanforderungen nicht mehr so stark wahr. Die Übung erscheint ihm folglich leichter zu sein. Dies steigert die Motivation des Probanden, da er trotz der geringeren Leistung ein positives Feedback erhält. Nach und nach kann dann das Leistungsniveau durch kleiner werdende Buchstaben erhöht werden. Nachteilig an dieser Variante ist allerdings, dass die durch die Unschärfe bedingte Akkommodation zu Beginn nur reduziert angesprochen wird.

Besteht hingegen die Möglichkeit, zuerst Gläser mit geringerer Dioptrienzahl zu verwenden, so verspricht dies wahrscheinlich einen schnelleren Trainingserfolg. Durch die Abnahme der Dioptriendifferenz beim Wechsel des Glases reduziert sich lediglich die geforderte Akkommodationsgeschwindigkeit. Bei einem Flipper mit $\pm 1,0\text{dpt}$ z.B. läge die Akkommodationsgeschwindigkeit innerhalb der durchschnittlichen Zeitkonstante von 250ms bei 5dpt/s. Dies erleichtert ebenfalls für den Probanden die Übung und steigert seine Motivation. Vorteilhaft an dem Wechsel der Flipperstärke ist, dass der Proband von Anfang an aufgrund der Unschärfe einen starken unterstützenden Anreiz (Stimulus) des Akkommodationssystems hat, da die Exzentrizität der Hell-Dunkel-Kante unverändert bleibt. Des Weiteren kann der Proband durch die kleinere Buchstabengröße seine Akkommodationsreaktion genauer überprüfen.

Ein Erschweren der Übung zum Trainieren der Akkommodationsgeschwindigkeit ist nur bis zu einem gewissen Grad sinnvoll, da diese maximal ca. 15dpt/s betragen kann (Kapitel 2.3.1). Soll die maximale Akkommodationsgeschwindigkeit innerhalb der Zeitkonstante von 250s erreicht werden, so muss insgesamt eine Akkommodationsänderung um 6dpt erfolgen.

In der Regel verwendet man hierfür Flipper mit der Gläserstärke von +2,0/-4,0dpt. Die unsymmetrische Verteilung der Gläserstärke liegt darin begründet, dass lediglich eine maximale Desakkommodation von 2,5 dpt bei einer Blattentfernung von 40cm möglich ist. Werden die Gläser jedoch abwechselnd vor dem Auge gewendet, ohne dass der Proband an dem Glas vorbei sehen kann, so ist der Betrag der Akkommodationsänderung, sowohl in positiver als auch in negativer Richtung, der gleiche.

Die Akkommodations Rocks-Übung kann allerdings auch, wie die in Kapitel 2.4.2 aufgeführten Untersuchungen von Schor gezeigt haben, vorübergehend das Gegenteil des gewünschten Trainingseffektes bewirken. Wird das Akkommodationssystem durch zu schnelle Wechsel überlastet, so ist eine zusätzliche Aktivierung/ Innervierung der Akkommodation über das Vergenzsystem nötig, um die geforderte Akkommodationsänderung zu ermöglichen. Die Aktionspotentiale des Kontrollsystems, welche durch die Unschärfe erzeugt wurden, werden vermutlich bei zu schnellem Wechsel der

Gläser, da noch nicht genügend Überträgerstoffe wieder frei gesetzt werden können und/oder deren Aufnahme noch durch die Akkommodationsänderungen zuvor behindert ist, schwächer an den Muskel übertragen. Durch das Einsetzen einer Konvergenz- bzw. Divergenzbewegung kann die Akkommodation bzw. Desakkommodation über weitere Aktionspotentiale, die durch das Vergenzsystem ausgelöst werden, stimuliert werden. Dies ist allerdings bei der Akkommodations Rock-Übung nicht das Ziel. Hier soll die Akkommodation alleine aufgrund der Unschärfe angeregt werden.

Die Einschränkung der Akkommodationsreaktion auf Unschärfe durch Überlastung ist zeitlich begrenzt, so dass eine dauerhafte Beeinflussung sehr unwahrscheinlich ist.

5.6.5 Geeignete Zielpersonen

Die Akkommodations Rock-Übung ist insbesondere für die Personen geeignet deren Akkommodationsreaktion aufgrund von Unschärfe nur langsam angeregt und/oder ausgeführt wird. Diese Personen werden beim Testen der monokularen Akkommodationsflexibilität dadurch auffällig, dass sie die in Kapitel 2.3.1 aufgeführten Normwerte nicht erreicht werden.

5.6.6 Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden

Um die Qualität seines Akkommodationssystems zu überprüfen, sollte der Proband zum einen bewerten, ob die Buchstaben beim Wechsel der Gläser in beide Richtungen gleich schnell scharf zu sehen sind. Des Weiteren sollten die Gläser, um eine Überlastung des Akkommodationssystems zu vermeiden, nicht eher gewechselt werden, bevor die Buchstaben nicht klar und deutlich zu sehen sind. Kann dieser Zustand nicht erreicht werden, so sollte die Übung für den Probanden durch eine geringere Gläserwirkung oder größere Buchstaben erleichtert werden.

Der Optometrist oder eine Kontrollperson kann die Akkommodationsreaktion des Probanden überprüfen, indem er beim Wechsel der Gläser auf die Änderung der

Pupillengröße achtet. Beim Akkommodieren verengt sich die Pupille aufgrund der Koppelung an die Akkommodation; beim Desakkommodieren hingegen erweitert sie sich.

5.6.7 Ziel der Übung

Die Akkommodations Rock-Übung hat folgende Ziele:

- In jedem Auge soll eine gleichschnelle, den Normwerten entsprechende Aufnahme (Latenzzeit) und Weiterleitung (Zeitkonstante) der Akkommodationsreaktion auf Unschärfe erzielt werden.
- Damit erhöhen sich indirekt die Geschwindigkeit der Akkommodationsänderung und die Größe der Akkommodationsamplitude, die innerhalb einer bestimmten Zeit erfolgen kann. Die Messwerte der Akkommodationsflexibilität und -breite steigen. Dies ist vermutlich allerdings nur innerhalb gewisser Grenzen möglich.
- Die Übung soll dem Probanden ein Gefühl für die Anspannung und Entspannung der Augenlinse vermitteln, um über weitere Faktoren, die Akkommodationsreaktion zu stimulieren.

5.7 Akkommodations Rock $\pm 2,0\text{dpt}$ (bino)

Die binokulare Durchführung der Akkommodations Rock-Übung ist eine Folgeübung zur monokularen Akkommodations Rock-Übung. Sie zählt ebenfalls zum Teilgebiet der Akkommodations-Übungen und dient somit dem Identifizierungsprozess nach Skeffington (Kapitel 2.1).

5.7.1 Benötigte Übungsutensilien

Für die binokulare Akkommodations Rock-Übung benötigt der Proband eine Leseprobe, sowie einen Flipper (Abbildung 141, S. 211). Im Regelfall beträgt die Gläserstärke, wie bei der monokularen Durchführung, $\pm 2,0\text{dpt}$. Ausnahmen sind indes z.B. presbyope Personen. Hier sollte das zum Üben verwendete Glas maximal dem Betrag der halben erreichbaren Akkommodationsbreite entsprechen.³³⁰

5.7.2 Durchführung der Übung

Da die binokulare Akkommodations Rock-Übung eine Folgeübung ist, sollte mit ihr erst begonnen werden, wenn der Proband monokular in der Lage ist, die Gläserwirkungen des Flippers in beiden Richtungen gleich schnell und der Norm entsprechend zu kompensieren.

Zur Durchführung wird dem Probanden die Leseprobe, wie bei der monokularen Übung, in einem Abstand von ca. 40cm dargeboten. Der Proband blickt nun gleichzeitig mit beiden Augen entweder durch die $+2,0\text{dpt}$ oder $-2,0\text{dpt}$ Gläser, bis er die Buchstaben klar und einfach sehen kann. Bei Schwierigkeiten kann die Übung durch Verringerung der Gläserwirkung oder durch Darbietung einer Leseprobe mit vergrößerter Schrift erleichtert werden.

Ziel der Übung ist es hierbei, dass der Proband die Wirkungen der Gläser im Flipper in beiden Richtungen möglichst gleich schnell kompensieren kann. D.h.

³³⁰ Scheiman, M.: Clinical Management of Binocular Vision, Philadelphia 1996, S.163f.

beim Wechsel erscheinen ihm die Buchstaben in beiden Richtungen genauso schnell „scharf“ und „einfach“.

5.7.3 Angesprochene Funktionen und Hintergründe

Betrachtet der Proband den zu erkennenden Text, bevor der Flipper hinzugefügt wird, so werden die angeblickten Buchstaben bei binokularer Betrachtung auf korrespondierende Netzhautareale abgebildet. Fügt man nun den Flipper hinzu, so wird auf der Netzhaut zuerst ein unscharfes Bild entstehen, da der Gesamtbrechwert des Systems (Auge + Flipper) nicht mehr der Objektebene entspricht.

Hält man z.B. ein Plusglas vor ein Auge, so erzeugt dieses, da sich das Objekt innerhalb der Strecke $\overline{FHH'}$ befindet, ein virtuelles, aufrechtstehendes, vergrößertes Bild im Objektraum (Abbildung 145). Dieses Bild wird nun für den Betrachter anstelle des Ursprünglichen das zu fixierende Objekt.

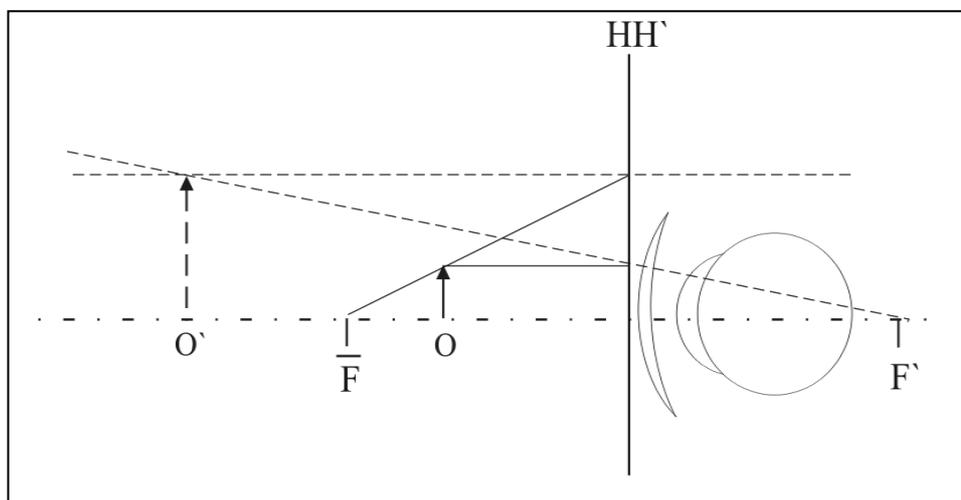


Abbildung 145: Plusglas - Abbildungsfall Objekt innerhalb der Strecke $\overline{FHH'}$

Bei der binokularen Durchführung entsteht so quasi für jedes Auge ein vergrößertes Bild im Objektraum.

Diese Bilder lösen nun, obwohl sich das System (Auge + Flipper) noch nicht auf die neue Objektebene ausgerichtet hat und die Bilder unscharf auf der Netzhaut abgebildet werden, weiterhin einen Fusionsreiz aus.

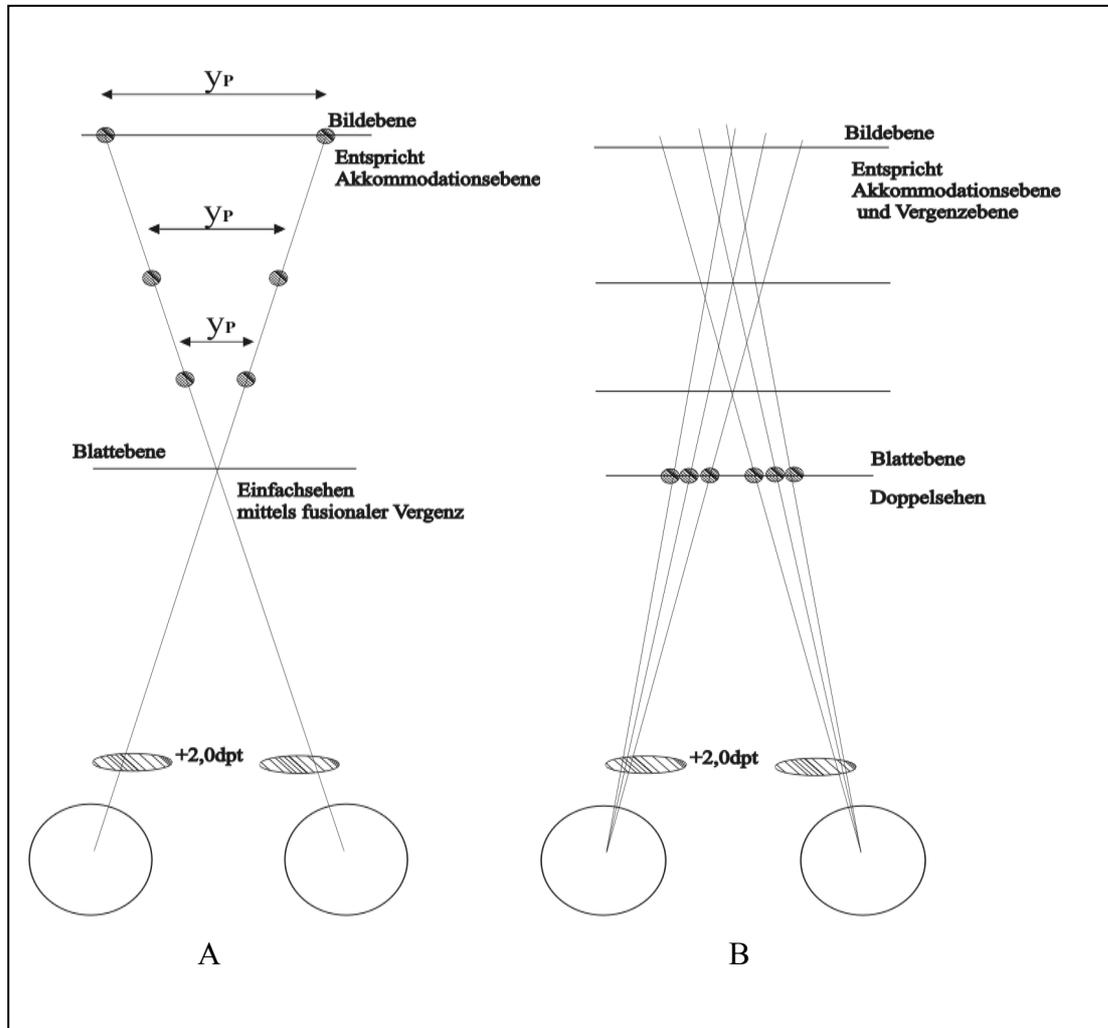


Abbildung 146: binokularer Blick durch die Plusgläser des Flippers. A: Akkommodation ist auf die Bildebene und die Vergenz auf die Blattebene ausgerichtet (entkoppelt). B: Akkommodation und Vergenz sind auf die Bildebene ausgerichtet (gekoppelt).

Auf der Grundlage der in Kapitel 2.4.3 angestellten Vermutungen, überwiegt dieser Fusionszwang den Akkommodationsanreiz, der durch die unscharfen Bilder entsteht. Es ist demnach anzunehmen, dass die Fusion der Buchstaben weiterhin erhalten bleibt und die Akkommodation im Anschluss versucht, sich von dem Vergenzsystem zu entkoppeln. Abbildung 146 A verdeutlicht den vermutlichen Vorgang der Entkopplung von Akkommodation- und Vergenzsystem.

Durch die konstantbleibende Blattentfernung hat der Proband weiterhin ein Gefühl der Nähe. So ist anzunehmen, dass die hierdurch hervorgerufene proximale Vergenz

erhalten bleibt und nur die an die Desakkommodation gekoppelte akkommodative Vergenz verringert wird. Es kann folglich so lange desakkommodiert werden wie die fusionale Vergenz die nachlassende akkommodative Vergenz ersetzt. Proximale und fusionale Vergenz gleichen also gemeinsam die entstehende Querdissipation y_p der durch das Plusglas erzeugten Bilder aus.

Im gekoppelten System geht man davon aus, dass die Desakkommodation ein Nachlassen der akkommodativen Vergenz von ca. $4^{\text{cm}}/\text{m}$ pro Dioptrie zur Folge hat. Dieser Betrag ist jedoch abhängig vom Koppelungsverhältnis, welches näherungsweise durch die AC/A Ratio bestimmt werden kann. Ist der AC/A hoch, so ist an die Desakkommodation eine größere Divergenzbewegung der Augen gekoppelt und der zum Ausgleich benötigte positive fusionale Vergenzbedarf (Konvergenz; Kapitel 3.28) wird höher.

Beim Vorhalten der Plusgläser wird also nicht nur die Fähigkeit zur negativen Akkommodation (NRA) angesprochen, sondern es entsteht gleichzeitig indirekt ein erhöhter positiver fusionaler Vergenzbedarf (PRK). Sind die Fähigkeiten des Probanden hierin beschränkt, so wird die Stärke des Fusionszwangs überwiegen und eine weitere Desakkommodation verhindern. Der Proband nimmt infolgedessen das Objekt einfach, aber unscharf wahr und erreicht die im Kapitel 2.3.1 genannten Normwerte der binokularen Akkommodationsflexibilität nicht.

Würde dies nicht passieren und das Akkommodationssystem würde das Vergenzsystem mitziehen, so sähe der Proband, wie in Abbildung 146 B dargestellt, doppelt. Hierbei liegen die wahrgenommenen Bilder des rechten und des linken Auges ungekreuzt und umso mehr auseinander je weiter die Vergenzebene von der Blattebene entfernt liegt.

Beim Blick durch die Minusgläser des Flippers ist es entsprechend. Ein Minusglas erzeugt von einem realen Objekt ein virtuelles, aufrechtstehendes, verkleinertes Bild innerhalb der Strecke $\overline{F'HH'}$ (Abbildung 147).

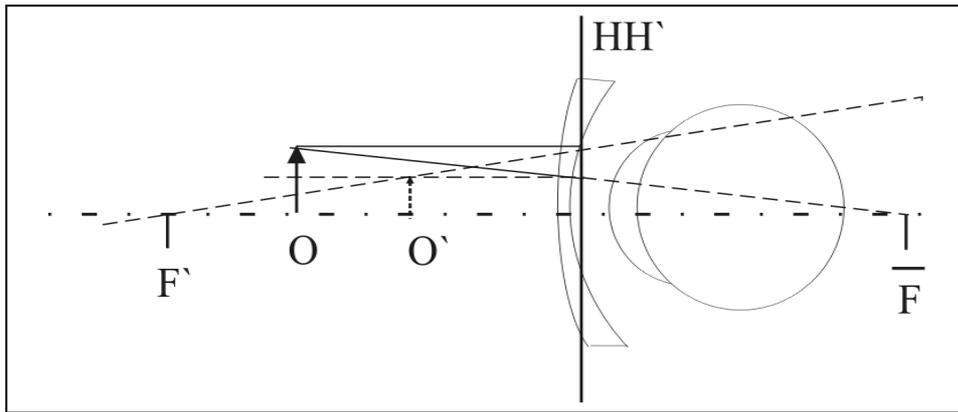


Abbildung 147: Minusglas - Abbildungsfall Objekt im endlichen Objektraum

Dementsprechend muss der Proband nun akkommodieren, woran ebenfalls eine Vergenzbewegung gekoppelt ist, hier eine Konvergenz. Deshalb wird er nun indirekt gefordert diesen Betrag durch negative fusionale Vergenz (Divergenz) auszugleichen, um einfach und klar zu sehen (Abbildung 148).

Würde das Vergenzsystem mit der Akkommodation von der Blattebene in Richtung der Bildebene wandern, so würde der Proband, wenn keine Bahnung oder Hemmung eines Scheindruckes auftritt, nun gekreuzt liegende Doppelbilder wahrnehmen.

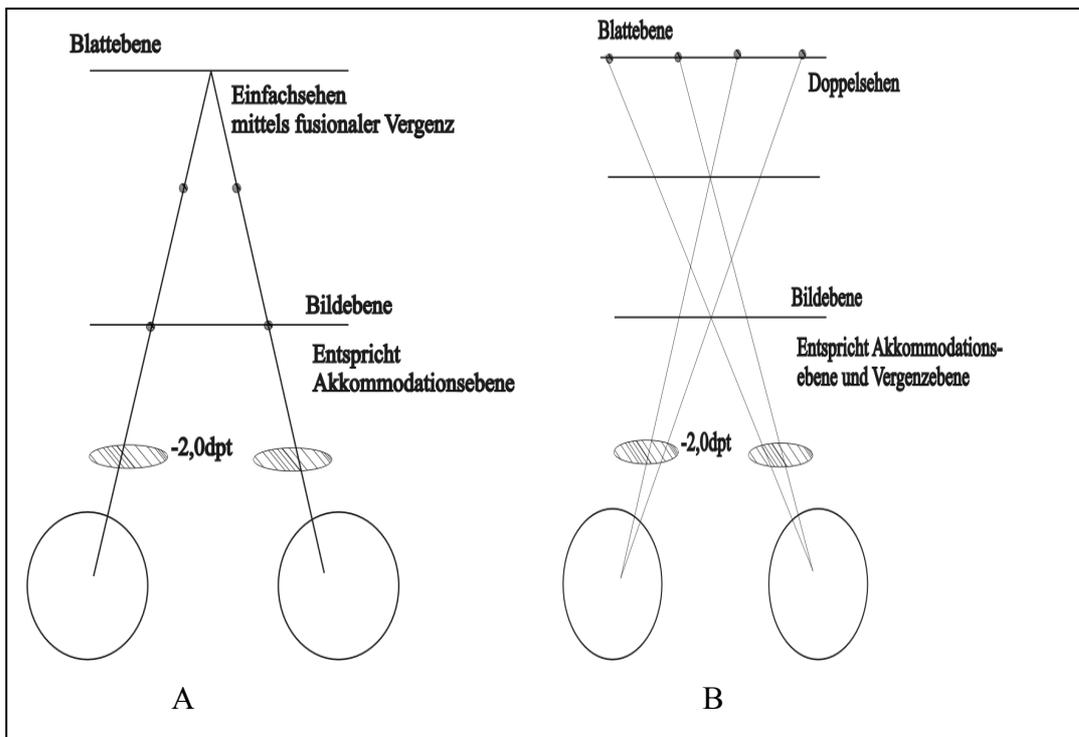


Abbildung 148: binokularer Blick durch die Minusgläser des Flippers.

Der Proband trainiert deshalb beim Blick durch die Minusgläser seine positive relative Akkommodation (PRA; Kapitel 3.27) und indirekt seine negativen fusionalen Vergenzreserven (NRK; Kapitel 3.27), da die Fusion der Buchstaben ihn zwingt, die Vergenzstellung aufrechtzuerhalten. Die Höhe des benötigten negativen fusionalen Vergenzbedarfes ist hierbei wiederum vom Koppelungsverhältnis der Akkommodation und Vergenz und damit vom AC/A abhängig. Je höher die AC/A ist, desto größer wird der benötigte negative fusionale Vergenzbetrag.

Da mit der binokularen Durchführung erst begonnen werden sollte, wenn der Proband in der Lage ist, die Gläserwirkungen monokular der Norm entsprechend zu kompensieren, kann von einer normalen monokularen Akkommodationsflexibilität in beiden Richtungen ausgegangen werden. Schafft der Proband es bei der binokularen Ausführung nicht, klar und einfach zu sehen, werden seine Fähigkeiten deshalb indirekt durch seine fusionalen Vergenzreserven beschränkt.

Die binokulare Durchführung der Akkommodations Rock-Übung fördert also nicht nur die Aktivierung/ Innervierung der Akkommodation aufgrund von Unschärfe, sondern trainiert auch im erheblichen Maße die fusionale Vergenz. Im Unterschied zur O | O- und A | A-Divergenz- und Konvergenz-Übung muss der Proband diesmal von Anfang an die Fusion der Buchstaben aufrechterhalten und darf seine Vergenzstellung nicht ändern. Somit liegt bei der Ausführung der Akkommodations Rock-Übung ein stärkeres Gewicht auf dem gezielten Ausrichten der Aufmerksamkeit auf ein Objekt und auf der Haltefunktion der Augen. Hierdurch könnte folglich der Break-Point (Abreißpunkt) der Fusion erhöht werden.

Durch den ständigen Wechsel von Plus- und Minusgläsern könnte des Weiteren, nach der in der O | O-Divergenz- und Konvergenz-Übung angestellten Vermutung, eine Beeinflussung des Koppelungsverhältnisses von Akkommodation und Vergenz stattfinden. Die Plusgläserwirkung würde zu einer Erhöhung der Flexibilität (Kapitel 3.29) des Vergenzsystems in positiver Richtung (Konvergenz) beitragen und damit indirekt einen Anstieg der Anpassungsfähigkeit (Kapitel 3.30) des Vergenzsystems herbeiführen. Die Minusgläser hingegen hätten eine Erhöhung der Akkommodation in positiver Richtung und indirekt der Anpassungsfähigkeit der Akkommodation zur Folge. Die Fähigkeit der beiden Systeme sich anzupassen

gleicht sich infolge der Übung also immer mehr an. Nach Schor führt dies zu einer Veränderung der AC/A und CA/C Ratio in Richtung der Norm.

Ein Weiteres Ziel der Übung ist es, dass der Proband beim Blick durch die Flippergläser den auftretenden SILO-Effekt (Kapitel 3.9) wahrnimmt. Beim Blick durch die Plusgläser erscheint der zu betrachtende Text vergrößert und weiter entfernt, beim Blick durch die Minusgläser hingegen verkleinert und dichter gelegen.

Die Wahrnehmung des SILO-Effektes bestätigt die im Kapitel 2.4.1 erwähnte Koppelung des Entfernungsempfindens an die tonische Vergenzstellung. Die tonische Vergenzstellung dient als Referenzpunkt für das Entfernungsempfinden. Sie wird, wie die Akkommodation, durch Gläser verlagert. Je genauer der Proband die Lage seiner tonischen Vergenzstellung auswerten kann, desto besser kann er den SILO-Effekt wahrnehmen.

Beim Blick z.B. durch die Plusgläser liegt die Objektebene für den Probanden hinter der realen Blattebene. Je mehr die tonische Vergenzstellung in diese Richtung verlagert ist, desto stärker kann der Proband, wenn er in der Lage ist seine tonischen Vergenzstellung auszuwerten, den SILO-Effekt wahrnehmen. Würde der Proband hingegen die Verlagerung seiner tonischen Vergenzstellung durch die Plusgläser nicht bemerken und auswerten, so errechnet das kognitive System aus dem vergrößerten Netzhautbild und der Blattentfernung eine dichter gelegene Wahrnehmung des Textes. Dementsprechend entsteht eine SOLI-Wahrnehmung.

Wie bereits erwähnt, benötigt der Proband zur Fusion der Buchstaben einen erhöhten fusionalen Vergenzbedarf. Dieser hat nach Schor (Studie in Kapitel 2.4.1) zur Folge, dass das Fast-Fusion-System solange verstärkt aktiviert/ innerviert wird, bis eine Verlagerung der tonischen Vergenzstellung durch das Slow-Fusion-System herbeigeführt wurde. Die tonische Vergenzstellung verschiebt sich dabei in Richtung des erhöhten Vergenzaufwandes. Beim Blick durch die Plusgläser ist die fusionale Vergenz in positiver Richtung erhöht (Konvergenz). Die tonische Vergenz läge nach Adaptation entsprechend dichter zum Betrachter. Diese Anpassung hätte vermutlich zur Folge, dass die Wahrnehmung des SILO-Effektes bei längerer

Betrachtung geringer wird. Entsprechendes gilt ebenfalls wieder für den Blick durch die Minusgläser.

Ferner darf der Proband, um eine SILO-Wahrnehmung zu erhalten, nicht die Panumbereiche ausnutzen. Würde der Proband beim Blick durch die Plusgläser seine fusionale Vergenz (Konvergenz) vermindern, so käme es zu einer temporalen Ausnutzung der Panumbereiche und somit ebenfalls zu der unerwünschten Wahrnehmung nach vorne. Entsprechendes gilt für den Blick durch die Minusgläser. Hier würde eine Verminderung der negativen fusionalen Vergenz zu einer nasalen Ausnutzung der Panumbereiche führen. Dies hat eine Wahrnehmung nach hinten zur Folge.

5.7.4 Wichtige Größen und Distanzen

Möchte man die binokulare Durchführung der Akkommodations Rock-Übung erleichtern oder erschweren, so kann entweder die Schriftgröße der Leseprobe und oder die Stärke der Gläser im Flipper verändert werden. Die Auswirkungen solcher Änderungen wurden bereits bei der monokularen Durchführung der Akkommodations Rock-Übung (Kapitel 5.6.4) beschrieben, und es wird deshalb an dieser Stelle darauf verwiesen.

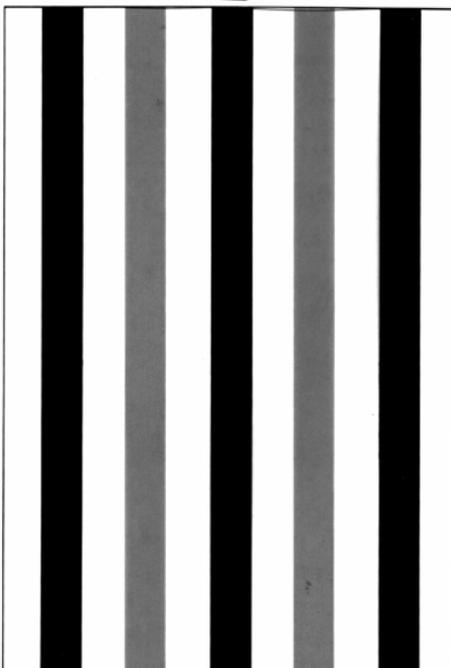
5.7.5 Geeignete Zielpersonen

Die binokulare Akkommodations Rock-Übung ist keinesfalls nur für Personen geeignete deren Akkommodationsflexibilität nicht der Norm entspricht, sondern auch insbesondere für Personen mit eingeschränkter fusionaler Vergenzreserve. Durch das Ausrichten der Aufmerksamkeit auf das zu fixierende Objekt lernt der Proband das betrachtete Objekt länger festzuhalten und erhöht so seinen Break-Point (Abreißpunkt) der Fusion.

5.7.6 Worauf sollte bei der Durchführung geachtet werden

Bei der binokularen Durchführung ist es wichtig, darauf zu achten, dass der Proband auch beim Blick durch die Flippergläser weiterhin sein binokulares Sehen aufrechterhält. Gelingt es dem Probanden nämlich nicht, die geforderte fusionale Vergenz aufzubringen, so kann das kognitive System des Probanden zur Vermeidung von Doppelbildern auch den Seheindruck eines Auges hemmen. Folglich wäre er dann ebenfalls in der Lage „einfach“ und „scharf“ zu sehen. Dies entspricht jedoch nicht dem Ziel der Übung.

Der Optometrist kann deshalb zum Überprüfen dem Probanden eine Rot-Grün-Brille aufsetzen und auf den zu erkennenden Text eine Rot-Grün-Folie legen. Suppressioniert nun der Probanden z.B. den Seheindruck des Auges mit dem Rot-Filter, so wird für ihn die Schrift unter der grünen Folie unlesbar. Entsprechendes gilt wenn er stattdessen den Seheindruck des Auges mit dem Grün-Filter unterdrückt. Hier erscheint die Schrift unter der roten Folie dunkel und kann folglich nicht mehr erkannt werden. Diese Art der Durchführung ist für den Proband um einiges schwerer, da die objektive Fusionsbedingung nicht mehr erfüllt ist. Jedes Auge sieht aufgrund der Folien nur unterschiedliche Teile des zu lesenden Textes.



In der Regel verwendet man deshalb Rot-Grün-Folien mit einem transparenten Streifen in der Mitte, so genannte Bar Reader (Abbildung 149). Im transparenten Bereich der Folie erhält der Proband nun in jedem Auge zwar ein andersfarbiges Bild des Textes, jedoch sind die Bilder hinreichend gleich, um fusioniert werden zu können.

Abbildung 149: Bar Reader

5.7.7 Ziel der Übung

Mit der Übung sollen folgende Ziele erreicht werden:

- In beiden Augen soll eine gleich schnelle, den Normwerten entsprechende Aufnahme (Latenzzeit) und Weiterleitung (Zeitkonstante) der Akkommodationsreaktion auf Unschärfe erzielt werden. Damit erhöhen sich indirekt die Geschwindigkeit der Akkommodationsänderung und die Größe der Akkommodationsamplitude, die innerhalb einer bestimmten Zeit erfolgen kann. Die Messwerte der Akkommodationsflexibilität und -breite steigen. Dies ist allerdings nur innerhalb gewisser Grenzen möglich.
- Es soll ein Training der fusionalen Vergenz erreicht werden. Die durch die akkommodative Vergenz erzeugte Änderung der Vergenzstellung muss mittels fusionaler Vergenz ersetzt werden. Infolge dessen trainiert der Proband beim Blick durch die Plusgläser seine positive und beim Blick durch die Minusgläser seine negative fusionale Vergenz.
- Der Proband soll ein gezieltes Ausrichten der Aufmerksamkeit auf ein zu betrachtendes Objekt erlernen. Dieses soll trotz der Beeinflussung durch den Flipper weiterhin fixiert und fusioniert bleiben. Damit könnte sich indirekt der Break-Point (Abreißpunkt) der fusionalen Vergenz erhöhen.
- Die Übung trainiert eine schnellere und größere Entkoppelung von Akkommodations- und Vergenzsystem.
- Dem Probanden kann mit Hilfe der Übung ein Gefühl für die Anspannung und Entspannung der Augenlinse vermittelt werden, um die Akkommodationsreaktion auch über weitere Faktoren zu stimulieren.
- Durch die Wahrnehmung des SILO-Effektes beim kurzzeitigen Blick durch die Gläser des Flippers kann der Proband lernen die Verlagerung der tonischen Vergenzstellung zu registrieren. Hierdurch verfestigt sich die Koppelung vom Entfernungsempfinden und der Vergenzstellung.

6 Schlussteil

6.1 Zusammenfassung

Innerhalb dieser Diplomarbeit wurde „Sehen“, als ein Prozess mit vielen ineinandergreifenden Komponenten dargestellt. Anhand des Modells von Skeffington ist es möglich, „Sehen“ in vier verschiedene Teilbereiche zu gliedern. In den Beschreibungen und den bisherigen Erkenntnissen zu den vier Funktionen konnte sodann im theoretischen Grundteil demonstriert werden, dass „Sehen“ ein flexibler und anpassungsfähiger Vorgang ist, der sich auch innerhalb kürzester Zeit verändern kann. Bei der Korrektur von Fehlsichtigkeiten und der Behandlung visueller Probleme sollte deshalb eine Berücksichtigung dieser Einflüsse vorgenommen werden. In der klassischen Augenoptik und Medizin kommt der Aspekt der Flexibilität und der Anpassungsfähigkeit jedoch meistens zu kurz. Hier ist das Hauptanliegen die zentrale bzw. maximale Sehschärfe. Lediglich in Einzelfällen z.B. bei Sehbehinderten oder Risikopatienten werden weitere Sehfunktion berücksichtigt.

Die Ausführungen dieser Diplomarbeit zeigen jedoch, dass die peripher-retinale Verarbeitung ebenso wichtig ist wie eine zentral-foveale Verarbeitung. So kann z.B. die Anzahl der benötigten Blicksprünge beim Scannen von neuen Objekten durch eine verbesserte peripher-retinale Verarbeitung reduziert werden. Hierdurch wird eine Person leistungsfähiger, weil sie entweder schneller die gleiche Menge an Informationen aufnehmen kann oder ihr für die Verarbeitung des Gesehenen mehr Zeit zur Verfügung steht.

Betrachtet man die weiteren angesprochenen Funktionen bei den Übungen, so ist es generell das Ziel, ein Bewusstsein bzw. ein Gefühl für die Steuerung der visuellen Systeme zu erlangen. Der Proband soll somit in die Lage versetzt werden, selbst Einfluss auf seine visuellen Fähigkeiten zu nehmen. Visualtraining ist kein Krafttraining eines zu schwachen Muskels. Man versucht mit Hilfe des Trainings eine Veränderung in der Reizaufnahme, der Innervierung/ Aktivierung der Muskeln, sowie der Verarbeitung des Gesehenen zu erzielen.

Um einen Einblick in die im Visualtraining angewandten Übungen zu bekommen, wurde im Hauptteil dieser Diplomarbeit auf einige Übungen aus den vier Teilgebieten eingegangen. Es wurde deren Durchführung und das benötigte Übungsmaterial erläutert. Danach erfolgte eine Analyse der angesprochenen Funktionen, um die beabsichtigten Ziele der Übung und die Wahl der geeigneten Zielpersonen nachvollziehen zu können.

Die Diskussion der einzelnen Übungen hat hierbei zusammenfassend gezeigt, dass die Lernerfolge jeder Übung durch erhöhte Sensibilität für die entstehenden Rückmeldungen erzielt werden, die mit jeder Trainingsausführung einhergehen (Biofeedback-Schleife; Kapitel 3.3). So können vermutlich, durch das bewusste Wahrnehmen und Vergleichen, z.B. Hemmungen abgebaut werden oder durch das Erkennen von Unschärfe, das Akkommodationssystem von dem Vergenzsystem entkoppelt werden.

Auch lernt der Proband, seine visuellen Fähigkeiten selbst zu beurteilen. Wird ihm die Ineffektivität seines visuellen Systems bewusst, so kann sein Wille, dies zu ändern, mit dem entsprechenden Training sicherlich zu einem positiven Lernerfolg führen.

Die Motivation des Probanden hat großen Einfluss auf den Trainingserfolg, der sich jedoch wissenschaftlich schwer messen lässt. Man erzielt in der Regel größere Lernerfolge, wenn dem Probanden die Bedeutung der einzelnen Trainingsübungen bekannt ist und er sie bewusst und zielgerichtet ausübt. Dies erfordert, dass der unterrichtende Optometrist in der Lage ist, auch einem Kind die Übungen verständlich zu erklären und dass er, die Motivation zur Ausübung des Trainings bei der Person und eventuell bei deren Angehörigen ständig von neuem wecken kann. In der Diplomarbeit findet man zu diesem Zwecke unter dem Punkt „Durchführung der Übungen“ des Weiteren einige nützliche Hinweise zu diesem Thema.

Um einen positiven Lernerfolg zu erreichen, gehören ferner gewiss Disziplin und Ausdauer dazu. Die erwünschten Änderungen der visuellen Steuerung können nur dann eintreten, wenn der Proband sich wirklich mit seiner Wahrnehmung

auseinandersetzt und das neue Verhaltensmuster richtig, regelmäßig und immer gleich durchgeführt wird.

Es ist deshalb empfehlenswert, zu Beginn die Übungen täglich durchzugehen, bis die geforderten Ziele der Übungen erreicht sind. Die Trainingsdauer pro Übung sollte hierbei allerdings am Tag relativ kurz (z.B. nicht mehr als fünf Minuten) sein. Hat man neue Fähigkeiten einmal erlernt, so wird deren Ausführung abgespeichert und kann immer wieder abgerufen werden.

Genauso wie man mittels Visualtrainings die richtige Steuerung erlernen kann, ist es jedoch auch im Laufe der Zeit möglich, durch z.B. schlechte Angewohnheiten, sich wieder andere Steuerungsmuster anzueignen. Es empfiehlt sich daher, dem Probanden zum Schluss des Visualtrainings mehrere Übungen mitzugeben, die dieser in sein tägliches Leben integrieren kann. Des Weiteren kann durch eine kontinuierliche Selbst- oder Fremd-Kontrolle ein Ersetzen der Erlernten Fähigkeiten durch andere verhindert werden.

6.2 Ausblick

Die Zahl der Fehlsichtigen, sowie der Kinder mit Lese-Rechtschreib-Schwierigkeiten und der Erwachsenen mit Problemen am Bildschirmarbeitsplatz, wächst zunehmend. Die Ursachen hierfür scheinen vielfältig zu sein.

Aufgrund der Unwissenheit über die Vorgänge bei der visuellen Verarbeitung und der Funktionsweise der visuellen Systeme war man bisher jedoch immer nur in der Lage, aktuell eingenommene Zustände des visuellen Systems zu messen und dann z.B. mittels Brillengläser den vermuteten Idealzustand wieder herzustellen. Werden diese aktuellen Zustände jedoch nur vorübergehend eingenommen, können die darauf aufbauenden Brillenglas-Korrekturen nicht dauerhaft wirken.

Es ist zu erhoffen, dass es durch das gestiegene Interesse an der Physiologie des Sehens nun zu weiteren Studien kommt, welche umfassendere Aufschlüsse zur Steuerung und zur Koppelung der visuellen Systeme liefern. Gerade im

dynamischen Sehen und bei der Verarbeitung des Gesehenen gibt es noch viele offene Fragen.

Hier müssten z.B. weitere Untersuchungen im Bezug auf die Steuerung und Koppelung des Akkommodations- und Vergenzsystems angestellt werden, um herauszufinden, ob es Faktoren gibt, die sich bei beschwerdefreien Personen von denen mit binokularen Anomalien und asthenopischen Beschwerden unterscheiden. Hierbei wäre es von großem Interesse, verschiedene Wesensmerkmale in der Flexibilität und der Anpassungsfähigkeit der visuellen Systeme zu finden und/oder deren unterschiedliches Verhalten auf Stressfaktoren z.B. bei Prismenadaptationsversuchen, aufzuzeigen. Außerdem sollte die Trainierbarkeit von visuellen Funktionen und deren Nutzen überprüft und durch Langzeitstudien wissenschaftlich belegt werden.

Die Ergebnisse solcher Untersuchungen könnten dann insbesondere bei der geeigneten Auswahl der Behandlungsmöglichkeit dienlich sein und die Effektivität der Behandlung erhöhen.

Die an unser visuelles System gestellten Aufgaben wachsen aufgrund der immer komplexer werdenden Sehaufgaben in unserem Alltag. Somit steigen auch die Anforderungen an die Feinabstimmung der Systeme und an die schnellere Verarbeitung des Gesehenen. Es wäre deshalb auch denkbar, solches Wissen vorbeugend einzusetzen, um mit dem Sehen verbundene Beschwerden erst gar nicht entstehen zu lassen oder die Leistungsfähigkeit z.B. von Sportlern gezielt zu trainieren.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- (1) Bäßler, U.: Sinnesorgane und Nervensystem, Studienreihe Biologie Band 2, Stuttgart 1979,
- (2) Berke, A.: Biologie des Auges, Mainz 1999
- (3) Birnbaum, M.: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, 1993
- (4) Birnbaum, M.: An esophoric shift associated with sustained fixation, Am J Optom & Physiol Optics 1985, Vol. 62, S. 732-735
- (5) Blanke, O.: Taktile Saccaden beim Menschen-Steuerung saccadischer Augenbewegungen durch somatosensorische und propriozeptive Stimuli, Berlin 1999
- (6) Bollani, G., Dollinger, K.: Funktional-Optometrie für Kindergartenkinder und Schüler Teil 2, in Optometrie 1/2001, S. 62f
- (7) Bullimore, M., Gilmartin, B., Hogan, R.E.: Objective and subjective of tonic accommodation, Ophthal. Physiol. Opt. 1986 Vol.6 S. 57-62
- (8) Bullimore, M.A., Gilmartin, B.: Tonic Accommodation, Cognitiv Demand, and Ciliary Muscle Innervation Am J Optom & Physiol Optics 1987, Vol.1, S.45-50
- (9) Bullimore, M., Gilmartin, B.: Aspects of Tonic Accommodation in Emmetropia and Late-Onset Myopia Am J Optom & Physiol Optics, 1987, Vol.64, S.499-503
- (10) Bonnac, J.-P., Mur, J.: Correction optique des amply 1967, S.30
- (11) Carl Zeiss: Handbuch der Augenoptik, Oberkochen 2000
- (12) Christner, J.: Abiturwissen: Nerven, Sinne und Hormone, Stuttgart 1993
- (13) Cohen, A.: The efficacy of optometric vision therapy, J Am Opt Assoc 1988, Vol.59, S.95-105
- (14) Collier, S.: Seminarunterlagen Visualtraining I, WVAO-Seminar Berlin, 27-28.5.2000, S.4ff.
- (15) DIN 5340, Begriffe zur Physiologischen Optik, Berlin (Beuth) 1998
- (16) Ebenholtz, S.M.: Accommodative hysteresis: relation to resting focus, Am J Optom & Physiol Optics, 1985, Vol. 62, S.755-762
- (17) Ehrlich, D.L.: Near vision stress: Vergence adaptation and accommodative fatigue, Ophthal. Physiol. Opt., 1987, Vol. 7, S. 353-357
- (18) Enders, R.: Die Optik des Auges und der Sehhilfen, Heidelberg 1995

- (19) Ewert, J.: Nerven- und Sinnesphysiologie, Braunschweig 1982
- (20) Fey, D.: Dynamisch und statische Eigenschaften des Systems der sakkadischen Augenbewegungen Frankfurt/Main 1983
- (21) Fischer, B.: Neurophysiologische Grundlagen willkürlicher Zielgerichteter Blicksprünge, Bücherei des Augenarztes Band 121 Augenbewegung und visuelle Wahrnehmung, Stuttgart 1990, S.44-46
- (22) Foley, JM: Effects of distance information and range on two indices of visually perceived distance, Perception 1977, Vol.6, S.449-60
- (23) Funktional-Optometrie für Kindergartenkinder und Schüler Teil 1, in Optometrie 2/2001, S. 57
- (24) Glaser, WVAO-Geschäftsführer, mündliche Mitteilung 27.08.2002
- (25) Garzia, R.P.: Reading and vision, St. Louis (Mosby) 1996
- (26) Gilmartin, B.: A review of the role of symphathic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation Ophthal. Physiol. Opt. 1986 Vol.6 S. 23-37
- (27) Goersch, H.: Die drei notwendigen Testarten zur vollständigen Heterophoriebestimmung, Sonderdruck aus Deutsche Optikerzeitung, Heidelberg 11/1987
- (28) Goersch: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim 2001
- (29) Goldstein, E.B.: Wahrnehmungspsychologie, Heidelberg 1997
- (30) Gregory, R.: Auge und Gehirn, München 1966
- (31) Griffin, J.: Binocular anomalies procedures for vision therapy, 2nd edition, New York 1982
- (32) Groffman, S., Solan, H.: Deveelopmental & Perceptual Assessment of Learning Disabled Children, Santa Ana (OEP Foundation) 1994
- (33) Haase, H-J.: Zur Fixationsdispartation, Heidelberg 1995
- (34) Hermans, TG: The relationship of convergence and elevation changes to judgments of size. J Exp Psychol 1954, Vol.48, S.204-208
- (35) Heron, G., Winn, B.: Binocular accommodation reaction and response times for normal observers, Ophthal. Physiol. Opt., 1989, Vol.9, S.176-183
- (36) Howard, I., Rogers, B.: Binocular Vision and Stereopsis, Oxford Psychology Series NO.29, New York 1995
- (37) Hubel, D.: Auge und Gehirn, Heidelberg 1989

- (38) Hung, G.H., Ciuffreda, K.J.: Dual-mode behaviour in the human accommodation system, *Ophthal. Physiol. Opt* 1988, Vol. 8, S.327-332
- (39) Institute for Innovative Blind Navigation: Blindness and Mannerisms, <http://isd.saginaw.k12.mi.us/~mobility/mannersm.htm>
- (40) Lexikon Medizin (Roche)
- (41) London, R., Professor of Optometry an der Pacific Unversity Oregon, persönliche Information, ohne weitere Quellenangaben
- (42) Manas, L.: Visuelle Analysen, Societa D` Optometrie D` Europe
- (43) McMains, More on Visual Skills, [www.vision and learnig.org/visualskills2.htm](http://www.visionandlearnig.org/visualskills2.htm)
- (44) Mester, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport, Schorndorf 1988
- (45) Methling, D.: Bestimmen von Sehhilfen, Stuttgart 1996
- (46) Meyers grosses Handlexikon, Mannheim 1968
- (47) Monty, R., Senders, J.: Eye movements and psychological processes, New Yersey 1976
- (48) Press, L.: Applied concepts in vision therapy, St Louis (Mosby) 1997
- (49) Reinhard, M.: Lesbarkeit defokussierter Schrift, Diplomarbeit TFH Berlin 1999, S. 16-19
- (50) Scheiman, M., Bruce, W.: Clinical Managment of Binocular Vision, Philadelphia 1994
- (51) Scheiman, M., Rouse M.: Optometric management of learning-related vision problems, St.Louis (Mosby), 1994
- (52) Schellenberg, R.: Biofeedback:“Training statt Pillen“, www.schellenberg-med.de/Biofeedback.html
- (53) Schildt, T.: Ausdehnung von Panumbereichen – Untersuchungen zur Messgenauigkeit, Diplomarbeit TFH Berlin 2000
- (54) Schor, C.: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, *Am J Optom & Physiol Optics* 1988, Vol.65, S.464-475
- (55) Schor, C., Ciuffreda, K.: Vergence eye movments, Woburn (Butterworth) 1983
- (56) Silbernagel, S., Despopoulos, A.: Taschenbuch der Physiologie, Stuttgart 1987

- (57) Solan, H.: Eye movements problems in achieving readers: un update, Am J Optom & Physiol Optics, 1985, Vol.62, S. 812-819
- (58) Stollenwerk, G.: Korrektur von Winkelfehlsichtigkeit, Limburg/ Lahn, 1998
- (59) Thews, Mutschler, Vaupel: Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen, Stuttgart 1999
- (60) University of wisconsin-madison, Lazarus, J.-A.; Ph.D.,
www.soemadison.wisc.edu/kinesiology/people/lazarus.htm
- (61) Vanhimbeeck-Collier: Handbuch zur Leitung eines Optometrischen Myopie Trainings, Belgium 1998
- (62) Vanhimbeeck-Collier: Das Training der allgemeinen Fähigkeiten in einem optometrischen Studio, Belgium 2001
- (63) Vogel, G., Angermann, H.: dtv-Atlas zu Biologie Band 2, München 1984
- (64) Vogel, W., Berke, A.: Okuläre Pharmakologie, Stuttgart 1998
- (65) Winn, B., Gilmartin, B., Mortimer, L., Edwards, N.: The effort on open- and closed-loop accommodation, Ophthal. Physiol. Opt., 1991, Vol. 11, S. 335-339

Abkürzungsverzeichnis

AVIT	Auditory-Visual Integration Test
B.a.	Basis außen
B.i.	Basis innen
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
DVIP	developmental visual information processing
et al.	und andere
EFF	Effektor
FD	Fixationsdisparation
HSA	Hornhautscheitelabstand
HZ	höheres Zentrum
K	Kommando
MKH	Mess- und Korrektionsmethodik nach H.-J. Haase
NH	Netzhaut
NRA	negative relative Akkommodation (Desakkommodation)
NRK	negative relative Konvergenz (Divergenz)
NZ	niedrigeres Zentrum
OEP	Optometric Extention Program
PRA	positive relative Akkommodation (Akommodation)
PRK	positive relative Konvergenz (Konvergenz)
RW	Richtungswerte
SILO	Smaller-In Larger-Out
SOLI	Smaller-Out Larger-In
TFH	Technische Fachhochschule
TVAS	Test of visual analysis skills
TVPS	Test of visual perceptual skills
TA	tonische Akkommodation
usw.	und so weiter
V	Visus
vgl.	vergleiche

VMI Visual-Motor Integration
VT Visualtraining/ Vision Therapy
z.B. zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Modell nach Skeffington.....</i>	<i>3</i>
<i>Abbildung 2: aufgezeichneten Augenbewegungen mittels Eye-Trac während des Fixieren eines unbewegten Objektpunktes.</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 3: Zeitverlauf der saccadischen Suppression. Vor, während und nach der Saccade wurden Lichtblitze dargeboten, die von der Person zu erkennen waren.</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 4: okulomotorischen Lerneffekte bei symmetrischer Zielversetzung (Serie 1) und gegen die Richtung (Serie 2) der Erstsaccade. Dargestellt über den „Zuwachswinkel“. RS= Rechtssprünge, LS= Linkssprünge</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 5: Lerneffekte der asymmetrischen Sprungbewegungen der Serien 3 und 4. RS= Rechtssprünge, LS= Linkssprünge</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 6: Gleitende (smooth) und ruckartige (jerky) Folgebewegungen aufgezeichnet mit einem Eye Trac.</i>	<i>19</i>
<i>Abbildung 7: Augenbewegungen beim Lesen aufgezeichnet von einem Eye-Trac</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 8: Augenbewegungen beim Lesen vor und nach 5 Wochen VT.....</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 9: A: Akkommodationszeiten für Fern-Nah-Sprünge B: Akkommodationszeiten für Nah-Fern-Sprung.....</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 10: Kopplung zwischen dem Akkommodationszustandes des rechten und des linken Auges</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 11: Einstellzeiten für die Akkommodation in Abhängigkeit vom Alter.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 12: Akkommodation in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 13: Akkommodation in Abhängigkeit von der Exzentrizität</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 14: Akkommodationsruhelage. Gleichgewicht von sympathischer und parasympathischer Innervation</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 15: Beeinflussung der TA unter Wirkung des Medikamentes Timolol.</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 16: Blockierung der muskarinergen Rezeptoren. Eingenommener Zustand entspricht Fernakkommodation.</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 17: Diskontinuierliche Abnahme der TA unter Wirkung des Medikamentes Tropicamid.....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 18: Modell zur Entstehung der Ruheposition.....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 19: Hysterese-Effekt</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 20: Nahpunkt-Stress-Modell. Abweichende Entfernungen vom dark focus lösen Stress aus.</i>	<i>37</i>

<i>Abbildung 21: Korrelation zwischen passiver TA und der durch mentale Aufgaben verursachten Akkommodationszustandsänderung der TA. a) mentale Aufgabe verbunden mit der Sehaufgabe b) mentale Aufgabe indirekt verbunden mit der Sehaufgabe.</i>	39
<i>Abbildung 22: Änderung der Phorie mit zunehmenden Akkommodationsstress</i>	41
<i>Abbildung 23: Zunahme der TA mit wachsendem TA-Ausgangslevel.....</i>	41
<i>Abbildung 24: Veränderung der TA unter Kochsalzlösung und Timolol.....</i>	42
<i>Abbildung 25: Modell nach Schor zur Erklärung des Adaptationsvorganges.....</i>	45
<i>Abbildung 26: Veränderung der tonischen Vergenz und der tonischen Akkommodation nach Prismenadapationsversuchen mit unterschiedlichen visuellen Anforderungen</i>	46
<i>Abbildung 27: Kopplung zwischen tonischer Akkommodation und tonischer Vergenz</i>	47
<i>Abbildung 28: Kopplung zwischen tonischer Vergenzstellung und wahrgenommener Entfernung</i>	48
<i>Abbildung 29: Kopplung zwischen tonischer Akkommodation und wahrgenommener Entfernung</i>	48
<i>Abbildung 30: Überprüfung der wahrgenommenen Entfernung mittels Vestibuloocular-Reflex und Blickfolge- (Pursuit) System</i>	49
<i>Abbildung 31: Veränderung der Vergenz und der Akkommodation beim Vorhalten eines $5^{cm}/m$ B.a. Prismas mit 0,75HZ.....</i>	51
<i>Abbildung 32: Akkommodative Vergenzreaktion beim monokularen Vorhalten eines - 2,0dpt Glases vor der „ramp tracking“ Übung.</i>	53
<i>Abbildung 33: Akkommodative Vergenzreaktion beim monokularen Vorhalten eines - 2,0dpt Glases nach der „ramp tracking“ Übung mit einem -2,0dpt Glas.</i>	54
<i>Abbildung 34: Vergenzinduzierte Akkommodation beim Vorhalten eines $4^{cm}/m$ Prisma B.a. Glases vor der „ramp tracking“ Übung.</i>	55
<i>Abbildung 35: Vergenzinduzierte Akkommodation beim Vorhalten eines $5^{cm}/m$ Prisma B.a. Glases nach der „ramp tracking“ Übung mit einem -2,0dpt Glas.</i>	55
<i>Abbildung 36: Akkommodative Vergenzreaktion beim monokularen Vorhalten eines - 2,0dpt Glases vor der „ramp tracking“ Übung mit einem $5^{cm}/m$ Prisma B.a. Glas.....</i>	56
<i>Abbildung 37: Akkommodative Vergenzreaktion beim monokularen Vorhalten eines - 2,0dpt Glases nach der „ramp tracking“ Übung mit einem $5^{cm}/m$ Prisma B.a. Glas.</i>	57
<i>Abbildung 38: Vergenzinduzierte Akkommodation beim Vorhalten eines $8^{cm}/m$ Prisma B.a. Glases vor der „ramp tracking“ Übung mit einem $5^{cm}/m$ Prisma B.a. Glas.....</i>	57
<i>Abbildung 39: Vergenzinduzierte Akkommodation beim Vorhalten eines $8^{cm}/m$ Prisma B.a. Glases nach der „ramp tracking“ Übung mit einem $5^{cm}/m$ Prisma B.a. Glas.</i>	58
<i>Abbildung 40: Einteilung der Fusionsreize nach Lage der zugehörigen Bilder auf der Netzhaut.....</i>	59

<i>Abbildung 41: Panumbereichsgröße in Abhängigkeit vom Gesichtsfeldwinkel</i>	60
<i>Abbildung 42: Gardner Reversal Frequency Test Teil II</i>	70
<i>Abbildung 43: Visual discrimination Test.</i>	75
<i>Abbildung 44: Visual discrimination Test.</i>	76
<i>Abbildung 45: Visual discrimination Test.</i>	76
<i>Abbildung 46: Visual figure ground Test. Hierbei soll das Kind die einzeln dargebotene Figur aus einem komplexen Zusammenhang wieder erkennen. A und B.</i>	76
<i>Abbildung 47: Visual closure Test</i>	77
<i>Abbildung 48: Visual memory Test A und B</i>	77
<i>Abbildung 49: Visual sequential memory Test A und B</i>	78
<i>Abbildung 50: Harmon distance</i>	81
<i>Abbildung 51: optimale Sitzhaltung</i>	81
<i>Abbildung 52: Geringer Arbeitsabstand und asymmetrische Kopfhaltung</i>	82
<i>Abbildung 53: Keine Unterstützung der nicht dominanten Hand. Dadurch kommt es zur Bewegungseinschränkung.</i>	83
<i>Abbildung 54: korrekte Dreifingergriffe.</i>	83
<i>Abbildung 55: fehlerhafte Stifthaltegriffe</i>	84
<i>Abbildung 56: Ausschnitt aus Developmental Test of Visual-Motor Integration (VMI)</i>	84
<i>Abbildung 57: Wold Sentence Copying Test</i>	86
<i>Abbildung 58: Grooved Pegboard Test</i>	88
<i>Abbildung 59: Testkarte des Auditory-Visual Intergration Tests (AVIT)</i>	90
<i>Abbildung 60: Anatomischer und physiologischer Aufbau der Netzhaut</i>	91
<i>Abbildung 61: A direkte Schaltung, B konvergente Schaltung</i>	93
<i>Abbildung 62: Verschaltung der Rezeptoren eines rezeptiven Feldes</i>	94
<i>Abbildung 63: Reizweiterleitung einer ON-Zentrum-Zelle</i>	95
<i>Abbildung 64: Schematischer Schnitt durch die Netzhaut des Menschen</i>	95
<i>Abbildung 65: Durch die überlappenden rezeptiven Felder (A) entsteht eine einfache kortikale Zelle (B).</i>	96
<i>Abbildung 66: Reizweiterleitung einer einfachen kortikalen Zelle</i>	96
<i>Abbildung 67: typische Arten von rezeptiven Feldern einfacher kortikaler Zellen.</i>	97

<i>Abbildung 68: Reizweiterleitung komplexer Zellen ist abhängig von der Bewegungsrichtung</i>	97
<i>Abbildung 69: Beispiel eines neuralen Schaltkreises</i>	98
<i>Abbildung 70: Reizweiterleitung bei konvergenter Schaltung</i>	98
<i>Abbildung 71: Reizweiterleitung einer hyperkomplexen Zelle</i>	99
<i>Abbildung 72: Regelkreise</i>	102
<i>Abbildung 73: Bewegungssehen des Menschen</i>	102
<i>Abbildung 74: Modell nach Held</i>	104
<i>Abbildung 75: Vestibularorgan und seine Wirkung auf die Blickmotorik</i>	107
<i>Abbildung 76: Phänomen der Größenkonstanz</i>	110
<i>Abbildung 77: Oben: verstärkter Konvergenzwinkel. Unten: verminderter Konvergenzwinkel</i>	111
<i>Abbildung 78: Physiologische Diplopie</i>	113
<i>Abbildung 79: weitgehend linearer Anstieg der AC/A und CA/C Ratio</i>	121
<i>Abbildung 80: Strecken zur Berechnung der Netzhautbildgröße</i>	130
<i>Abbildung 81: O O-Übungsblatt. Der Abstand zwischen den Kreisen entspricht in einigen Teilen der Übung einer stereoskopischen Parallaxe und wird deshalb mit y_p bezeichnet</i>	133
<i>Abbildung 82: Wahrnehmung aufgrund der physiologischen Diplopie</i>	134
<i>Abbildung 83: Berechnung der Konvergenzstellung</i>	135
<i>Abbildung 84: Berechnung der Divergenzstellung</i>	135
<i>Abbildung 85: schematisches Netzhautbild der O O-Übung</i>	136
<i>Abbildung 86: Akkommodations- und Vergenzverhältnis beim Üben der Konvergenz</i>	137
<i>Abbildung 87: Akkommodations- und Vergenzverhältnis beim Üben der Divergenz</i>	137
<i>Abbildung 88: Wahrnehmung aufgrund des SILO-Effekt bei Konvergenz-Übung</i>	140
<i>Abbildung 89: Wahrnehmung aufgrund des SILO-Effekt bei Divergenz-Übung</i>	140
<i>Abbildung 90: Seheindruck bei zu geringer Kon- bzw. Divergenz</i>	142
<i>Abbildung 91: Seheindruck bei zuviel Kon- bzw. Divergenz</i>	142
<i>Abbildung 92: NH-Bild des L Auges bei Blick auf die Blattebene</i>	143
<i>Abbildung 93: NH-Bild des R Auges bei Blick auf die Blattebene mit FD</i>	143
<i>Abbildung 94: NH-Bild des L Auges bei Blick vor die Blattebene</i>	144

<i>Abbildung 95: NH-Bild des R Auges bei Blick vor die Blattebene mit FD.....</i>	<i>144</i>
<i>Abbildung 96: NH-Bild des L Auges bei Blick auf die Blattebene.....</i>	<i>144</i>
<i>Abbildung 97: NH-Bild des R Auges bei Blick hinter die Blattebene mit FD.....</i>	<i>144</i>
<i>Abbildung 98: A A-Übungsblatt</i>	<i>152</i>
<i>Abbildung 99: vermutliches NH-Bild des A A-Übungsblattes bei einem Blattabstand von 40cm und Fusion des durch physiologische Diplopie in Konvergenzstellung „doppelt“ gesehenen Buchstaben A.</i>	<i>154</i>
<i>Abbildung 100: Berechnung der zusätzlichen Akkommodation- und Konvergenz-Aufwände beim Fusionieren der einzelnen Buchstaben.....</i>	<i>155</i>
<i>Abbildung 101: mögliche Stellungen der Augen bei der A A-Divergenz-Übung.</i>	<i>156</i>
<i>Abbildung 102: Übergang zur Fusion des nächsten Buchstabens B</i>	<i>159</i>
<i>Abbildung 103: Seheindruck aufgrund des SILO-Effektes beim Üben der Konvergenz....</i>	<i>160</i>
<i>Abbildung 104: MacDonald Form Field card (MacDonalds 1962).....</i>	<i>164</i>
<i>Abbildung 105: Zusammengefasstes Netzhautbild des rechten und linken Auges bei Blick auf die MacDonald Form Field card. Visusangaben entsprechen den geforderten Werten zum Erkennen der einzelnen Buchstaben. Kreise von innen nach außen:</i>	<i>165</i>
<i>Abbildung 106: Brock-Schnur</i>	<i>172</i>
<i>Abbildung 107: Optimale Wahrnehmung - Kreuzung der Schnüre liegt in der angeblickten Kugel.....</i>	<i>173</i>
<i>Abbildung 108: Kreuzung der Schnüre hinter der angeblickten Kugel.....</i>	<i>174</i>
<i>Abbildung 109: Kreuzung der Schnüre vor der angeblickten Kugel</i>	<i>174</i>
<i>Abbildung 110: Wahrnehmung durch physiologische Diplopie und Fusion der mittleren Kugel.....</i>	<i>175</i>
<i>Abbildung 111: Anordnung der Kugeln zur Berechnung der Netzhautbilder</i>	<i>175</i>
<i>Abbildung 112: graphische Darstellung der zur Berechnung notwendigen Strecken und Winkel beim Blick auf die rote Kugel.....</i>	<i>176</i>
<i>Abbildung 113: graphische Darstellung der zur Berechnung notwendigen Strecken und Winkel beim Blick auf die gelbe Kugel</i>	<i>177</i>
<i>Abbildung 114: Modell zur Berechnung des Unschärfekreises</i>	<i>178</i>
<i>Abbildung 115: schematisches Netzhautbild des rechten und linken Auges zusammengefasst beim Blick auf die vordere rote Kugel.....</i>	<i>179</i>
<i>Abbildung 116: schematisches Netzhautbild des rechten und linken Auges zusammengefasst beim Blick auf die mittlere gelbe Kugel</i>	<i>180</i>
<i>Abbildung 117: schematisches Netzhautbild des rechten und linken Auges zusammengefasst beim Blick auf die hintere grüne Kugel.....</i>	<i>181</i>

<i>Abbildung 118: Beispiel einer vermutlich gehemmten Wahrnehmung</i>	183
<i>Abbildung 119: schematisches NH-Bild des R/L Auges bei Betrachtung der gelben Kugel. Es besteht ein Eso-FD I Zentrum $2^{cm}/m$ am rechten Auge.</i>	184
<i>Abbildung 120: NH-Bild des R/L Auges bei Betrachtung der gelben Kugel. Es besteht eine Eso-FD II/2 Zentrum $2^{cm}/m$ am rechten Auge.</i>	185
<i>Abbildung 121: verschiedene Blickwinkel zur Brock-Schnur</i>	187
<i>Abbildung 122: schematisches NH-Bild R/ L beim Blick nach rechts</i>	188
<i>Abbildung 123: schematisches NH-Bild R/ L beim Blick nach links</i>	188
<i>Abbildung 124: schematisches NH-Bild R/ L beim Blick nach oben</i>	188
<i>Abbildung 125: schematisches NH-Bild R/ L bei Kopfröhlung</i>	188
<i>Abbildung 126: schematisches NH-Bild bei Blick auf die mittlere gelbe Kugel und 3m langen Schnur</i>	190
<i>Abbildung 127: horizontal ausgerichtetes Nummernchart</i>	193
<i>Abbildung 128: vertikal ausgerichtetes Nummernchart</i>	194
<i>Abbildung 129: A kreisförmig ausgerichtete Nummernchart mit großen Zahlen 1-12</i>	194
<i>Abbildung 130: B kreisförmig ausgerichtete Nummernchart mit kleinen Zahlen 1-12</i>	195
<i>Abbildung 131: C kreisförmig ausgerichtete Nummernchart mit kleinen Zahlen 1-24</i>	195
<i>Abbildung 132: Netzhautbild des horizontalen Nummerncharts</i>	200
<i>Abbildung 133: Ausschnitt des Netzhautbildes nach ca. 90% der Sprungweges</i>	201
<i>Abbildung 134: Ausschnitt des Netzhautbildes nach ca. 95% der Sprungweges</i>	201
<i>Abbildung 135: Ausschnitt des Netzhautbildes nach ca. 90% der Sprungweges im unteren Drittel der Tabelle</i>	202
<i>Abbildung 136: Ausschnitt des Netzhautbildes nach ca. 90% der Sprungweges auf dem kreisförmigen Nummernchart</i>	204
<i>Abbildung 137: Ausschnitt des Netzhautbildes bei ungenauer Richtungsbestimmung</i>	205
<i>Abbildung 138: Ausschnitt des Netzhautbildes bei ungenauem Zielsprung auf Tabelle B</i>	207
<i>Abbildung 139: Ausschnitt des Netzhautbildes bei ungenauem Zielsprung auf Tabelle C</i>	207
<i>Abbildung 140: Relative Häufigkeit von Einzelsaccaden über einen Zielwinkel von 6° bis 84°</i>	208
<i>Abbildung 141: verschiedene Ausführungen von Flippern</i>	211
<i>Abbildung 142: Veränderungen der Zeitkonstante (TC), der Latenzzeit (L) und der benötigten Zeit für eine Flipperumdrehung</i>	213

<i>Abbildung 143: Reaktionszeit der Akkommodation bzw. Desakkommodation vor (oben) und nach (unten) VT.....</i>	<i>214</i>
<i>Abbildung 144: Modell einer cholinerge Übertragung von einer Nerven- auf eine Muskelzelle.....</i>	<i>215</i>
<i>Abbildung 145: Plusglas: Abbildungsfall Objekt innerhalb der einfachen Brennweite ..</i>	<i>221</i>
<i>Abbildung 146: binokularer Blick durch die Plusgläser des Flippers. A: Akkommodation ist auf die Bildebene und die Vergenz auf die Blattebene ausgerichtet (entkoppelt). B: Akkommodation und Vergenz sind auf die Bildebene ausgerichtet (gekoppelt).</i>	<i>222</i>
<i>Abbildung 147: Minusglas: Abbildungsfall Objekt im endlichen Objektraum</i>	<i>224</i>
<i>Abbildung 148: binokularer Blick durch die Minusgläser des Flippers.....</i>	<i>224</i>
<i>Abbildung 149: Bar Reader</i>	<i>228</i>