

**Technische
Fachhochschule
Berlin**
University of Applied Sciences

**Augenoptik/ Optometrie
Fachbereich VII**

MKH & VT

(Mess- und Korrektionsmethode nach H.J. Haase & Visual Training)

Eine vergleichende praktische Studie zum Management defizitären nichtstrabismischen Binokularsehens in Deutschland und den USA

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Augenoptikerin/ Optometristin (FH)

vorgelegt von

Ellen Rietdorf

Betreuer: Prof. Peter Moest

Zweitgutachter: Prof. Brigitte Krimpmann-Rehberg

Potsdam, Februar 2003

"Unser Kopf ist rund, damit das Denken
die Richtung wechseln kann" (Francis Picabia)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich auf die eine oder andere Weise unterstützt haben, diese Arbeit zu verfassen.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Moest, der mir mit großer Offenheit und gesunder Kritik wichtige Denkanstöße für diese Arbeit lieferte und bei allen Fragen und Problemen mit viel Geduld zur Seite stand.

Bei Herrn Prof. Dipl.-Ing. Hans Müller bedanke ich mich ganz herzlich für die Hilfestellungen in der Statistik.

Auf amerikanischer Seite möchte ich ebenfalls den Lehrkräften des PCOs meinen Dank für ihre Offenheit gegenüber deutschen optometrischen Theorien aussprechen. Ich bedanke mich insbesondere bei Dr. Scheiman, Dr. Gallaway und Dr. Bailey, die mich außerdem bei der Erarbeitung wesentlicher amerikanischer Theorien und deren klinischer Umsetzung unterstützten.

Ich möchte auf diesem Wege der Firma Zeiss danken, die individuell gefertigte prismatische Gläser hoher Qualität für die MKH-Studie zur Verfügung stellte.

Der ZVA danke ich für das Reisekostenstipendium. Ohne diese finanzielle Unterstützung wäre ein erneuter USA-Besuch nicht denkbar gewesen und wichtige Anregungen sowie Literaturrecherchen für die Diplomarbeit hätten nicht erfolgen können.

Mein Dank gilt auch Herrn Peschke (Fa. Peschke Optik Berlin), der mir durch sein großes Verständnis die Möglichkeit für eine flexible Arbeitszeitgestaltung einräumte, um für die Zeit der Anfertigung meiner Diplomarbeit finanziell bestehen zu können.

Ein besonders herzliches Dankeschön an Renate und Raiko Epperlein, die unendlich viel Zeit, Mühe und Geduld opferten, um mir dabei zu helfen, meine vielen Gedanken lesbar aufs Papier zu bringen.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung und ihr Verständnis danken.

Inhaltsübersicht

I	Inhaltsübersicht	I
II	Inhaltsverzeichnis.....	II
1.	Einleitung und Zielsetzung	1
2.	Definitionsvergleich ähnlich verwendeter Begriffe.....	5
3.	Grundlagen zum nichtstrabismischen Binokularsehen innerhalb des amerikanischen und deutschen Systems.....	17
4.	Effektivität von Visualtraining und MKH-Vollkorrektion	53
5.	Wesentliche amerikanische Theorien und Hintergründe	63
6.	Auswertung einer praktischen Studie zum Erfolg von Prismenkorrekturen und <i>VT</i>	127
7.	Auswertung zusätzlicher Untersuchungen	249
8.	Entwicklung einer kombinierten Untersuchungs- und Behandlungsstrategie.....	277
9.	Zusammenfassung und Diskussion	283
10.	Abkürzungsverzeichnis	287
11.	Literaturverzeichnis	289

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Zielsetzung	1
2.	Definitionsvergleich ähnlich verwendeter Begriffe	5
2.1	AC/A-CA/C interaction (AC/A-CA/C Kopplung)	5
2.2	AC/A-Verhältnis und AC/A-ratio	5
2.3	Anomale Retinale Korrespondenz (ARK) und <i>anomalous retinal correspondence</i> (ARC)	6
2.4	Assoziierte Phorie (AP _(D)) und <i>associated phoria</i> (AP _(USA))	7
2.5	Binokulares Einfachsehen und <i>single binocular vision</i>	8
2.6	CA/C ratio (CA/C-Verhältnis)	8
2.7	Einstellmechanismen	9
2.8	Exzentrische Fixation (EF) und <i>eccentric fixation</i> (EF)	9
2.9	Fixationsdisparität FD _(D) und <i>fixation disparity</i> (FD _(USA))	9
2.10	Fusionale Vergenz und <i>fusional vergence</i>	11
2.11	Heterophorie und <i>heterophoria</i> resp. <i>dissociated phoria</i>	11
2.12	Korrespondenz und <i>correspondence</i>	12
2.13	Mikrostrabismus und <i>microtropia</i>	12
2.14	Motorische Fusion und <i>motor fusion</i>	12
2.15	<i>nonstrabismic binocular vision</i> (nichstrabismisches Binokularsehen)	12
2.16	Normale retinale Korrespondenz (NRK) und <i>normal retinal correspondence</i> (NRC)	13
2.17	Orthophorie und <i>orthophoria</i>	13
2.18	Orthostellung und <i>ortho posture</i>	13
2.19	Phorie	14
2.20	<i>Prismadaptation</i> und <i>Vergenceadaptation</i> (Prismen- bzw. Vergenzadaptation)	14
2.21	Sensorische Fusion und <i>sensory fusion</i>	14
2.22	Vergenz-Ruhestellung und <i>resting state of vergence</i>	15
2.23	Winkelfehlsichtigkeit (WF)	15
3.	Grundlagen zum nichtstrab. Binokularsehen innerhalb des amerikanischen und deutschen Systems	17
3.1	Standarduntersuchungs- und Diagnosestrategien (USA)	18
3.1.1	Umriß einer binokularen Augenuntersuchung (USA)	18
3.1.2	Kurze Beschreibung wesentlicher Tests	19
3.1.3	Normwerte im Überblick	25
3.1.4	Amerikanische Klassifizierungssysteme im Überblick	26
3.1.5	Erläuterung der Integrativen Analyse	28
3.1.6	Amerikanische Phoriearten	31
3.1.7	Amerikanische Statistiken zur Häufigkeit nichtstrabismischer Konditionen	31
3.1.8	Vom Zusammenhang häufig auftretender Symptome und ihrer Diagnose	32
3.2	Standard Untersuchungs- und Diagnosestrategien (D)	33
3.2.1	Deutsches Klassifizierungssystem einer AP _(D)	33
3.2.2	Tests des Polatestgerätes und ihre Funktion	35
3.2.3	Beispiel - Korrekursionsverlauf einer Esophorie (8 ^{cm} _m) des Stadiums FD _(D) II/ 3	38
3.2.4	Phorierichtungen, -größen und -häufigkeiten in deutschen Statistiken	39
3.2.5	Zusammenhang des Stadiums einer AP _(D) mit auftretenden Symptomen	40
3.3	Korrektions- bzw. Therapievergleich beider Systeme	40
3.3.1	Refraktive Korrekturen	40
3.3.2	Additionen	43
3.3.3	Prismen	43
3.3.4	Visualtraining (VT)	46
3.3.5	Operationen	48
3.3.6	Übersicht über Korrektions- bzw. Therapiepräferenzen (USA)	49
3.4	Schlussfolgerungen	50
4.	Effektivität von Visualtraining und MKH-Vollkorrektion	53
4.1	Studien zur Effizienz von VT	53
4.1.1	<i>American Optometric Association (AOA) Report</i>	53
4.1.2	Effektivität für Konvergenzexzess (KE/ CE)	55
4.2	Studien zur MKH-Korrektur	57
4.2.1	Cagnolatie	57
4.2.2	Lie und Opheim	58
4.2.3	Methling	59
4.3	Zusammenfassung	61

5.	Wesentliche amerikanische Theorien und Hintergründe	63
5.1	Einleitung.....	63
5.2	Amerikanische FD-Messungen	63
5.2.1	Einführung.....	63
5.2.2	$FD_{(USA)}$ -Messung und Messgeräte	64
5.2.3	Arten von $FD_{(USA)}$ -Kurven.....	69
5.2.4	Auswertung der Kurven	73
5.2.5	Einflüsse auf $FD_{(USA)}$ - Kurven.....	74
5.2.6	Anwendung	77
5.2.7	Auswertung	79
5.3	Prismen- oder Vergenzadaptation.....	82
5.3.1	Amerikanischen Theorien	82
5.3.2	Haases Gegenargumente	90
5.3.3	Eigene Schlussfolgerungen und Diskussion.....	93
5.4	Interaktionen von Akkommodation und Vergenz.....	99
5.4.1	Der biologische Regelkreis.....	99
5.4.2	Messmethoden.....	100
5.4.3	Bedingungen bei geschlossenem Regelkreis.....	101
5.4.4	Vergenz- und Akkommodations-Adaptationsfähigkeit.....	105
5.4.5	Kann das AC/A-Verhältnis verändert werden?	106
5.4.6	Abgrenzung der proximalen Vergenz von der <i>stimulus AC/A</i>	107
5.4.7	AC/A- und CA/C- spezifisches Visualtraining.....	109
5.4.8	Schlussfolgerungen	109
5.5	Physiologie der Entstehung von Phorien im Zusammenhang mit Nahpunktstress - Modellen	111
5.5.1	Einführung.....	111
5.5.2	Nahpunktstress – Modelle.....	112
5.5.3	Psychologische Einflüsse auf Nahpunktstress.....	116
5.5.4	Überkonvergenzinduzierte visuelle Defizite	117
5.5.5	Haases Hypothese über Impulskopplung okularer Einstellmechanismen	124
5.5.6	Eigene Schlussfolgerungen	125
6.	Auswertung einer praktischen Studie zum Erfolg von Prismenkorrekturen und VT.....	127
6.1	Vorstellen der Ziele.....	127
6.2	Aufbau der praktischen Studie.....	128
6.2.1	Allgemeiner Ablauf.....	128
6.2.2	Eingangsuntersuchungen	129
6.2.3	Prismenkorrektur.....	133
6.2.4	Abschlussuntersuchungen, Prismenkorrektur und Kontrollprobanden	134
6.2.5	Visualtraining (VT).....	136
6.2.6	Abschlussuntersuchungen Visualtraining.....	142
6.3	Auswertung der Anamnese zu Veränderungen von Beschwerden.....	143
6.3.1	Compliance.....	144
6.3.2	Spontanverträglichkeit und Eingewöhnung der Korrektur	144
6.3.3	Veränderungen der Lebensgewohnheiten bzw. Lebensqualität.....	146
6.3.4	Veränderungen beim Sehen.....	147
6.3.5	Statistischer Vergleich subjektiver Veränderungen von Asthenopien und Sehstörungen	148
6.3.6	Zukunftsansichten im Gebrauch der Brille	153
6.3.7	Zusammenfassung	153
6.4	Auswertung der Messergebnisse zur Prismenstudie.....	154
6.4.1	Statistische Übersicht der Auffälligkeiten aller Probanden	154
6.4.2	Einschätzung des Korrekturerfolges nach deutschen Kriterien.....	157
6.4.3	Einschätzung des Korrekturerfolges nach amerikanischen Kriterien.....	165
6.4.4	Zusammenhänge zwischen $AP_{(D)}$ und $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessungen.....	187
6.4.5	Vergleich der amerikanischen Diagnose mit dem $AP_{(D)}$ -Stadium	201
6.5	Auswertungen der Messergebnisse zur Visualtrainings-Studie.....	204
6.5.1	Kriterien für die Auswahl der Probanden	204
6.5.2	Fallbeschreibungen.....	204
6.5.3	Anamneseauswertung	220
6.5.4	Generelle Einflüsse auf die Sehfunktionen.....	222
6.5.5	Einfluss $FD_{(USA)}$ -Kurven.....	228
6.5.6	Generelle Einflüsse auf die MKH-Ergebnisse.....	233
6.5.7	Schlussfolgerungen aufgrund der Auswertungen	238
6.6	Zusammenfassung von Ergebnissen der Prismen- und VT-Studie.....	240
6.6.1	Erfolge der MKH-Korrekturen in Bezug zu Erfolgen des VTs laut amerikanischer Kriterien	240

6.6.2	Zusammenhang zwischen dem sensorischen Status laut MKH und der amerikanischen Diagnose ..	242
6.6.3	Einfluss des Visualtrainings auf den Status laut MKH im Vergleich zu MKH-Prismenkorrekturen	244
6.6.4	Messwerttoleranzen in der Kontrollgruppe.....	245
6.6.5	Weitere interessante Zusammenhänge.....	246
6.6.6	Besitzt das deutsche oder amerikanische System Lücken in der Aufdeckung visueller Defizite? ..	246
7.	Auswertung zusätzlicher Untersuchungen an orthophoren Probanden	249
7.1	Der Versuchsaufbau.....	251
7.1.1	Aufnahmekriterien/ Ausschlusskriterien.....	251
7.1.2	Ablauf der Voruntersuchungen	252
7.1.3	Teste zur Prismenadaptation	253
7.2	Spekulationen	254
7.3	Hindernisse	255
7.4	Ergebnisse	255
7.4.1	Probandin 1	255
7.4.2	Probandin 2	261
7.4.3	Proband 3	266
7.5	Auswertung.....	271
7.5.1	Einstellmechanismen	271
7.5.2	$FD_{(USA)}$ -Kurven	272
7.5.3	Prismenadaptation/ sensorische Anpassungszustände.....	272
7.5.4	Schlussfolgerungen.....	274
8.	Entwicklung einer kombinierten Untersuchungs- und Behandlungsstrategie.....	277
8.1	Aspekte der Untersuchungsstrategie	277
8.1.1	Auswahl relevanter Teste.....	277
8.1.2	Die Reihenfolge der Teste.....	279
8.2	Aspekte des Managements.....	280
8.2.1	Effizienz der MKH-Korrekturen.....	280
8.2.2	Effizienz von VT	281
8.2.3	Alternative Korrektionsmethoden.....	281
8.2.4	Bedürfnisse des Probanden.....	282
9.	Zusammenfassung und Diskussion	283
10.	Abkürzungsverzeichnis.....	287
11.	Literaturverzeichnis.....	289

1. Einleitung und Zielsetzung

In der modernen Arbeitswelt wachsen die Anforderungen an das Sehen bei einem Übergewicht an Naharbeit, vor allem auch durch den rasanten Anstieg von Computertätigkeiten. Studien konnten einen bestehenden Zusammenhang zwischen der Häufigkeit asthenopischer Beschwerden und konzentrierten Tätigkeiten mit konstanten Naharbeitsabständen aufdecken. Dabei scheinen Menschen mit einer assoziierten Phorie bei gleicher Tätigkeit zweimal häufiger zu Beschwerden zu neigen, als orthopthore Menschen [Methling, 1983, S.41].

Asthenopien und Sehstörungen beeinträchtigen die Lebensqualität von mindestens 10 Prozent aller Menschen unserer Gesellschaft signifikant [Baumann, 1965, S.2; Cagnolati, 1987, S.157, S.160]. Beschwerden dieser Art können Einfluss auf die Persönlichkeitsentwicklung und die berufliche Laufbahn der Betroffenen nehmen. Gerade Kinder fallen in der Schule oft durch Lese-Rechtschreibschwächen auf, die aufgrund unzureichender optometrischer Versorgung hervorgerufen werden können

[Vranko, Diplomarbeit WS 2001, S.77].

Leider gibt es innerhalb der internationalen Optometrie noch keine einheitlichen Strategien im optometrischen Management defizitären nichtstrabismischen Binokularsehens. Zwei sehr gegensätzliche Systeme findet man vor allem in der amerikanischen und deutschen Verfahrensweise des Umganges mit assoziierten Phorien sowie akkommodativen und okulomotorischen Fehlfunktionen. Beide erheben dabei den Anspruch auf Erfolg der jeweiligen Methode.

Das Anliegen dieser Arbeit ist daher vorrangig, diese beiden verschiedenen Philosophien zur Untersuchung, Diagnose und Behandlung von Störungen im Binokularsehen zu vergleichen, um für Betroffene eine fallspezifische optimale Lösung in der optometrischen Versorgung zu entwickeln.

In den USA ist nun schon seit über 30 Jahren das Visualtraining (VT) die bevorzugte Methode, Asthenopien bzw. Sehstörungen zu behandeln [AOA-Report, Online-Publikation, 2001]. Es ist fester Bestandteil der Ausbildung und Zulassung in der Optometrie. Beim Visualtraining werden hauptsächlich Einstellmechanismen, wie z.B. Akkommodationsamplituden, Vergenzreserven, Vergenz- und Akkommodationsdynamik angesprochen. Es sind vorrangig diese Sehfunktionen, die in der Untersuchung und Diagnosefindung berücksichtigt werden. Prismen werden, vor allem aufgrund häufig ansteigender Werte und Unverträglichkeiten der Probanden, nur in einigen speziellen Bereichen mit Vorsicht eingesetzt. Die Mess- und Korrekturmethode nach H.J.-Haase (MKH) ist in den USA weitgehend unbekannt.

In Deutschland hingegen verwenden Optometristen seit der Erfindung des Polatestes und der Einführung der MKH, seit Anfang der 50iger Jahre fast ausschließlich Prismen, um die genannten Probleme der Betroffenen abzustellen. Hier wird das defizitäre Binokularsehen hauptsächlich auf eine bestehende assoziierte Phorie (Winkelfehlsichtigkeit) zurückgeführt, die Defizite in den Einstellmechanismen hervorrufen kann. Eine Diagnose zum Ursprung der Beschwerden stützt sich dann allein auf den zuvor ermittelten sensomotorischen Zustand des Vergenzsystems. Sehfunktionen werden nicht routinemäßig untersucht. Das Visualtraining ist bislang in Deutschland noch nicht in der Ausbildung zum Optometristen enthalten.

Amerikanische Optometristen gehen offensichtlich davon aus, dass auch einzelne Sehfunktionen Defizite aufweisen können und diese einzeln trainierbar sind. Deutsche Optometristen vertreten indessen die Meinung, dass derartige Störungen nur durch eine dekompenzierte, assoziierte Phorie hervorgerufen werden, und sich deshalb durch die MKH-Vollkorrektur abstellen lassen.

Die Ursache für die Entwicklung zweier grundsätzlich unterschiedlicher Herangehensweisen in der optometrischen Versorgung der Betroffenen ist historisch bedingt, aber sicherlich auch auf einen fehlenden Austausch zwischen forschenden und lehrenden Optometristen beider Länder zurückzuführen.

Ob die beiden Ursprungstheorien zur Entstehung von Asthenopien sich nun grundlegend unterscheiden müssen, oder ob sie sich zu einem vollständigeren Bild ergänzen lassen könnten, soll in dieser Diplomarbeit erstmals untersucht werden.

Im ersten Teil der Diplomarbeit sollen die Grundlagen beider Systeme zusammengetragen werden um überhaupt Vergleiche vornehmen zu können. Angestrebt ist, bestehende Wissenslücken innerhalb der amerikanischen, aber auch der deutschen Optometrie deutlich zu machen. In diesem Rahmen ist es an erster Stelle unabdingbar, Definitionen beider Systeme zu vergleichen, um Missverständnisse bei der Benutzung bestimmter Fachbegriffe auszuräumen. Danach werden die jeweiligen Untersuchungs-, Diagnose- und Behandlungs- bzw. Korrektionsstrategien erläutert und ihre jeweilige Effektivität anhand verfügbarer Forschungsergebnisse belegt.

Um Ursachen für die, in der Auswertung der Daten auftretenden, Phänomene offen zu legen, wurden typisch amerikanische Theorien zu den Themen: FD-Kurvenmessung, Prismen- bzw. Vergenzadaptation, Akkommodations- und Vergenzinteraktion und zur Physiologie der Entstehung von Phorien dargestellt und analysiert.

Im Hauptteil der Diplomarbeit werden 3 praktische Studien ausgewertet.

In der ersten Studie wurde anhand von 10 symptomatischen Probanden untersucht, inwiefern erfolgreiche MKH-Vollkorrekturen innerhalb einer Korrektionszeit von 2 Monaten, auch nach amerikanischen Kriterien Erfolge zeigten, eingeschränkte Sehfunktionen auf Normwerte anzuheben.

Hierzu wurden alle Probanden, vor und nach der Korrektionszeit, nach deutschen als auch amerikanischen Kriterien untersucht und bewertet, sowie in Form einer Anamnese subjektiv zu Veränderungen ihrer Symptome befragt.

Eine Kontrollgruppe von ebenfalls 10 symptomatischen Probanden wurde nach identischen Kriterien untersucht und bewertet, nur wurde bei ihnen innerhalb einer 2monatigen Kontrollzeit keine Korrektur vorgenommen. Auch in dieser Gruppe wurde eine Anamnese vor und nach der Kontrollzeit durchgeführt. Die Auswertung der Daten dieser Probandengruppe diente zur Erfassung von Messwerttoleranzen, aber auch zur Beurteilung von konstitutionellen Schwankungen, die sich positiv oder negativ auf Beschwerden, Sehfunktionen oder assoziierte Phorien auswirken könnten.

Anhand dieser 20 Probanden soll versucht werden, Zusammenhänge zwischen den Diagnosen beider Systeme herzuleiten. Es soll hier untersucht werden, ob gewisse Sehfunktionen oder aber auch amerikanische FD-Kurvenformen regelmäßig bei bestimmten sensorischen Anpassungsstadien auftreten.

In einer zweiten Studie erhielten 4 der zuvor prismatisch versorgten Probanden über mehrere Monate Visualtraining. Die Probanden hatten entweder noch immer Beschwerden, oder die Prismenkorrektion zeigte noch keine Erfolge in der Rückstellung sensorischer Anpassungen (laut MKH) bzw. in der Verbesserung von Sehfunktionen.

Jeder dieser 4 Probanden war aus verschiedenen Gründen daran interessiert die Prismenkorrektion zeitweise oder sogar generell ablegen zu können.

In dieser Studie wurde neben Erfolgen in der Verbesserung von Beschwerden und visuellen Funktionen als Hauptanliegen untersucht, welchen Einfluss das Training auf den sensorischen Status laut MKH nehmen konnte.

In der 3. Studie wurde untersucht, ob bei orthophoren Probanden Einstellmechanismen beeinträchtigt sein können, oder andersherum, ob nach den Auswertungen der 2. Studie bei *normal binocular vision*¹ der Status laut MKH auffällig sein kann. Dieses Ergebnis würde die Aussagefähigkeit beider Systeme relativieren. Träten zudem bedingt Beschwerden auf, deren Ursache die MKH oder aber die amerikanische Standarduntersuchung nicht erfassen können, so wäre eine sinnvolle Kombination aus beiden Systemen unabdingbar.

Gleichzeitig sollte die Theorie der Prismenadaptation an praktischen Versuchen kritisch hinterfragt werden. Diesbezüglich wurde mit Hilfe der orthophoren Probanden untersucht, ob der Polatest in der Lage ist, einen künstlich erzeugten Vergenzbedarf dort aufzudecken, wo amerikanische Messmethoden versagen. Zusätzlich war vom großen Interesse, wie der sensomotorische Status des visuellen Systems auf den kurzzeitig hohen Vergenzanspruch antworten würde. Laut amerikanischer Theorie, können hierbei FDs spontan erzeugt werden.

Trotz der statistisch gesehen eher kleinen Zahl an Probanden aller Studien bleibt zu hoffen, dass bereits ansatzweise erkennbar wird, durch welche Maßnahme, in welcher Form und in welcher zeitlichen Reihenfolge sich defizitäre Sehfunktionen und der sensorischer Status beeinflussen lassen.

¹ *normal binocular vision*: der Proband zeigt keine Auffälligkeiten nach amerikanischen Sehfunktionskriterien

2. Definitionsvergleich ähnlich verwendeter Begriffe

In der deutschen und in der amerikanischen Optometrie werden im Management des Binokularsehens häufig äußerst ähnliche Fachterminologien verwendet. Aufgrund unterschiedlicher Entwicklungs- und Forschungstendenzen beider Systeme sind jedoch viele dieser Termini unterschiedlich belegt. Durch mangelnde Kenntnis der jeweiligen Definitionen werden ähnliche Begriffe verwechselt oder fehlinterpretiert. Um dies zu vermeiden werden folgend die wichtigsten Grundlagengriffbeide Systeme definiert und erläutert.

Zur einfacheren Differenzierung wurden alle aus dem amerikanischen Fachvokabular entnommenen Begriffe *kursiv* geschrieben. Es empfiehlt sich, folgende Definitionen und Erläuterungen bei der Arbeit mit dieser Studie immer wieder zu Rate zu ziehen. Aus diesem Grunde wurden zur Vereinfachung die Begriffe alphabetisch sortiert.

2.1 *AC/A-CA/C interaction*¹ (AC/A-CA/C Kopplung)

Akkommodation und Vergenz beeinflussen sich gegenseitig. Bei Vergenzinnervation erfolgt automatisch Akkommodation (Vergenzakkommodation = *CA/C*) und an die Akkommodation ist im Gegenzug die Vergenz gekoppelt (akkommodative Vergenz = *AC/A*).

Beide Mechanismen beeinflussen sich unter natürlichen, binokularen Umständen in einer Art geschlossenem Regelkreis (*closed-loop*). Die *AC/A* schließt eine Rückkopplung zur *CA/C* und umgekehrt, bis ein Objekt scharf und mit beiden Augen binokular einfach wahrgenommen werden kann. Unterbricht man diese natürliche *closed-loop* Bedingung mittels eines Heterophorie-Testes oder einer Lochblende, so spricht man vom Zustand einer offenen Schleife (*open-loop condition*). Auch unter diesen Umständen beeinflusst die Akkommodation die Vergenz bzw. die Vergenz die Akkommodation, nur finden hier keine „Rückkopplungsketten“ statt [Schor & Ciuffreda, 1983, S.501].

2.2 *AC/A-Verhältnis* und *AC/A-ratio*

Das *AC/A-Verhältnis* beschreibt die feste Kopplung der Vergenz an Akkommodationsänderungen und wird auch *akkommodative Vergenz* (*accommodative vergence*) genannt. Diese Kopplung wird im Deutschen mit den Begriffen *AC/A-Gradient* und *AC/A-Quotient*, im Amerikanischen mit *gradient AC/A* und *calculated AC/A* beschrieben [Scheiman & Wick, 1994, S.9-10; Zeiss-Handbuch, 1993, S.85].

Die deutsche und die amerikanische Auffassung entsprechen sich in der Anwendung des Begriffes *AC/A-Gradient*. Bei der Messung des *AC/A-Gradienten* wird bei konstanter Objektentfernung mit und ohne akkommodationsändernde optische Mittel die Ruhestellung bestimmt und die Differenz durch die Akkommodationsänderung geteilt.

$$\text{AC/A-Gradient} = \frac{\text{Akkommodative Vergenz}}{\text{Akkommodation}}$$

Formel 2.2-1: Berechnung des AC/A-Gradienten
[Zeiss-Handbuch, 1993, S.85]

¹ amerikanische Begriffe werden zur Abgrenzung gegen ähnlich klingende deutsche Begriffe immer kursiv geschrieben

Der Normwert des *gradient AC/A* beträgt $4,0 \pm 2,0 PD/D$, der des AC/A Gradienten 4cm.

Deutsche Einheit:	cm
Amerikanische Einheit:	PD / D
$(PD \triangleq pdpt \text{ oder } cm/m); (D \triangleq dpt \text{ oder } 1/m)$	

Der AC/A-Quotient berücksichtigt nach dem deutschen Modell zusätzlich den Vergenzanteil, der durch die psychische (proximale) Vergenz initiiert wird. Der Unterschied zur Messung des AC/A-Gradienten besteht darin, dass hier die Akkommodationsänderung, bei konstanter optischer Korrektur durch die veränderte Objektentfernung und nicht durch optische Gläser erfolgt. Das bedeutet, man bildet die Differenz der Fern- und Nahruhestellung und teilt sie durch den Kehrwert der Nahmessdistanz.

$$AC/A\text{-Quotient} = \frac{\text{Akkommodative} + \text{Psychische Vergenz}}{\text{Akkommodation}}$$

Formel 2.2-2: Berechnung des AC/A-Quotienten
[Zeiss-Handbuch, 1993, S.85]

Der AC/A-Quotient entspricht der amerikanischen *calculated AC/A*, nur dass diese den Pupillenabstand einbezieht:

$$calculated AC/A = IPD (cm) + NFD (m) (Hn-Hf)$$

IPD	Pupillendistanz	Exophorien (-) Esophorien (+)
NFD	Nahmessentfernung	
Hn	Nahheterophorie	
Hf	Fernheterophorie	

Formel 2.2-3: Berechnung des *calculated AC/A*
[Scheiman & Wick, 1997, S.10]

Man benutzt sowohl im deutschen als auch im amerikanischen System diese zwei verschiedenen Formeln, da aufgrund proximaler Vergenz Unterschiede zwischen AC/A-Gradient und AC/A-Quotient bzw. *calculated AC/A* bestehen können. Einige amerikanische Diagnosen lassen nur den *calculated AC/A* zu (z.B. *Divergent Excess*).

2.3 Anomale Retinale Korrespondenz (ARK) und *anomalous retinal correspondence (ARC)*

Man spricht in der amerikanischen Definition von einer *ARC*, wenn in Fällen von Strabismus ein "nichtfovealer" Punkt (*nonfoveal point*) mit der Fovea des anderen Auges im Binokularsehen korrespondiert, im Monokularsehen die Foveae jedoch weiterhin den ursprünglichen Richtungswert geradeaus besitzen [Bailey, NABF, W2000-1, S.17]. Dieser Zustand kann mit Hilfe des *Covertestes* diagnostiziert werden, wenn durch einen bestehenden Anomaliewinkel beide Schielwinkel unterschiedliche Größen zwischen einseitigem und wechselseitigem *Covertest* zeigen [Rutstein & Daum, 1998, S.132].

Man spricht innerhalb der deutschen Optometrie von anomaler retinaler Korrespondenz, wenn in Fällen einer Heterotropie das Korrespondenzzentrum des abweichenden Auges außerhalb des zentralen Panumbereiches liegt [Stollenwerk, 1997, S.127].

Streng genommen besteht die Diskrepanz in den Definitionen darin, dass einige Fälle einer motorisch und sensorisch kompensierten $AP_{(D)}$ einem Strabismus mit *ARC* entsprächen, da im Binokularsehen nicht in beiden Augen bizentral, fixiert wird. Nach der deutschen Theorie müssten auch beim einseitigen Zudecken des zentral fixierenden Auges Einstellbewegungen am *Coverttest* auftreten, die durch die Panumbereichsgrenzen kleiner ausfallen müssten als beim wechselseitigen Zudecken, da zusätzlich motorisch fusionierende Anteile sichtbar würden.

Es bleibt zudem fragwürdig, wie man messtechnisch nach deutscher Definition feststellen kann, ob eine disparate Korrespondenz außerhalb des Panumbereiches liegt. Daher scheint nur die Größe der sensorischen Fusion Hinweise geben zu können. Ergäbe ein einseitiger *Coverttest* eine Einstellbewegung von mehr als 4 cm/m, so wäre es eher unwahrscheinlich, dass die binokulare Korrespondenz im abweichenden Auge noch im erweiterten Panumbereich stattfände.

2.4 Assoziierte Phorie ($AP_{(D)}$) und *associated phoria* ($AP_{(USA)}$)

Deutsche und amerikanische Definitionen einer assoziierten Phorie stimmen dahingehend überein, dass diese spezielle Art der Phoriemessung bei Anwesenheit von Fusionsreizen erfolgen muss.

Nach amerikanischer Definition entspricht jedoch eine assoziierte Phorie dem Prismenwert, der eine subjektiv wahrgenommene $FD_{(USA)}$ bei vorhandenen Fusionsreizen komplett korrigiert [Schor & Ciuffrada, 1983, S.471].

Nach deutscher Definition entspricht eine assoziierte Phorie einer von der Orthostellung abweichenden optometrischen Vergenz-Ruhestellung unter Fusionsreizeinfluss und hohen Sehanforderungen, z.B. Stereopsis [Stollenwerk, 1997, S.5-9].

Die direkten Definitionen unterscheiden sich grundlegend. Wenn man genau liest, so besteht nach amerikanischer Definition nur dann eine $AP_{(USA)}$, wenn auch eine *fixation disparity* vorhanden ist.

Die meisten amerikanischen Standardteste besitzen ausschließlich periphere Fusionsreize. Sie zeigen aufgrund zunehmender Durchmesser der Sehelemente in Richtung Netzhautperipherie auch motorische Anteile einer Winkelfehlsichtigkeit. In aller Regel korrigieren sie nur auf ein beliebiges Korrespondenzzentrum. Es gibt auch gebräuchliche Teste, wie z.B. die *Mallett Unit*, die zentrale Fusionsreize enthalten und daher größtenteils nur sensorische Anteile einer $FD_{(D)}$ I–II/1 überprüfen können. Die Vermutung liegt nahe, dass sich bei einem vorhandenen zentralen Fusionsreiz ein Muskeltonus auch bei prismatischer Korrektur nur sehr langsam lösen kann. Aus diesem Grunde kann nicht davon ausgegangen werden, dass derartige Teste $AP_{(D)}$ s in voller Höhe aufzudecken in der Lage sind.

Der Polatest enthält darüber hinaus Stereoteste, die zusätzlich spezielle Formen assoziierter Phorien alter Anpassungsstadien ($FD_{(D)}$ II/ 2-6) sichtbar werden lassen, welche die *Mallett Unit* nicht anzuzeigen vermag.

Amerikanische Optometristen nehmen an, dass assoziierte Phorien grundsätzlich der Richtung von Heterophorien entsprechen, jedoch durch fusionsreizbedingte Vergenzadaptationen (Tonusbildung) die Größe der assoziierten Phorie generell um 20-25% geringer ausfällt als die der Heterophorie. Unter assoziierten (natürlichen) Bedingungen wirken Rückkopplungsmechanismen zwischen akkommodativer Vergenz (AC/A) und Vergenzakkommodation (CA/C), die den binokularen Vergenzzustand erheblich verändern können [Schor, 1983, S.179]. Aus genannten Gründen werden in den USA anstatt von Heterophoriemessungen zunehmend AP -Messungen als Grundlage zur Verschreibung prismatischer Werte, vor allem in Fällen vertikaler, aber auch horizontaler Stellungsfehler, verwendet.

Assoziierte Phorien werden von amerikanischen Optometristen häufig in der Nähe bestimmt, da in dieser Distanz oft Beschwerden auftreten [Scheiman; Gallaway, 2002, persönliche Gespräche]. Selten finden die Messungen unter photopischen Bedingungen statt.

In der deutschen Optometrie geht man nach Untersuchungen Haases davon aus, dass assoziierte Phorien nur in 20% aller Fälle nach Betrag und Richtung mit Heterophorien übereinstimmen [Haase, 1995, S.11, 15]. Die Messung der Fernvergenzruhestellung (MKH) bei photopischem Sehen ist hier von größerer optometrischer Bedeutung als Messungen in der Nähe oder bei geringerer Leuchtdichte. Es wird angenommen, dass die monokular ermittelte Fernrefraktion auch der binokularen Akkommodationsruhelage unter hohen Visusanforderungen entspricht und daher die Voraussetzung zur MKH bildet. Bei veränderter Fixationsentfernung würde dann durch die jeweilige akkommodative (AC/A) und proximale Vergenz ebenfalls eine Vergenzruhestellung eingenommen, sofern durch die prismatische Korrektur ideales bizontales Binokularsehen dauerhaft hergestellt werden konnte [Haase, 1995, 132].

Im Verlauf dieser Arbeit werden AP -Messungen amerikanischer Optometristen mit $AP_{(USA)}$ und die der deutschen mit $AP_{(D)}$ bezeichnet und, wenn möglich, die Messdistanz angegeben. Der Leser sollte dabei jedoch berücksichtigen, dass eine $AP_{(D)}$ weit mehr Fälle symptomatischen nichtstrabismischen binokularen Einfachsehens erfassen kann als die $AP_{(USA)}$.

2.5 Binokulares Einfachsehen und *single binocular vision*

Man spricht vom binokularen Einfachsehen, wenn die monokularen Netzhautbilder beider Augen sensorisch fusioniert, d.h. zeitgleich in höheren kortikalen Strukturen zu einem Gesamteindruck verarbeitet werden können [Ophthalmology(CD), 6.5 Strabismus (Sensory Fusion); Zeiss-Handbuch, 1993, S.82].

2.6 CA/C ratio (CA/C -Verhältnis)

Die CA/C ratio gibt an, wieviel Akkommodation an eine bestimmte Vergenz gekoppelt ist. Sie wird auch als Vergenzakkommodation oder kurz CA/C bezeichnet. Die CA/C hat weder in Deutschland noch in den USA bislang eine praktische Bedeutung innerhalb der angewandten Optometrie. Jedoch könnten anhand dieser Messung bestimmte Zusammenhänge in undurchsichtigen Fällen nichtstrabismischen Binokularsehens zur Diagnosefindung beitragen. Daher spielt die CA/C in den USA zu Forschungszwecken eine dominante Rolle [Scheiman & Wick, 1993, S.11, Schor, 1988, S.465-475].

Die CA/C ratio wird bestimmt, indem man unter akkommodationsreizfreien Bedingungen die Akkommodationsänderung misst, die entsteht, wenn das Augenpaar die Vergenzstellung ändert.

Bislang gibt es keine einheitlich akzeptierte Messmethode in den USA.

$$CA/C \text{ ratio} = \frac{\text{Akkommodationsänderung (dpt)}}{\text{Vergenzreiz (metre angle)}}$$

Formel 2.6-1: Berechnung des CA/C
[Scheiman & Wick, 1994, S.12]

Metre angle (MA) ist die amerikanische Einheit für einen Vergenzreiz in Grad, der auch den Pupillenabstand berücksichtigt. Bei einer durchschnittlichen PD von 6cm und einem Objektstand von 1m entspricht 1MA dem Vergenzreiz von ca. 6^{cm}/m. Das bedeutet, die CA/C gibt an, wie stark sich der Akkommodationszustand hinter einer Lochblende pro 6^{cm}/m ändert. Der Normwert der CA/C beträgt für Erwachsene 0,5dpt/MA [Scheiman & Wick, 1994, S.12].

2.7 Einstellmechanismen

Als Einstellmechanismen werden innerhalb dieser Arbeit die Gesamtheit aller Sehfunktionen bezeichnet, die maßgeblich an den visuellen Prozessen beteiligt sind, wie z.B. Stereopsis, Akkommodationsamplituden, Vergenzreserven, Dynamische Akkommodation und Vergenz etc.

2.8 Exzentrische Fixation (EF) und *eccentric fixation (EF)*

Bestehen Abweichungen in den monokularen Richtungswerten von Netzhautzellen gleicher Koordinaten zwischen beiden Augen, so besteht nach amerikanischer und deutscher Definition exzentrische Fixation. Die Foveamitte besitzt dann im Monokularsehen nicht mehr den Richtungswert geradeaus. Das fixierende Korrespondenzzentrum im abweichenden Auge zeigt in Bezug zum zentral fixierenden anderen Auge im Monokularsehen einen reduzierten Visus [Haase, 1999, S.119, Rutstein & Daum, 1998, S.3].

2.9 Fixationsdisparation ($FD_{(D)}$) und *fixation disparity ($FD_{(USA)}$)*

Eine FD beschreibt nach amerikanischer und deutscher Auffassung einen geringen Fehler der Vergenzsynchronisation im Binokularsehen, bei dem der Fixationspunkt, trotz geringfügiger Abweichung (Disparation) mindestens einer Fixierlinie, innerhalb des zugehörigen Panumbereiches abgebildet wird (siehe Abb.: 2.9-1).

Es gibt zwei gleichwertige amerikanische Theorien zur Ursache einer $FD_{(USA)}$:

1. Eine $FD_{(USA)}$ ist ein Symptom, das durch fusionalen Stress hervorgerufen wird.
2. Eine $FD_{(USA)}$ ist ein beabsichtigter Fehler des visuellen Systems, der zu Fusionszwecken ein schnelles energieintensiv arbeitendes Vergenzsystem (schnelle Fusionale Vergenz \triangleq motorische Fusion) anzuregen vermag [Schor & Ciuffreda, 1983, S.167].

Amerikanische Optometristen haben zur Messung einer *fixation disparity* FD-Teste unterschiedlichster Ausführung zur Auswahl. Sie unterscheiden sich hauptsächlich durch die dargebotenen Fusionsreize und sind nicht standardisiert. Die Größe einer $FD_{(USA)}$ wird durch die subjektive Beurteilung der Auswanderung zweier getrennt wahrgenommener Testanteile zueinander bestimmt. $FD_{(USA)}$ -Teste mit ausschließlich peripheren Fusionsreizen (*Wesson Card*) lassen nicht nur größere Auswanderungen

durch größere Panumbereiche zu. Sie zeigen auch die aus einem größeren Sehelementendurchmesser resultierenden motorischen Anteile einer assoziierten Phorie. $FD_{(USA)}$ -Teste, die zusätzlich zentrale Fusionsreize enthalten (z.B. *Mallett Unit*), zeigen aus genannten Gründen kleinere Auswanderungen. Nach Ogle kann eine $FD_{(USA)}$ nur der natürlichen Größe fusionierender Panumbereiche entsprechen (in der Horizontalen ca. 30 Winkelminuten, d.h. ca. $1,0^{cm/m}$). Unterschiedliche FD -Stadien werden nicht differenziert. Motorische und sensorische Anteile werden nach amerikanischer Auffassung nicht klar voneinander getrennt. Somit werden Auswanderungen von Testanteilen unter ausschließlich peripheren Fusionsbedingungen vollmotorisch kompensierter $AP_{(D)}$ s (wie z.B. beim Polatest-Kreuztest) ebenfalls als *fixation disparity* interpretiert. Unterschiede sensorischer Anpassungszustände wurden durch Differenzen subjektiver und objektiver $FD_{(USA)}$ -Messergebnisse zwar vermutet, jedoch weder definiert noch kamen diese Theorien in der Praxis zur Anwendung [Ogle, 1967, S.20, 27-38, Schor, 1983, S.465-468].

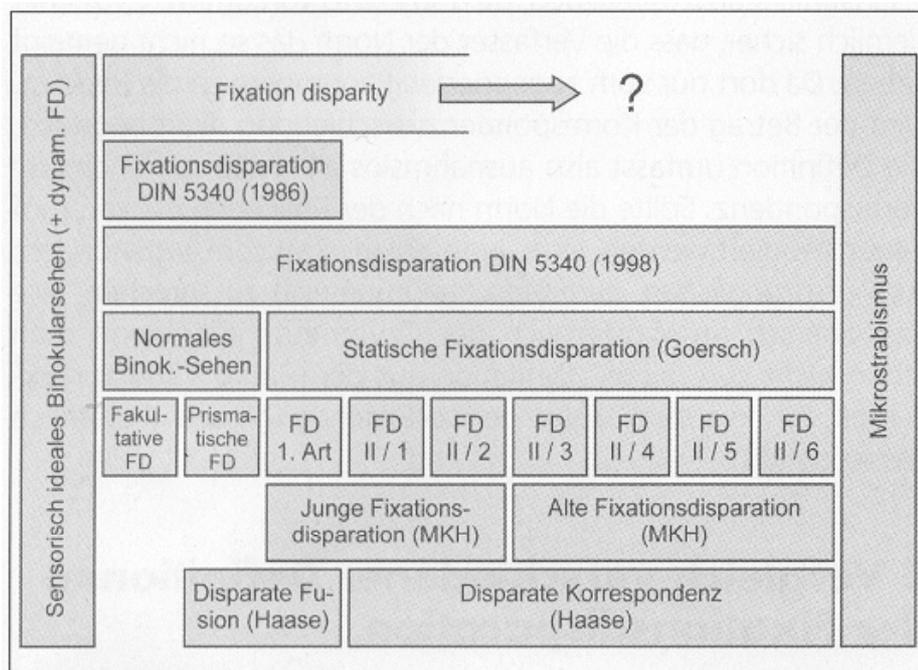


Abbildung 2.9-1: Gültigkeitsbereiche verschiedener FD -Definitionen
[Diepes, 2001, S.48]

Nach deutscher Auffassung tritt eine $FD_{(D)}$ durch eine motorische Dekompensation ein, d.h. aufgrund zu hoher fusionaler Belastung wird der Panumbereich "missbraucht", um fusionale Vergenz einzusparen. Dies entspricht weitestgehend der ersten geschilderten amerikanischen Theorie. Es werden zwei Stadien einer $FD_{(D)}$ unterschieden: die disparate Fusion ($FD_{(D)}$ I) und die disparate Korrespondenz ($FD_{(D)}$ II/ 1-5). In beiden Stadien findet eine normale Korrespondenz innerhalb des ursprünglichen oder erweiterten zentralen Panumbereiches statt, die bei einer $FD_{(D)}$ I noch bizentral, bei einer $FD_{(D)}$ II hingegen disparat arbeitet.

Die Größe der $FD_{(D)}$ kann nach deutscher Auffassung nicht über die Strecke der Auswanderung von Testanteilen bestimmt werden. Zum einen existieren individuell unterschiedliche Netzhautstrukturen und daran gekoppelte Verarbeitungsprozesse in der visuellen Kortex. Zum anderen zeigen sich Unterschiede in der Disparationswahrnehmung innerhalb verschiedener $FD_{(D)}$ -Stadien.

Größe und Stadium einer $FD_{(D)}$ werden durch den Polatest bestimmt. Die prismatische Korrektur, die nach dem Kreuztest an den $FD_{(D)}$ -Testen ermittelt wurde, bestimmt die Größe der $FD_{(D)}$.

Das Stadium der $FD_{(D)}$ wird durch den zuletzt zu korrigierenden Test festgelegt. Für eine klare Einordnung ist hierbei das Erlangen eines Stereosehgleichgewichtes Bedingung. Solange dieser binokulare Zustand nicht eintritt, ist nicht gesichert, ob es sich um eine Fixationsdisparation oder aber eine anomale retinale Korrespondenz handelt [Haase, 1995, S.59].

Um vorzubeugen, dass die Anwendung des Begriffes FD bei den dargestellten unterschiedlichen Interpretationen Unklarheiten hervorruft, werden auch im weiteren Verlauf dieser Arbeit amerikanische Auffassungen einer Fixationsdisparation mit *fixation disparity* oder der Abkürzung $FD_{(USA)}$ gekennzeichnet und deutsche mit $FD_{(D)}$.

2.10 Fusionale Vergenz und *fusional vergence*

Die Fusionale Vergenz setzt sich nach dem Modell Schors (USA) aus zwei Komponenten zusammen, einerseits die Schnelle Fusionale Vergenz (*fast fusional vergence*), zum anderen die Langsame Fusionale Vergenz (*slow fusional vergence = vergence adaptation*). Die Schnelle Fusionale Vergenz arbeitet innerhalb einer Sekunde bei hohem Energieverbrauch zur motorischen Innervation der äußeren Augenmuskeln, um die Disparität² zweier Netzhautbilder zu reduzieren. Nach deutschem Modell hieße dies, einem Fusionsreiz nachzukommen, so dass sensorische Fusion innerhalb der Panumbereiche stattfinden kann.

Die Langsame Fusionale Vergenz braucht dagegen mindestens 30 Sekunden, um zu reagieren. Dabei ist sie hauptsächlich von der Stärke der Reaktion (*Output*) des schnelleren Systems abhängig. Bei diesem Vorgang wird innerhalb von ca. 10 - 15s die Schnelle Vergenz mittels einer schwächer werdenden neuralen Einführung (*leaky neural integrator*) allmählich von der Langsamen Vergenz abgelöst [Birbaum, 1993, S.4-5].

Im deutschen Modell wird Fusionale Vergenz mit motorischer Fusion gleichgesetzt [Stollenwerk, 1997, S.136]. Die deutsche Auffassung der Fusionalen Vergenz entspricht somit der Schnellen Fusionalen Vergenz des amerikanischen Modells.

2.11 Heterophorie und *heterophoria resp. dissociated phoria*

Eine Heterophorie ist nach amerikanischer und deutscher Auffassung eine von der Orthophorie abweichende, fusionsreizfreie Vergenz-Ruhestellung [Schor & Ciuffreda, 1983, S.16; Goersch, 2001, S.129].

Eine Heterophorie wird immer mit dissoziierenden Messmethoden ermittelt (*Coverttest*, Graefescher Gleichgewichtstest, *Maddox-Zylinderverfahren*). Diese Messung ist integraler Bestandteil zur Diagnosefindung amerikanischer Optometristen. Nach Haase können unter dissoziierten Umständen trotzdem "frustrane Fusionsreize" wirken. In diesen Fällen wird Fusion durch Veränderung der Vergenzruhestellung angestrebt, aber nie erreicht. Zudem können falsche Werte gemessen werden, wenn, wie in den USA typisch, nicht unter photopischen Bedingungen gemessen wird. Es liegen daher keine natürlichen Sehbedingungen bei der Messung einer Heterophorie vor. Diese Phorieart kann stark von der assoziierten Phorie abweichen und sogar entgegengesetzte Basislagen annehmen [Haase, Zur FD, S.11, 15; Scheiman & Wick, 1994, S.9].

² Disparität bezeichnet Bildlageunterschiede über die gesamte Netzhaut und bezieht sich nicht nur auf Panumbereiche.

2.12 Korrespondenz und *correspondence*

Nach DIN 5340 ist die Korrespondenz die sensorische Beziehung der Netzhäute beider Augen bezüglich ihrer monokularen Richtungswerte [Haase, 1999, S.119]. Diese Definition entspricht sinngemäß der amerikanischen Definition [Duane's Ophthalmology (CD), 6.5 Strabismus].

2.13 Mikrostrabismus und *microtropia*

Nach DIN 5340 (1986) ist ein Mikrostrabismus eine "irreversible, sensorisch bedingte Form eines manifesten monolateralen Strabismus mit einem Schielwinkel kleiner als 5°". Ein Mikrostrabismus lässt sich nur schwer von einer $FD_{(D)}$ II/ 4-6 abgrenzen, wenn trotz konstant getragener Vollkorrektion und beiderseits annähernd gleichem Visus kein Stereosehgleichgewicht hergestellt werden kann [Haase, 1999, S.181].

Laut amerikanischer Definition ist ein Mikrostrabismus (*microtropia*) ein Strabismus geringer Größe mit exzentrischer Fixation. Die exzentrische Fixation entspricht dem objektiven Schielwinkel. Es tritt keine Einstellbewegung auf, weder am einseitigen noch am wechselseitigen *Coverttest*. Bei einer *microtropia* ist der Visus im abweichenden Auge reduziert und es kann kein *Random Dot* erkannt werden [Bailey, NABF W 2000-01, S.55].

In der amerikanischen Literatur wird jedoch der Mikrostrabismus noch vom Monofixationssyndrom (*monofixation syndrom*) abgegrenzt. Das Monofixationssyndrom tritt ebenfalls nur bei geringen Schielwinkeln bis zu 10 cm/m auf. Das Hauptkriterium dafür ist jedoch, dass starke zentrale Suppressionen im abweichenden Auge zu finden sind und Fusion nur peripher erfolgt. Diese Form des Strabismus kann eine *ARC* (ARK) ausbilden und später in einen Mikrostrabismus übergehen [Bailey, NABF W 2000-01, S.56].

Mit dieser Definition schließt das Monofixationssyndrom im Grunde alle Stadien einer $FD_{(D)}$ II ein, da in der amerikanischen Optometrie die *ARC* (Fusion außerhalb des zentralen Panumbereichs) nicht von der $FD_{(D)}$ (Fusion im zentralen Panumbereich) getrennt wird.

2.14 Motorische Fusion und *motor fusion*

Die amerikanische und die deutsche Definition ähneln sich inhaltlich.

Motor fusion ist nach amerikanischer Definition die durch retinale Disparität hervorgerufene relative Bewegung beider Augen zur Herstellung sensorischer Fusion durch Stimulation korrespondierender Netzhautelemente [Bailey, NABF (W 2000-1), S.12].

Die Deutsche Definition lautet: Eine motorische Fusion ist fusionale Vergenz, die durch einen Fusionsreiz ausgelöst wird [Stollenwerk, 1997, S.125].

2.15 *nonstrabismic binocular vision* (nichstrabismisches Binokularsehen)

Laut der amerikanischen Theorie gibt es Defizite, wie z.B. Akkommodationsstörungen und Okkulomotorische Fehlfunktionen, die nicht von einem Strabismus oder einer assoziierten Phorie hervorgerufen werden und trotzdem mit enormen Einschränkungen von binokularen Sehfunktionen einhergehen können. Daher wird innerhalb dieser Diplomarbeit der amerikanische Sammelbegriff *nonstrabismic* in seiner deutschen Übersetzung zur Beschreibung binokular auffälliger Zustände übernommen.

2.16 Normale retinale Korrespondenz (NRK) und *normal retinal correspondence (NRC)*

In der amerikanischen Literatur spricht man von *normal retinal correspondence*, wenn beide Foveamitten im Binokularsehen den Richtungswert geradeaus besitzen. *NRC* kann sowohl in nichtstrabismischen als auch in strabismischen Zuständen (ohne *ARC*) auftreten. In Fällen von Strabismus liegt eine *NRC* vor, wenn der objektive Schielwinkel mit dem subjektiven Schielwinkel übereinstimmt. Bei binokularer Fixation können Random Dot-Bilder identifiziert werden [Bailey, NABF-Unterlagen, W 2000-1, S.16].

Diese Definition ist in Deutschland nur bedingt gültig. Hier spricht man von einer normalen retinalen Korrespondenz, solange die Korrespondenzzentren beider Augen im Binokularsehen innerhalb des zentralen Panumbereiches liegen. Daher decken sich beide Definitionen nur für vollmotorisch kompensierte AP_(D)s.

2.17 Orthophorie und *orthophoria*

Stimmt die Vergenz-Ruhestellung mit der Orthostellung unter fusionsreizfreien Bedingungen überein, so bezeichnet man diesen Zustand des Augenpaares als Orthophorie [Stollenwerk, 1997, S.129].

Man geht bei dieser Definition davon aus, dass Augen in Abwesenheit von Fusionsreizen in ihre Vergenz-Ruhestellung gingen. Es ist jedoch fraglich, ob diese Annahme berechtigt ist, da die Augen ohne Fusionsreize, je nach Leuchtdichte, unterschiedliche Leerfeldakkommodations-Ruhezustände einnehmen könnten, welche wiederum Auswirkungen auf die Vergenz hätten. Zudem ist zweifelhaft, ob es praktisch überhaupt eine fusionsreizfreie Messmethode geben kann, da herkömmliche Heterophorieteste immer, wenn auch nur durch das Symmetrieempfinden, Fusionsreize enthalten. Eine Übereinstimmung des energieärmsten Vergenzzustandes unter natürlichen Sehbedingungen mit der Vergenz eines bestimmten Leerfeldakkommodations-Ruhezustandes wäre somit eher als Ausnahme zu betrachten. Aus den genannten Gründen ist diese Definition der Orthophorie weniger von praktischer Bedeutung.

Der Begriff Orthophorie wird jedoch sowohl in der amerikanischen als auch deutschen Literatur oft verwandt, wenn es sich um Fälle außerordentlich guten, beschwerdefreien Binokularsehens handelt, wenn also mit dissoziierten bzw. assoziierten Testmethoden kein Vergenz-Ruhestellungsfehler ermittelt werden konnte.

2.18 Orthostellung und *ortho posture*

Sind die visuellen Achsen der Augen in Primärposition parallel, so spricht man im Amerikanischen von einer *ortho posture* [Griffin, 1988, S.5].

Befindet sich ein Augenpaar nach deutscher Definition in Orthostellung, so liegt bizentrales Sehen vor. Das bedeutet, beide Fixierlinien schneiden sich im angeblickten Objektpunkt und die Vertikalmeridiane stehen senkrecht zueinander [Zeiss-Handbuch, 1993, S.83]

2.19 Phorie

Der Begriff Phorie ist ein deutscher Sammelbegriff für assoziierte Phorien und Heterophorien [Stollenwerk, 1997, S.130]. Er wird im Laufe dieser Arbeit immer dann gewählt, wenn ein Vergenz-Ruhestellungsfehler ermittelt wurde, jedoch nicht spezifiziert werden kann oder soll, mit welchen Messmethoden derselbe bestimmt wurde.

2.20 *Prismadaptation* und *Vergenceadaptation* (Prismen- bzw. Vergenzadaptation)

In der amerikanischen Literatur bezeichnen die Begriffe *prismadaptation* und *vergenceadaptation* den Aufbau eines plastischen Muskeltonus in der äußeren Augenmuskulatur, der die Vergenzruhestellung eines Augenpaares ändern kann. Dieser energiearm arbeitende Tonuszustand wird auch als *slow vergence* (langsame Vergenz) bezeichnet und dient der Reduktion von fusionalem Stress des Vergenzsystems.

Nach amerikanischer Theorie ist ein optimal funktionierendes Vergenzsystem in der Lage, fusionalen Vergenzbedarf durch Vergenzadaptation (ohne Ausbildung einer $FD_{(USA)}$) anstrengungsfrei aufrechtzuerhalten und somit auch, nach anatomische oder optometrische Eingriffe in das Vergenzsystem, eine bestehende Orthophorie bzw. eine Phorie wiederherzustellen [Cooper, 1992, S.300-302].

2.21 Sensorische Fusion und *sensory fusion*

Es gibt keine wesentlichen inhaltlichen Unterschiede in der Auslegung des Begriffes "sensorische Fusion" zwischen amerikanischen und deutschen Optometristen.

Sensorische Fusion ist nach amerikanischer Auffassung eine Wahrnehmungskombination (*perceptual combination*) der Netzhautbilder beider Augen. Es gibt nach Worth 4 Klassifizierungsstufen sensorischer Fusion:

- Stufe 1 (*simultaneous perception*): Diplopie kann wahrgenommen werden
- Stufe 2 (*superimposition*):
 1. Grad der Fusion: Zwei verschiedene eindimensionale Objekte, welche gleiche Korrespondenzzentren stimulieren, können zu einem fusioniert werden
- Stufe 3 (*flat fusion*):
 2. Grad der Fusion: Zwei identische zweidimensionale Objekte, die auf korrespondierende Netzhautstellen fallen, können gleichzeitig wahrgenommen werden.
- Stufe 4 (*stereopsis*):
 3. Grad der Fusion: Es besteht die Fähigkeit räumlicher Wahrnehmung. [Griffin, 1988, S.48]

Als sensorische Fusion bezeichnet man innerhalb der deutschen Optometrie die Verschmelzung der Bildeindrücke beider Augen, auch bei Abbildung auf disparaten Netzhautstellen [Stollenwerk, 1997, S.125].

2.22 Vergenz-Ruhestellung und *resting state of vergence*

In den USA werden zwei verschiedene Vergenz-Ruhestellungen unterschieden, die physiologische Vergenz-Ruhestellung (*physiological resting state of vergence*) und die anatomische Vergenz-Ruhestellung (*anatomic resting position*). Letztere ist oft eine divergente Augenstellung. Sie ist von anatomischen Faktoren abhängig und nur unter tiefer Narkose, tiefem Schlaf oder im Todesfall zu beobachten.

Die von amerikanischen Optometristen angenommene physiologische Vergenz-Ruhestellung (*physiological resting state of vergence*) wird von einem Augenpaar in Abwesenheit visueller Stimulation, Akkommodationsinnervation und willentlicher Vergenz eingenommen. Diese Augenstellung ist aufgrund tonischer Anspannung der Augenmuskeln während der Sehprozesse meist eine konvergente Stellung. Sie bildet die Grundaktivität (*base line activity level*) des visuellen Systems für weitere Vergenzaktivitäten und kann durch verschiedene Faktoren, wie z.B. Vergenzanforderungen, Krankheit, Rauschzustände, Müdigkeit etc. beeinflusst werden [Schor & Ciuffreda, 1983, S.25-37].

In der deutschen Optometrie wird die Vergenz-Ruhestellung als die anstrengungsärmste Vergenzstellung in Abhängigkeit von der Akkommodationseinstellung, der vorhandenen Leuchtdichte und der Art der Fusionsreize beschrieben. Es gibt die fusionsreizfreie und die optometrische Vergenz-Ruhestellung. Die größte praktische Bedeutung kommt jedoch der Letzteren zu, welche bei vorhandenen Fusionsreizen, bei hohen Sehanforderungen im photopischen Sehen, sowie in der Ferne ermittelt wird.

Die optometrische Vergenz-Ruhestellung setzt sich unter natürlichen Messbedingungen aus tonischer Vergenz, akkommodativer Vergenz und proximaler (psychologischer) Vergenz zusammen. Befindet sich ein Augenpaar bei einer bestimmten Sehaufgabe nicht in einer Vergenz-Ruhestellung, so muss zum Erreichen binokularen Einfachsehens zusätzlich motorisch fusionale Vergenz aufgebracht werden, bis sensorische Fusion erreicht werden kann [Zeiss-Handbuch, 1993, S.83].

Der Begriff *resting state of vergence* ist zwar innerhalb der amerikanischen Literatur nicht sehr gebräuchlich, dennoch wird auch nach Maddox die Vergenz in die genannten 4 Vergenzarten unterteilt [Cooper, 1992, S.300].

2.23 Winkelfehlsichtigkeit (WF)

Eine Winkelfehlsichtigkeit ist eine spezielle Form der assoziierten Phorie, die durch eine festgelegte Testabfolge bestimmt wird, welche auch die Korrektur assoziierter Phorien in vollmotorisch kompensierten sowie älteren Anpassungsstadien ($FD_{(D)}$ II/ 2-6) berücksichtigen kann.

3. Grundlagen zum nichtstrabismischen Binokularsehen innerhalb des amerikanischen und deutschen Systems

Zwischen den Untersuchungs- und Diagnosestrategien deutscher und amerikanischer Optometristen zur Aufdeckung von Defiziten im Binokularsehen gibt es grundlegende Unterschiede. Im amerikanischen System werden hauptsächlich einzelne Sehfunktionen getestet. Man geht nicht, wie im deutschen System, davon aus, dass nach Ausschluss von Augenerkrankungen nur eine Phorie akkommodative oder okulomotorische Fehlfunktionen im Sehen hervorrufen kann. Deshalb kann, nach amerikanischer Auffassung, das Akkommodationssystem oder die Augenmotorik eingeschränkt sein, obwohl kein Stellungsfehler nachweisbar ist.

Auch in Deutschland sind sich Optometristen darüber bewusst, dass Sehfunktionen, wie z.B. Akkommodationsamplituden, Konvergenznahpunkt und Vergenzbreiten eingeschränkt sein können.

Die Messung dieser Funktionen findet jedoch wenig Beachtung.

Die Arbeit zentraler stark "vernetzter" Zapfen gilt als Voraussetzung für eine optimale Innervation vieler visueller Funktionen (z.B. der Akkommodation) [Berke, 1999, S.155]. Darauf begründet sich die Annahme, dass Hemmungen oder fehlende bizenale Abbildung diese Sehfunktionen beeinträchtigen können. Sie konnten, laut Haase und Cagnolati, deutlich verbessert werden, wenn bestehende dekompenzierte AP_(D)s nach gegebener sphärozyklischer Vollkorrektur auch prismatisch voll korrigiert wurden [Haase, 1962, S.10; Cagnolati, 1987, S.163]. Daher bestimmt man innerhalb der deutschen Optometrie mittels verschiedener polarisierender Teste das genaue Stadium der AP_(D).

Aus diesen unterschiedlichen Auffassungen heraus haben sich ebenso verschiedene Methoden zur Behebung von Asthenopien und Sehstörungen entwickelt. Während deutsche Optometristen hauptsächlich sphärozyklische und prismatische Vollkorrekturen vornehmen, versuchen amerikanische Optometristen in vielen Fällen zunächst ausschlaggebende Defizite mittels eines Trainings zu therapieren, bevor sie auf verschiedene optische Korrektionsmöglichkeiten zurückgreifen. Im folgenden Kapitel sollen typische Teste und Diagnosen sowie Korrektions- und Trainingsvarianten beider Systeme nur im Überblick dargestellt und kurz erläutert werden.

Weitreichende Informationen werden im Verlauf dieser Arbeit besprochen und sind in folgenden Quellen in aller Ausführlichkeit nachzuschlagen:

Diagnose und Analyse:	Scheiman & Wick (1994); Tamcke; Diplomarbeit WS1997 FH-Aalen, AOA-guidelines nonstrabismic vision disorders, 2001
Sehfunktionstestung:	Rouse & Ryan, 1990, (engl.); Diepes, 1975, (dtsh.)
MKH:	Haase, 1995; Richtlinien der IVBV; Stollenwerk, 1991
Visualtraining	Koch, SS 2002, Diplomarbeit TFH-Berlin

3.1 Standarduntersuchungs- und Diagnosestrategien (USA)

3.1.1 Umriss einer binokularen Augenuntersuchung (USA)

Die typische amerikanische Augenuntersuchung umfasst eine ausführliche Anamnese (siehe Kap. 6.2.2), eine Refraktion und eine Überprüfung des Gesundheitszustandes der Augen.

Zur Beurteilung des Binokularsehens werden Vergenz, Akkommodation und Augenbewegungen untersucht. Die gewonnenen Ergebnisse werden mit Normwerten verglichen. Der Grad der Abweichung von diesen Werten, sowie Erkenntnisse aus der Anamnese bestimmen über den Verlauf weiterer Tests wie z.B. $FD_{(USA)}$ -Tests (siehe Kap. 5.2), Zyklaphorie- und Aniseikonieteste, oder Zykloplegie zur Testung auf latente Hyperopie.

Man geht davon aus, dass Einschränkungen im Binokularsehen (abgesehen von Strabismen und Amblyopien) im Wesentlichen folgende Ursachen haben können:

1. fehlerhafte Kopplung der akkommodativen Vergenz (AC/A -Kopplung) mit der Folge verschieden großer Phorien in Ferne und Nähe
2. allgemeine Phorien (bei normaler AC/A -Kopplung)
3. vertikale Phorien
4. Akkommodationsprobleme
5. augenmotorische Fehlfunktionen (*ocular motor dysfunction*)
6. fusionale Vergenzfehlfunktionen (*fusional vergence dysfunction*)
7. Fixationsdisparationen ($FD_{(USA)}$)
8. Zyklaphorien
9. Aniseikonien
10. latente Hyperopien

Bei der Untersuchung des Binokularsehens wird als erstes die Fern- und Nahphorie in Zusammenhang mit der AC/A bestimmt. Als nächstes untersucht man, inwiefern die fusionale Vergenz direkt bzw. durch die Kopplung der Akkommodation indirekt eingeschränkt ist. Hierauf wird der Nahkonvergenzpunkt (Konvergenzamplitude) bestimmt und schließlich der sensorische Status (Stereopsis, Hemmungen und Korrespondenz).

Bei der Untersuchung der Akkommodation werden die monokularen Akkommodationsamplituden (ΔA_{\max}), die Akkommodationsflexibilität (*accommodation facility*) und die Akkommodationsantwort (*accommodativ response*) untersucht.

Augenbewegungsteste untersuchen die Fähigkeit der Augen, Sakkaden und Folgebewegungen auszuführen.

3.1.2 Kurze Beschreibung wesentlicher Teste

Die folgenden Erläuterungen zu den Testen wurden den Quellen Scheiman & Wick, 1994, S.3-31 bzw. PCO-Unterrichtsmaterialien [CDP-Course Manual, 02/2002] entnommen.

1. *Covertest* (Zudecktest):

Der *Covertest* ist ein objektives Untersuchungsverfahren, mit dem, unter hohen Visusanforderungen bei genauer Einhaltung der Akkommodation, die Richtung und Größe von Einstellbewegungen bei Strabismen und Heterophorien bestimmt werden kann.

Beim einseitigen *Covertest* wird das fixierende Auge abgedeckt, um so Einstellbewegungen des abweichenden Auges aufzeigen zu können. Er ist nach amerikanischer Philosophie ausschließlich zum Diagnostizieren von Strabismen geeignet.

Der alternierende *Covertest* hingegen, bei dem beide Augen gleichmäßig und ohne Fusion zu gewähren, wechselseitig "gecovert" werden, bestimmt bei Beobachtung des jeweils aufgedeckten Auges die Heterophorien (HP).

Für beide Typen des *Covertestes* gilt: durch korrektive Annäherung mit geeigneten Prismen wird angestrebt, die Einstellbewegung auszuschalten und somit die Größe derselben zu bestimmen. Angaben hierüber erfolgen in der Regel in cm/m unter Zusatz der jeweiligen Basislage.

Der *Covertest* stellt einen Hauptpfeiler der amerikanischen Diagnosefindung dar



Abbildung 3.1-1: Zudecktest Ferne/ Nähe
[Schroth, 1997, S.52]

2. Von Graefe Test

Bei der subjektiven Heterophoriebestimmung mit dem Von Graefe Test werden die Augen zunächst mittels dissozierender vertikaler Prismen ($6\text{cm}/\text{m}$ BoL) entkoppelt. In diesem Zustand korrigiert man prismatisch auf ihre horizontale Ruhestellung (senkrechte Ausrichtung der Doppelbilder übereinander). Bei Entkopplung durch horizontal dissozierende Prismen ($15\text{cm}/\text{m}$ Bi vor rechtem Auge) wird danach die vertikale Phorie (waagerechte Ausrichtung der Doppelbilder gegeneinander) bestimmt. Auch bei dieser HP-Methode muss die Akkommodation streng kontrolliert werden.

Diese Methode stellt eine Alternative zum *Covertest* da, ist aber in der Regel erst ab Schulalter durchführbar, da der Untersuchende von der Kommunikationsfähigkeit des Probanden abhängig ist. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass laut Haase das Augenpaar beim Von Graefe Test aufgrund frustraner Fusionsreize keine Ruhestellung einnimmt. Bei Erwägung dieses Testes sollte man sich ebenfalls darüber im Klaren sein, dass die erzeugte Diplopie Extremstress für den Probanden bedeutet.

3. AC/A Bestimmung

Bei der Bestimmung des AC/A Gradienten wird im Allgemeinen wie folgt vorgegangen:

Nach Bestimmung der binokularen Einstellbewegung auf eine 40cm entfernte Sehprobe durch den *Covertest*, wird derselbe Test unter einem Akkommodationsaufwand von -1dpt durchgeführt. Die Differenz beider Messergebnisse gibt an, um wie viel cm/m die vorhandene Heterophorie sich in Richtung Eso ändert. Das Resultat ergibt den *gradient AC/A*. Durch Ermittlung der Pupillendistanz lässt sich zusätzlich der *calculated AC/A* errechnen, welcher Auskunft darüber erteilt, um wieviel sich der Betrag der Phorie beim PD-abhängigen Blickwechsel Ferne-Nähe ändert.

Einige Diagnosen erfordern den *calculated AC/A*, da diese Methode die proximale Vergenz mit einschließt. Die AC/A-Bestimmung ist nach der Heterophoriemessung in der amerikanischen Optometrie der wichtigste Schritt zur Binokular diagnose (siehe auch Kap. 2.2 und 5.4).

4. Vergenzbreitenmessung (*fusional vergence*)

Bei der Vergenzbreitenmessung misst man direkt die Konvergenz- und Divergenzbreite in Ferne und Nähe. Hierbei unterscheidet man im Allgemeinen zwei verschiedene Formen, die im Phoropter mittels Risley Prisma bestimmte Vergenzbreite (*smooth vergence*) und die mit der Prismenleiste ermittelte (*step vergence*).

Die *fusional vergence* gibt an, wie flexibel das Vergenzsystem ist. Es wird dabei untersucht, wie weit der Proband divergieren und konvergieren kann, ohne dass die gekoppelte Akkommodation (*CA/C*) zum Verschwommensehen führt (Nebelpunkt) oder aber die Fusion abreißt (Abreißpunkt). Ein weiteres Kriterium ist der Wiedervereinigungspunkt, der die Fähigkeit des Probanden beschreibt, innerhalb einer bestimmten Zeit (3s) die Fusion nach Diplopie wieder aufzunehmen.

Nach Sheards Kriterium muss der Proband mindestens den doppelten Betrag der Prismenmenge, entsprechend seiner Phorie in der kompensierenden Richtung, aufbringen können (z.B. bei $8\text{cm}/\text{m}$ Eso in der Nähe mindesten $16\text{cm}/\text{m}$ Bi), um als beschwerdefrei eingestuft zu werden.

5. Konvergenznahpunkt (NPC)

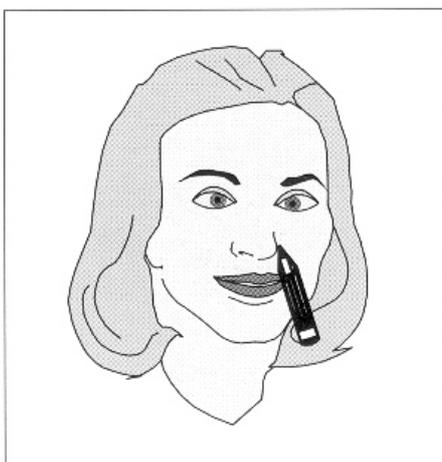


Abbildung 3.1-2 Konvergenznahpunkt
[Schroth, 1997, S.54]

Der NPC wird bestimmt, indem man ein kleines Sehzeichen (Akkommodationsobjekt) oder aber eine Lichtquelle in Kombination mit einer Rot/Grün-Brille (Konvergenz ohne Akkommodationshilfe) so weit zu den Augen führt, bis das Objekt doppelt wahrgenommen wird. Der ermittelte Konvergenznahpunkt sollte unabhängig vom Alter des Probanden nicht größer als 10cm sein. Größere Entfernungen sind häufigstes Merkmal in der Diagnose einer Konvergenzinsuffizienz, wurde innerhalb dieser Diplomarbeit aber auch bei anderen Konditionen gefunden.

6. Worth Test (*Worth 4 dot Test*)

Der Proband betrachtet den *Worth 4 dot Test* durch eine Rot/Grün-Brille aus ca. 1m und aus 30cm Entfernung und beurteilt die Konstanz der Anwesenheit 4 farbig leuchtender Punkte. Zwei grüne Punkte werden nur von einem Auge, ein roter nur von dem anderen wahrgenommen. Ein weißer Punkt wird von einem Auge grün, von dem Anderen rot gesehen, erscheint aber durch die Farbmischung bei binokularem Einfachsehen weiß. Liegen aber Hemmungen vor, so nimmt der Proband entweder 2 rote oder 3 grüne Punkte wahr. Treten diese Hemmungen nur in der Ferne auf, so werden sie als schwach eingestuft. Bestehen sie ebenfalls in der Nähe, so gelten sie als moderat. Lassen sich die Hemmungen auch durch reduzierte Raumbelichtung nicht abstellen, so sind sie sehr stark ausgeprägt. Bei vorhandener Diplopie sieht der Proband 5 Punkte.

Der *Worth 4 dot Test* ist der genaueste Test der Amerikaner, um Suppressionen beurteilen zu können. Weitere Suppressionsteste sind die *AO Vectographic Chart*, die *Mallett Unit*, *Bagolini Striated Lenses*, *Cheiroscopic Tracing*, *4 Ba Test*.

7. Stereopsis Test in Nähe (*Randot Stereotest*)

Amerikaner testen das Vorhandensein und die Qualität der Stereopsis hauptsächlich in der Nähe. Um so mehr Hemmungen auftreten und je ungenauer die Fixation ist, desto geringer soll auch die Stereopsis ausfallen.

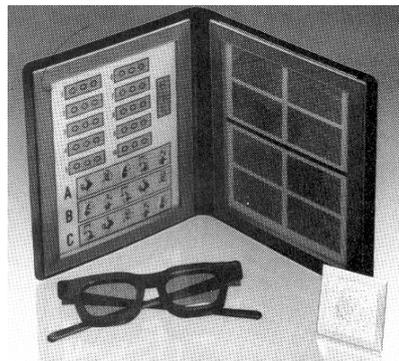


Abbildung 3.1-3: Randot Stereotest
[Scheiman & Wick, 1994, S.18]

Man unterscheidet allgemein zwei verschiedene Stereopsisarten:

a. Konturen- bzw. lokale Stereopsis

Konturenstereopsis kann wahrgenommen werden, wenn zwei ähnliche horizontal gegeneinander verschobene Seheindrücke disparat auf der Netzhaut abgebildet werden. Periphere Fusion kann hier, trotz zentraler Hemmungen, einen dreidimensionalen Effekt erzeugen. Strabismen mit Anomaler Retinaler Korrespondenz (*ARC*) können diese Art von Stereopsis bis zu 60 Winkelsekunden wahrnehmen, wenn sie peripher fusionieren können. Aufgrund bestehender monokularer Hinweise bei dieser Testart sind die gewonnenen Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig.

Beispiele: *Titmus Stereofliege*, *Wirt Ringe*, *Tiere*

b. Globale Stereopsis (*Random Dot*)

Random Dot wird, laut amerikanischer Literatur, nur bei "bizentraler Fixation" wahrgenommen. Durch viele einzelne gegeneinander verschobene Punkte wird eine disparate Abbildung erzeugt. Intermittierende Strabismen können den *Random Dot Test* kurzzeitig auswerten.

Ein Proband mit konstantem Strabismus (auch Mikrostrabismus, siehe 2.13) kann, laut amerikanischer Literatur, kein *Random Dot* bis zu einer Disparität von 11° erkennen.

Beispiele für *Random Dot*: *Randot Stereotest* mit 500 und 250 Winkelsekunden Disparität.

Aus der Sicht der MKH ist jedoch anzumerken, dass die Testgenauigkeit des *Randot Stereotestes* für Esophore eingeschränkt ist, da gewöhnlich nur in gekreuzter Disparation, d.h. in Filternormalstellung (FN) getestet wird.

8. Monokulare Akkommodationsamplituden (*AA*)

Die Akkommodationsamplituden können mit zwei verschiedenen Methoden untersucht werden. Bei der ersten Methode wird ein winziges Sehzeichen solange von den Augen weggeführt, bis der Proband es auflösen kann (*push up*-Methode). Bei der zweiten Methode werden bei konstanter Objektentfernung solange Minusgläser vorgesetzt, bis das Sehzeichen nicht mehr scharf gesehen werden kann. Die Objektgröße ist bei beiden Methoden mit gleichem Akkommodationserfolg unterschiedlich, daher überschätzt die erste und unterschätzt die zweite Methode die *AA*.

9. Negative relative Akkommodation (*NRA*) und positive relative Akkommodation (*PRA*)

Man ermittelt die negative relative Akkommodation durch gleichmäßige binokulare Verstärkung der Addition im Phoropter (Nah-PD) bis zu dem Punkt, da der Proband die Nahprobe in 40cm entweder verschwommen oder doppelt sieht. Das Wort relativ deutet an, dass die fusionale Vergenz Einfluss auf die binokulare Akkommodation besitzt. Man ermittelt also, inwieweit der Proband Akkommodation entspannen kann, ohne dabei den Vergenzzustand zu ändern. Dabei muss die eigentlich entstehende akkommodative Divergenz mittels fusionaler Konvergenz ausgeglichen werden. Esophore verspüren Entlastung und Exophore geben schnell Akkommodation oder Vergenz auf, da ihre Konvergenzbreite oft reduziert ist.

Die *PRA* wird im selben Verfahren, allerdings durch Zugabe von Minusgläsern bestimmt. Entgegen dem ersten Fall muss der Proband hier also akkommodieren und die akkommodative Konvergenz mittels Divergenz ausgleichen. Bei dieser Messung ermittelt man häufig Defizite bei Menschen mit Esophorien, da hier die Divergenzbreite eingeschränkt sein kann. Die binokulare Akkommodationsbreite wird bei diesem Verfahren direkt und die fusionale Vergenzbreite indirekt ermittelt.

10. MEM-Skiaskopie (MEM= Monocular Estimation Method)

Ziel der MEM-Skiaskopie ist es, die Genauigkeit der Akkommodation zu überprüfen. Hierzu nutzt man die Skiaskopie unter normalen Lichtverhältnissen. Während der Proband bei hohem Visusanspruch laut vorliest, werden ihm, je nach Netzhautreflex des jeweiligen Auges, kurzzeitig monoku-

lar geringe Plus- oder Minuswerte vorgesetzt. Es muss hierbei darauf geachtet werden, dass es dem Probanden nicht gelingt, die gegebenen Gläser zu adaptieren.

Den Flackerfall, also den Korrektionswert der Akkommodation, findet man bei Unterakkommodatio-
nen mit Pluswerten und bei Überakkommodationen (häufig bei Akkommodationsexzessen) mit Mi-
nus. Bei Akkommodationsproblemen, aber auch bei akkommodationsunterstützten Vergenzproble-
men zeigen sich hier Abweichungen von dem normalen Unterakkommodationswert von 0,5dpt.

11. Binokulare Kreuzzylindermethode (*FCC=Fused Cross Cylinder*)

Die Binokulare Kreuzzylindermethode bildet eine Alternative zur *MEM*. Sie misst ebenfalls die Ge-
nauigkeit der Akkommodation während der Naharbeit. Der Proband blickt hierbei binokular in 40cm
Entfernung auf eine Kreuzstrichfigur. Bei reduzierter Raumbelichtung werden beiden Augen zusätz-
lich zur Fernrefraktion ein Kreuzzylinder (sph: +0,5dpt cyl: -0,5dpt in 90°) und eine Addition von
+1,5dpt vorgesetzt. Danach wird der Proband zum Kontrastunterschied der senkrechten und waage-
rechten Streifen der Kreuzstrichfigur befragt. Durch das zusätzliche Plus befinden sich die senkrech-
ten Bildlinien näher an der Netzhaut und werden daher dunkler wahrgenommen. Die Addition wird
soweit reduziert, bis alle Linien gleich dunkel gesehen werden (gleicher Netzhautabstand). Da die
senkrechten Linien mittels Akkommodation bei bequemem Binokularsehen oft den waagerechten
vorgezogen werden, findet man nur hohe Additionen, wenn ein Divergenz- oder Akkommodati-
onsproblem vorliegt (bzw. negative Additionen bei einem Konvergenzproblem oder Unfähigkeit,
Akkommodation zu entspannen). Im Vergleich zur *MEM* ist diese Methode jedoch gerade bei Kin-
dern nicht so gut reproduzierbar, da die Testergebnisse auf subjektiven Angaben des Probandens be-
ruhen.

12. Dynamische Teste (*facility tests*)

Die dynamischen Teste sind darauf ausgelegt, die Dynamik und Ausdauer des Vergenz- und Ak-
kommodationssystems zu ermitteln. Sie können auch Defizite anzeigen, obwohl statische Funktionen
der Vergenz (Vergenzbreiten) oder Akkommodation (*AA* bzw. *PRA* & *NRA*) unauffällig sind. *Facility*
tests sind daher unerlässlich, um eine Diagnose zu stellen.

a. Vergenzdynamik (*fusional facility*)

Bei der Messung der Vergenzdynamik betrachtet der Proband ein kleines Sehzeichen in 40 cm Ent-
fernung. Auf Zeit werden ihm abwechselnd Prismen der Stärke 12^{cm}/_m Ba und 3^{cm}/_m Bi vorgehalten.
Dabei muss die Vergenz dynamisch angepasst werden, wobei sich gleichzeitig trotz konstanter Ob-
jektentfernung die Akkommodationsanforderung durch die Vergenzakkommodation ändert.

Ziel ist es, die Anzahl der Wechsel pro Minute (*R/min*) zu ermitteln, in denen das Objekt einfach und
scharf aufgelöst werden kann.

b. Binokulare Akkommodationsdynamik (*BAF=binocular accommodative facility*)

Zur Ermittlung der *BAF* werden einem Probanden unter gleichen Bedingungen wie in 3.1.2 [12a]
binokular +2,0 und -2,0dpt abwechselnd vorgehalten. In diesem Fall muss die Akkommodation dy-
namisch geändert werden. Zusätzlich wechselt dabei die Vergenzanforderung durch akkommodative
Vergenz.

c. Monokulare Akkommodationsdynamik

Wenn bei den Untersuchungen zur Binokularen Akkommodationsdynamik (siehe 3.1.2 [12b]) ein *BAF*-Defizit ermittelt wurde, wird der gleiche Test unter monokularen Bedingungen durchgeführt, um ein Akkommodations- von einem Vergenzproblem abzugrenzen. Durch die so erzeugte *open loop* situation kann unter Ausschluss der Vergenz die Akkommodationsdynamik evaluiert werden. Dies bedeutet, dass bei Defiziten in diesem Test ein reines Akkommodationsproblem besteht.

13. Augenmotilität

Mittels eines subjektiven Klassifizierungssystems werden Augenfolgebewegungen und Sakkaden auf Gleichmäßigkeit und Akkuratheit untersucht.

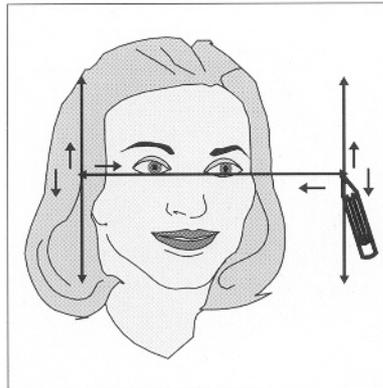


Abbildung 3.1-4: Augenmotilität
[Schroth, 1997, S.53]

a. Augenfolgebewegungen

Mittels einer Lichtquelle oder eines Sehzeichens werden die Augen ähnlich der Abb. 3.1-4 in die diagnostisch wichtigen Augenstellungen geführt. In der Regel führt man das Objekt in der Mitte des einfachen H zusätzlich noch nach oben und unten ("doppeltes H"). Mit diesem Test kann man neben Defiziten von okulomotorischen Funktionen, bei gegebenen Einschränkungen in den Augenbewegungen, ebenfalls einen *strabismus incomitans* feststellen.

Grad	Einschätzung der Versionen
4	gleichmäßig und akkurat
3	ein Fixationsverlust
2	zwei Fixationsverluste
1	Mehr als zwei Fixationsverluste

Tabelle 3.1-1

b. Sakkaden

Zur Beobachtung und Beurteilung von Augensprungbewegungen werden häufig 40cm vom Probanden entfernt zwei kleine Sehzeichen in 20cm Abstand zueinander dargeboten. Der Proband wird nun mehrere Male auf aufgefordert, das eine bzw. das andere Objekt zu fixieren. Weitere Testmöglichkeiten stellen z.B. der *Visagraph* oder der *Developmental Eyemovement Test (DEM)* dar.

Grad	Einschätzung der Sakkaden
4	gleichmäßig und akkurat
3	geringe "undershoots" oder "overshoots" (etwas zu kurze oder zu weite Blicksprünge)
2	größere <i>under-</i> oder <i>overshoots</i> oder Verzögerungen
1	Unfähigkeit oder enorme Verzögerungen

Tabelle 3.1-2

3.1.3 Normwerte im Überblick

In Tabelle 3.1-3 sind die wichtigsten Normwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen zusammengetragen, nach denen alle Probanden innerhalb dieser Diplomarbeit diagnostiziert bzw. Veränderungen durch Korrekturen oder Visualtraining beurteilt wurden [Scheiman&Wick, 1994,S.8 und 21].

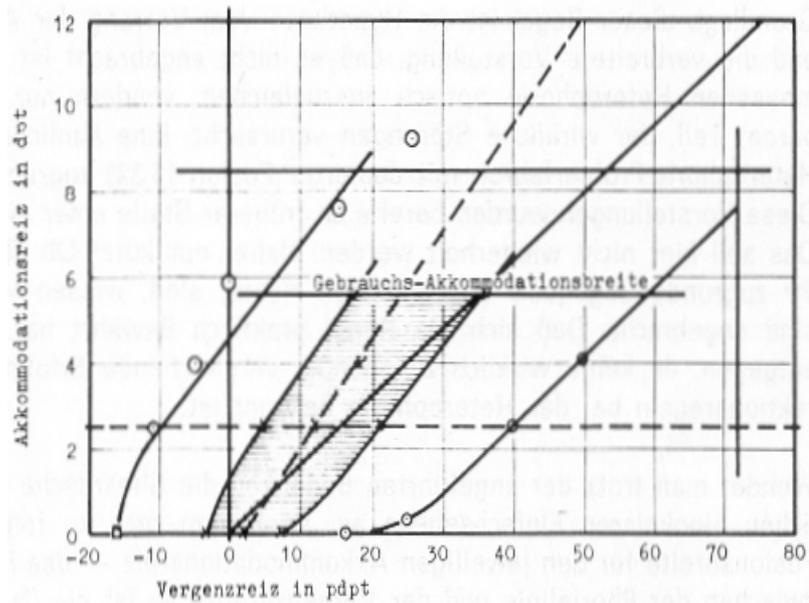
Test	Kürzel	Normwert	StdAbw.
Covertest Ferne: (Werte gelten für alle HP-Teste)	<i>DCT</i>	1cm/m Bi	± 2
Covertest Nähe: (Werte gelten für alle HP-Teste)	<i>NCT</i>	3cm/m Bi	± 3
AC/A Gradient:	<i>AC/A</i>	4cm/m/dpt	± 2
Vergenzbreiten mittels Prismenleiste (<i>step vergences</i>)			
Konvergenzbreiten Ferne:		x/ 11 / 7	$\pm 7 / \pm 2$
Divergenzbreiten Ferne:		x/ 7 / 4	$\pm 3 / \pm 2$
Konvergenzbreiten Nähe:		x/ 19 / 14	$\pm 9 / \pm 7$
Divergenzbreiten Nähe:		x/ 13 / 10	$\pm 6 / \pm 5$
Nahkonvergenzpunkt:	<i>NPC</i>		
Sehzeichen:		2,5 / 4,5cm	$\pm 2,5 / \pm 3$
Lichtquelle und Rot/ Grün Brille:		3,0 / 5,0cm	$\pm 4 / \pm 5$
Stereotest:			
Globale Stereopsis		20'	-
Random Dot		250'	-
Worth 4 Dot Test:	<i>Worth Test</i>	4 Punkte in 1m und 33cm	-
Monokulare Akkommodationsamplituden:			
<i>push up:</i>	<i>AA</i>	18 - 1/3 * Alter	$\pm 2,0$
Minusgläser:		16 - 1/3 * Alter	$\pm 2,0$
Negative Relative Akkommodation	<i>NRA</i>	+2,00dpt	$\pm 0,50$
Positive Relative Akkommodation	<i>PRA</i>	-2,37dpt	$\pm 1,00$
MEM-Skiaskopie:	<i>MEM</i>	+0,50dpt	$\pm 0,25$
Binokularer Kreuzzylinder	<i>FCC</i>	+0,50dpt	$\pm 0,50$
Normwerte dynamischer Teste für Altersgruppe 13-30:			
Binokulare Akkommodationsdynamik:	<i>BAF</i>	8 Runden pro min (<i>R/min</i>)	± 5
Monokulare Akkommodationsdynamik:	<i>MAF</i>	11 R/min	± 5
Vergenzdynamik	<i>VF</i>	15 R/min	-
Versionen:		Grad 4	-1
Sakkaden:		Grad 4	-1

Tabelle 3.1-3

3.1.4 Amerikanische Klassifizierungssysteme im Überblick

Graphische Analyse

Bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse anhand der Graphischen Analyse werden Werte der Vergenzbreiten, der Heterophorie (*HP*), der *NRA/ PRA*, *AA* und *NPC* graphisch in einem Diagramm dargestellt. Diese Methode ist sehr nützlich, um Verhältnisse zwischen einzelnen Funktionen übersichtlich darzustellen und die Zonen des klaren binokularen Einfachsehens schnell zu identifizieren.



[Diepes, 1975, S.46]

Abbildung: 3.1-5: Beispiel graphische Analyse

Leider fehlen in diesem System jedoch Messmethoden zur Erhebung der $FD_{(USA)}$ - und MEM -Werte sowie dynamische Tests. Daher können so nur 10 der 15 möglichen Fälle der Integrativen Analyse (Scheiman und Wicks System, siehe 3.1.5) diagnostiziert werden. Deshalb wird die Graphische Analyse im Gegensatz zur Integrativen Analyse nur zu Lehrzwecken und nicht routinemäßig in der täglichen Praxis verwendet [Scheiman & Wick, 1994, S.34; Diepes, 1975, S.458 (deutsche fassung)].

OEP-21-Punkte Programm

Die *OEP (Optometric Extension Programm)* ist eine amerikanische Vereinigung, die hauptsächlich Fachwissen über das Binokularsehen sammelt und verbreitet (siehe Kap. 5.5). Sie hat das 21 Punkte Programm entwickelt. Es enthält alle in Abschnitt 3.1.2 aufgeführten Tests, deren Ergebnisse mit speziellen OEP-Normwerten verglichen werden. So gruppiert man die Daten, bestimmten Regeln folgend, nach hohen bzw. niedrigen Werten. Beim Festlegen der Diagnose, werden die gruppierten Daten analysiert. Der wesentliche Fortschritt dieser Methode besteht in der Annahme, Funktionsstörungen im Sehen entstünden durch falsche Sehgewohnheiten, vor allem durch exzessive Naharbeit und seien je nach Grad der Integrierung durch optometrische Maßnahmen (z.B. *VT*) wieder zurückzuführen oder sogar vorzubeugen. Der Nachteil ist, dass sie durch fehlende Integration an amerikanischen Hochschulen nicht allgemein verbreitet ist und nur mittels Weiterbildung, die mit intensivem Umdenken fachlicher Terminologien verbunden ist, erlernt werden kann [Scheiman & Wick, 1994, S.38].

Morgans System

Morgans System wurde 1940 entwickelt. Hier werden gesammelte Daten ebenfalls mit zu erwartenden Werten verglichen und daraufhin speziellen Gruppen zugeordnet (A, B oder C). Dabei sind einzelne Auffälligkeiten weniger von Bedeutung und werden als statistischer Streuwert angesehen.

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
Divergenzabreißpunkt Ferne Divergenznebelpunkt Nähe Divergenzabreißpunkt Nähe <i>PRA</i> <i>AA</i>	Konvergenznebel – und Abreißpunkt Ferne Konvergenznebel – und Abreißpunkt Nähe Binokulare Kreuzzylindermethode Monokulare Kreuzzylindermethode Nahskioskopie NRA	Heterophorie <i>AC/A</i>
Bei hohen Werten der Gruppe A und geringen in Gruppe B: Konvergenzproblem	Bei hohen Werten der Gruppe B und geringen in Gruppe A: Akkommodationsermüdung	Aufschluss über Therapiestrategie: Addition oder VT

Tabelle 3.1-4

Defizite in mehreren Testergebnissen, die eine bestimmte Sehfunktion überprüfen, sind jedoch signifikant. Der Vorteil besteht darin, dass hier nicht, wie bei der Graphischen Analyse oder dem *OEP-21*-Punkte Programm ein umfangreiches strenges Untersuchungs- und Analyseschema eingehalten werden muss. Der Nachteil ist, ähnlich wie in der graphischen Analyse, dass modernere Tests nicht enthalten sind [Scheiman & Wick, 1994, S.40].

FD_(USA)-Messungen

Im Kapitel 5.2 werden amerikanische *FD_(USA)*-Messungen vorgestellt und deren Vor- und Nachteile analysiert. *FD_(USA)*-Messungen bieten, aus amerikanischer Sicht, den Vorteil, unter binokularen Bedingungen zu messen und somit realistischere Ergebnisse hinsichtlich der Basislage (in 30% entgegengesetzt zur Heterophorie) zu liefern. Der Nachteil besteht darin, dass hier Akkommodations- und okulomotorische Fehlfunktionen nicht berücksichtigt werden [Scheiman & Wick, 1994, S.41].

Integrative Analyse

Scheiman und Wick haben die Integrative Analyse aus den oben vorgestellten 4 verschiedenen amerikanischen Methoden entwickelt. Diese Untersuchungs- und Diagnosestrategie vereint deren positive Aspekte und fördert dadurch u.a. die allgemeine Akzeptanz eines einzigen Systems innerhalb der USA.

In diesem System werden Morgans Prinzipien der Gruppenanalyse, *FD_(USA)*-Messungen sowie dynamische und *MEM*-Teste des 21 Punkteprogramms berücksichtigt. Die Integrative Analyse folgt in ihren Ansätzen der Philosophie der *OEP*, das visuelle System sei auch durch Umweltfaktoren und nicht nur durch zufällige biologische Variationen geformt, weshalb optometrische Maßnahmen vorbeugen und Abhilfe leisten können.

3.1.5 Erläuterung der Integrativen Analyse

Zur Anwendung des Klassifizierungssystems der Integrativen Analyse muss man die Testergebnisse mit den Normwerten aus Kap 3.1.3 vergleichen, um sie dann als hoch oder niedrig einzustufen.

Es gilt, auf die Zusammenhänge zwischen den Daten indirekter und direkter Messungen der Akkommodation und Vergenz zu schließen. Zusammengehörige Daten werden Gruppen zugeordnet. Die Diagnose wird mittels eines Klassifizierungssystems getroffen, das diese Gruppenanalyse nutzt. Dabei werden nach vorgegebenen Schemen eine oder mehrere Diagnosen gestellt [Scheiman & Wick, 1994 S.42-53].

Datengruppierung

1. MAIT-Gruppe (*Motor Alignment and Interaction Tests*)

Die MAIT (Teste zur Augenstellung und -interaktion), wie z.B. *Covertest*, Tests zu Fern- und Nahphorie, *AC/A* (in speziellen Fällen auch *CA/C* und $FD_{(USA)}$), bilden die Ausgangsbasis zur Diagnosefindung. Bestehen hier signifikante Phorien, so werden anschließend die *PFV*- und *NFV*-Gruppen analysiert, da in der kompensierenden Richtung oft Einschränkungen der Vergenz vorliegen. Der *AC/A* entscheidet dann über die genaue Diagnose der vorhandenen Phorie.

2. PFV-Gruppe (*Positive Fusional Vergence*)

Zur *PFV*-Gruppe gehören Tests, die das Konvergenzvermögen untersuchen. Das sind insbesondere *NPC*, Konvergenzbreitenmessungen, Messungen zur Vergenzdynamik (Basis außen), *NRA*, *BAF* (sphärische Plus Werte), sowie *MEM* und *FCC*. Liegen diese unterhalb der Norm, so besteht ein Konvergenzproblem.

3. NFV-Gruppe (*Negative Fusional Vergence*)

In dieser Gruppe werden Testergebnisse des Divergenzvermögens eingeordnet, d.h. Divergenzbreiten, Vergenzdynamik (Basis innen), *PRA*, *BAF* (Minus Werte), *MEM* und *FCC*. Werden niedrige Werte mit Basis innen und Minus sowie hohe Werte mit *MEM* und *FCC* erzielt, so liegt ein Divergenzproblem vor.

4. ACC-Gruppe (*Accommodation*)

Messergebnisse der *AA* (binokulare Akkommodationsamplitude), *MAF*, *MEM*, *FCC*, *NRA/PRA* und *BAF* werden der *ACC*-Gruppe zur Untersuchung des Akkommodationssystems zugeordnet. Wenn im Falle einer fehlenden HP die Werte der negativen Akkommodation (Plus Werte) zu gering ausfallen, kann ein Akkommodationsexzess (Krampf) bestehen. Bei zu geringen Werten mit Minus ist eine Akkommodationsinsuffizienz (eingeschränktes Akkommodationsvermögen) mögliche Ursache. Sind die Werte jeweils durch Plus und Minus eingeschränkt, so könnte eine Akkommodationsunfähigkeit (*accommodation infacility*) vorliegen.

5. VFV-Gruppe (*Vertical Fusional Vergence*)

Heterophorie- und $FD_{(USA)}$ -Testergebnisse, welche vertikale Anteile ermitteln, werden der *VFV*-Gruppe zugeordnet. Vertikale Vergenzbreiten werden oft nur bei bestehenden Vertikalphorien gemessen und dieser Gruppe zugeordnet.

6. Tests zur Untersuchung des okulomotorischen Systems

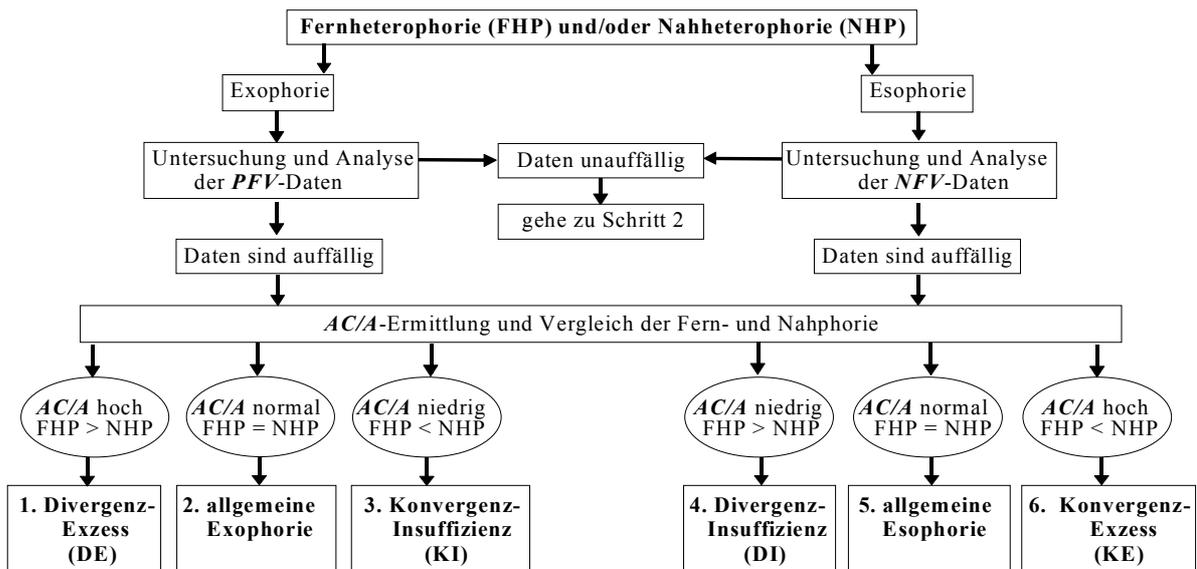
Liegen Defizite in der Ausführung von Sakkaden und Folgebewegungen oder beim Fixieren eines Objektes (innerhalb 10s) vor, so ist das okulomotorische System eingeschränkt.

Reihenfolge und Priorität der Untersuchung und Datenanalyse

Folgende Schemata erleichtern das Verständnis zum allgemeinen Vorgehen bei Untersuchung und Diagnosefindung der Integrativen Analyse (IA). Sie wurden von Scheiman & Wick [S.64-65] übernommen und zur Vereinfachung aus dem Englischen übersetzt. Es soll damit auch die Festlegung der 15 möglichen Diagnosen der IA dargestellt werden.

Schritt 1:

Wird zu Beginn der Untersuchung eine Heterophorie festgestellt, so hat sie in der Untersuchung und später in der Behandlung erste Priorität:

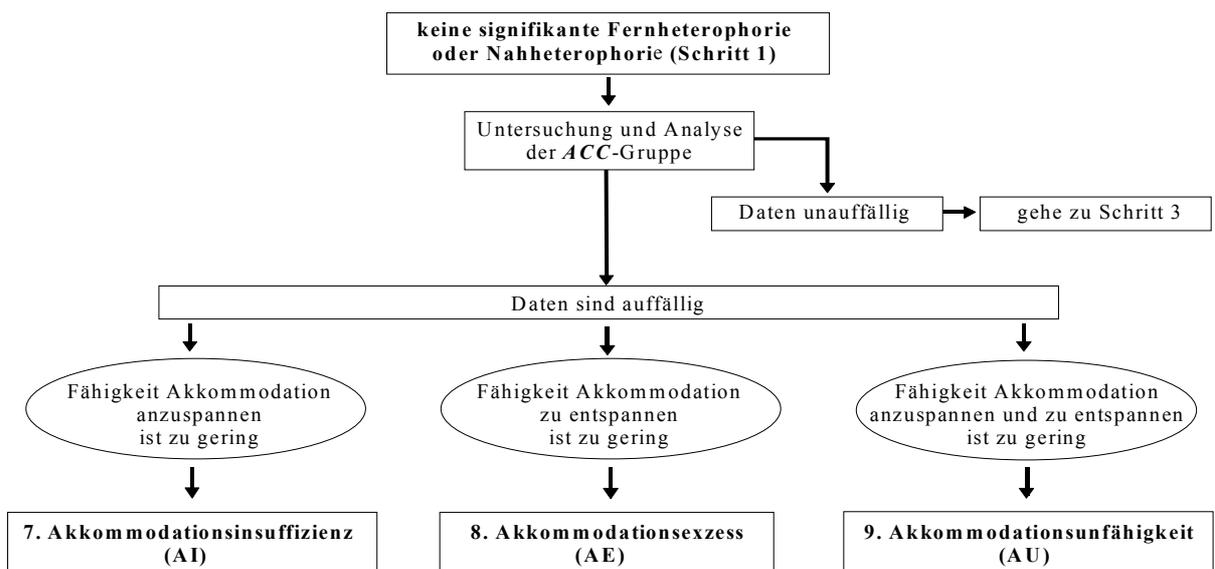


[Scheiman&Wick, 1994, S.64]

Abbildung 3.1-6

Schritt 2:

Liegt nach Schritt 1 keine Heterophorie vor, so werden die Akkommodationsdaten genauer untersucht und analysiert:



[Scheiman&Wick, 1994, S.64]

Abbildung 3.1-7

Schritt 3:

Sind weder Heterophorien noch Akkommodationsprobleme vorhanden, so werden folgende Diagnosemöglichkeiten überprüft:

10. OMD - Okulomotorische Fehlfunktion (OMF):

Sind nur Sakkaden und Folgebewegungen eingeschränkt, so wird eine *OMD* (Okulomotorische Fehlfunktion) diagnostiziert.

11. Fixation disparity ($FD_{(USA)}$):

Gibt es weder Heterophorie noch Akkommodations- oder Okulomotorische Probleme, so wird zunächst eine $FD_{(USA)}$ -Kurven- bzw. vertikale $AP_{(USA)}$ -Messung durchgeführt. Ist die horizontale Kurve nach den im Kapitel 5.2.4. dargestellten Parametern auffällig bzw. besteht eine vertikale $FD_{(USA)}$, so werden die Symptome darauf zurückgeführt.

12. Fusional vergence dysfunction - Vergenzfehlfunktion (VFF):

Eine weitere mögliche Diagnose kann eine Vergenzfehlfunktion sein. Die VFF wird immer dann diagnostiziert, wenn fast alle Werte der *NFV*, *PFV* und *ACC* (außer *MAF* und *AA*) extrem niedrig ausfallen und keine signifikanten Phorien oder Akkommodationsprobleme vorliegen.

13. Latend hyperopia - Latente Hyperopie:

Im Falle einer latenten Hyperopie sind ebenfalls häufig Vergenzbreiten beider Richtungen reduziert. Bei Verdacht auf latente Hyperopie wird die Refraktion mit Zykloplegika wiederholt.

14. Cyclovertical phoria - Zyklovertikale Phorien:

Zur Diagnose zykllovertikaler Phorien werden die *VFV*-Daten untersucht. Speziell für Zyklophorien werden Maddoxzylinderteste zusammen mit dissoziierenden Prismen angewandt [Scheiman & Wick, 1994, S.409].

15. Aniseikonia - Aniseikonie

Wenn die Refraktion Messwertdifferenzen größer als 0,75dpt in einem Hauptschnitt ergibt, werden bei bestehenden Beschwerden Tests zur Aufdeckung von Aniseikonien (*Turville Test*, *Cover-test*, *Maddoxzylinder* mittels zweier Lichtquellen, *Space Eikonometer* ect.) durchgeführt [Scheiman & Wick, 1994, S.548].

3.1.6 Amerikanische Phoriearten

Folgende Übersicht der amerikanischen Phoriearten enthält eine vereinfachte Zusammenfassung der möglichen Diagnosen horizontaler Heterophorien in Zusammenhang mit typischen Messwertdefiziten aus den Kapiteln 9, 10 und 11 der Quelle: [Scheiman & Wick, 1994, S.221- 338].

Diagnose	Beschwerden	Kriterien	Direkte Messungen fusionaler Vergenz	Indirekte Messungen fusionaler Vergenz
Konvergenzinsuffizienz (KI)	Unschärfen, Diplopie, Müdigkeit, Kopfschmerzen, tränende oder brennende Augen bei Naharbeit ect.	$NPC > 10\text{cm}$, Nahexophorie 8cm/m Bi größer als Fernphorie (leicht Exo oder Ortho)	Vergenzbreiten und Vergenzdynamik mit Ba < Norm	niedrige <i>NRA</i> und Akkommodationsdynamik mit Plus, <i>MEM</i> unter 0,25dpt
Divergenzinsuffizienz (DI)	wie bei KI nur in Ferne, zusätzlich Übelkeit, Lichtempfindlichkeit, Unschärfen bei Entfernungswechsel	Fernesophorie 8cm/m Ba größer als Nahphorie (leicht Eso oder Ortho),	Reduzierte Ferndivergenzbreite	
Konvergenz-exzess (KE)	wie bei KI	Nahesophorie 8cm/m größer als in Ferne (leichte Esophorie oder Ortho), oft hyperop,	reduzierte Divergenzbreiten und Divergenzdynamik in der Nähe,	niedriges <i>PRA</i> und kein Minus an <i>BAF</i> <i>MEM</i> > 0,75dpt
Divergenz-Exzess (DE)	sehr lichtempfindlich (schließen oft ein Auge), oft driftet ein Auge nach außen	Exophorie in Ferne um mindesten 8cm/m größer als in Nähe, in 50% vertikale Phorie	Konvergenzbreiten in Ferne und Nähe normal,	keine Abweichungen
allgemeine Exophorie	wie bei KI nur in Ferne und Nähe	Differenz der Exophorie in Ferne und Nähe < 8cm/m	alle Ba-Teste sind niedrig	wie bei Konvergenzinsuffizienz
allgemeine Esophorie	Wie bei DI, nur auch in Ferne und Nähe	Differenz der Esophorie in Ferne und Nähe < 8cm/m, oft Hyperopie	alle Bi-Teste sind niedrig	wie bei Konvergenz-exzess

Tabelle 3.1-5

3.1.7 Amerikanische Statistiken zur Häufigkeit nichtstrabismischer Konditionen

Eine 1985 initiierte New Yorker Studie fand heraus, dass von 1634 Kindern der allgemeinen Bevölkerung 53% fusionale, akkommodative, okulomotorische und perzeptionale Defizite aufwiesen [Lieberman, Cohen & Stolzberg, 1985, 165-8]. Nach einer anderen Studie war bei 80% einer Vorauswahl von "learning disabled" Kindern mindestens eine Sehfunktion eingeschränkt [Hoffman, 1980, 447-51].

Die Zahlen der Tabelle 3.1-6 wurden einer Richtlinien-Studie entnommen, die im Auftrag der *American Academy of Optometry (AOA)* 1998 initiiert wurde und an der insgesamt 11 amerikanische Optometristen mitwirkten (Zahlen in Klammern deuten auf Prozentzahlen einer klinisch auffälligen Population) [AOA, 2001, www.aoa.org].

Kondition	KI	DI	KE	DE	VFF	allg. Exo	allg. Eso	vert. Phorie	AI	AE	AU	OMF
Häufigkeit in %	5-25	(0,1)	5,9-7,1	0,03	< 6 ¹	2,8	keine Angaben	7-52 (9)	(9,2)	(2,5)	(5,1)	22,6 ²

Tabelle 3.1-6

¹ Angabe lautete weniger als KI und KE, keine genaue Zahl verfügbar

² [Scheiman & Wick], 1994, S.381: Studie von Lieberman (1985) an 1681 Kindern der allgemeinen Bevölkerung, Kondition tritt nur selten isoliert auf.

Menschen, die beruflich am Computer arbeiten oder viel lesen, zeigen laut amerikanischer Statistik zu 50% Asthenopien [Smith, Cohen, Stammerjohn et al.,1981, 387-400]. Leider konnte keine konkrete optometrisch relevante Zahl an asthenopisch leidenden Menschen aus der allgemeinen Bevölkerungsstruktur gefunden werden.

3.1.8 Vom Zusammenhang häufig auftretender Symptome und ihrer Diagnose

In Tabelle 3.1-7 soll ebenfalls zusammenfassend dargestellt werden, welche Symptome bei bestimmten Konditionen auftreten können [Scheiman & Wick, 1994, S.56-63]

Kondition	KI	DI	KE	DE	VFF	allgem. Exo	allgem. Eso	Vertik. Phorie	AI	AE	AU	OMF
Symptome												
Asthenopien und Kopfschmerzen	x	x	N	(N)	x	x	x	x	N	N	N	
Unschärfen in der Nähe	x		x		x	x	x	x	x		x	
Unschärfen in der Ferne		x			x	x	x	x	x	x		
kurzzeitige Diplopie in der Nähe	x		x			x	x	x				
kurzzeitige Diplopie in der Ferne		x				x	x	x				
Symptome am Ende des Tages stärker	x	x	x		x	x	x					
Brennende oder tränende Augen	x		x		x							
Konzentrationsprobleme	x		x		x			x	x		x	x
Schielen				x								
bei Sonne wird ein Auge geschlossen				x								
Übelkeit beim Autofahren								x				
Schwierigkeiten beim Fokuswechsel											x	
schlecht in Sport												x
speziell beim Lesen												
Wörter springen	x		x									x
Müdigkeit	x		x		x			x	x			
reduzierte Inhaltsaufnahme nach 15 min	x		x		x				x		x	x
langsames Lesen	x		x		x							x
Zeilenverrutschen								x				x
Auslassen von Worten												x
Kopfbewegungen												x

Legende: x: trifft zu, N: Symptome in der Nähe, (): tritt nur gelegentlich auf

Tabelle 3.1-7

3.2 Standard Untersuchungs- und Diagnosestrategien (D)

Innerhalb der deutschen Optometrie werden Beschwerden im nichtstrabismischen Binokularsehen neben selteneren Fällen latenter Hyperopien und Aniseikonien hauptsächlich auf vorhandene assoziierte Phorien ($AP_{(D)}$) zurückgeführt. Eine $AP_{(D)}$ entsteht nach dieser Theorie durch ein Muskelungleichgewicht, und ist laut Günthert in 75% seiner klinischen Population vorzufinden. Die Definition der $AP_{(D)}$ ist im Kap. 2.4 zu finden. Um eine assoziierte Phorie zu kompensieren, stehen dem visuellen System drei Möglichkeiten zur Verfügung:

- 1. vollständige motorische Kompensation**
- 2. vollständige sensorische Kompensation**
- 3. Kombination aus motorischer und sensorischer Kompensation**

Die sensorische Kompensation wird allgemein als Fixationsdisparation oder als motorische Dekompensation bezeichnet. Sie tritt immer dann auf, wenn die fusionale Vergenz vom visuellen System nicht mehr kontinuierlich aufgebracht werden kann und ein Teil des Betrages durch Ausnutzung der Fusionskraft der zentralen Panumbereiche eingespart wird. Im Kap. 2.9 wurden diesbezüglich die Unterschiede zwischen deutscher und amerikanischer Auffassung ausgearbeitet. Eine $FD_{(D)}$ kann nach deutscher Auffassung verschiedene Stadien annehmen. Das Stadium wird beeinflusst durch Faktoren wie z.B.: das Lebensalter, in dem die $FD_{(D)}$ erstmalig auftrat, die Dauer der Dekompensationszeit ohne Gegenmaßnahme und die Größe des latenten Stellungsfehlers [Haase, 1990, S.2].

Nach einer oft nur aufs Binokularsehen begrenzten Anamnese und bestmöglicher Fernkorrektur (stärkste Plus und schwächste Minus bei maximalem Visus) werden das genaue Anpassungsstadium, die Größe und die Richtung einer $AP_{(D)}$ durch die Mess- und Korrekturmethode nach H. J. Haase (MKH) mittels des Polatestes bestimmt.

3.2.1 Deutsches Klassifizierungssystem einer $AP_{(D)}$

Vollmotorisch oder teilmotorisch kompensierte $AP_{(D)}$

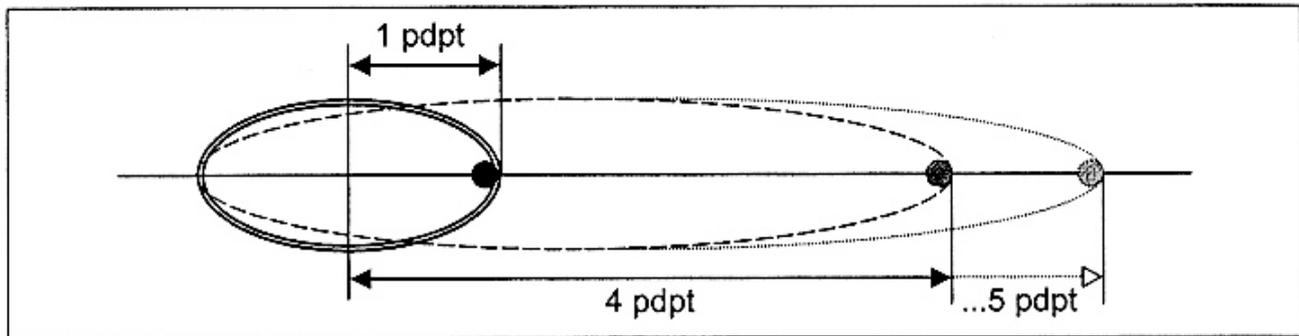
Bei einer vollmotorisch kompensierten $AP_{(D)}$ wird der optometrische Vergenzruhestellungsfehler mit fusionaler Vergenz vollständig kompensiert. Es liegt bizentrale Abbildung (Orthostellung) vor.

Bei einer teilmotorischen Kompensation wird mittels fusionaler Vergenz das Fixationsobjekt im abweichenden Auge auf die disparat fusionierende oder korrespondierende Netzhautstelle im zentralen Panumbereich abgebildet. Hier entspricht die Arbeitsstellung der Augen daher keiner Orthostellung.

Fixationsdisparation erster Unterart (FD_(D) I)

Eine Fixationsdisparation der Unterart FD_(D) I kann auftreten, wenn fusionierbare Netzhautbilder vorhanden sind. Bestehen zentrale Fusionsreize, so erfolgt die Abbildung des Fixationsobjektes grenznah innerhalb des zentralen Panumbereiches in einem oder abwechselnd in beiden Augen disparat.

In diesem Stadium bleiben die Richtungswerte (RW) umliegender Netzhautelemente (NE) erhalten und es besteht, trotz neu gebildeten Fusionszentrums, bizentrale Korrespondenz. D.h. bei nicht fusionierbaren Testanteilen (z.B. Kreuzbalken) bleibt eine Auswanderung sichtbar, da die Fovea des abweichenden Auges im binokularen Sehen den RW "gradeaus" beibehält. Bei hoher fusionaler Belastung kann sich der zentrale Panumbereich bis zu 4-5^{cm}/_m ausweiten, um noch weitere fusionale Vergenz des motorisch kompensierten Anteils einzusparen. Bei diesem Vorgang bildet sich ein neues Fusionszentrum.



[Stollenwerk, 2002, S.18]

Abbildung 3.2-1: Erweiterung des zentralen Panumbereichs

Fixationsdisparation zweiter Unterart (FD_(D) II)

Bei der FD_(D)II wird das disparat fusionierende Netzhautelement zum neuen Korrespondenzzentrum (KZ) innerhalb des (ggf. erweiterten) zentralen Panumbereiches. Diese Netzhautstelle meldet daraufhin beim Binokularsehen den RW gradeaus an höhere kortikale Strukturen des Gehirns. Der ursprüngliche RW der Fovea und der zwischen Fovea und neuem KZ liegenden Netzhautelemente, wird im Binokularsehen unterdrückt. Im Monokularsehen werden diese Korrespondenzen aufgehoben und die Fovea des Auges mit FD_(D) meldet den ursprünglichen Wert "gradeaus".

Junge FD_(D) II

Unter einer jungen FD_(D) II versteht man ein frühes Stadium einer disparaten Korrespondenz, bei der während anspruchsvoller Schaufgaben, wie z.B. der Auswertung detaillierter räumlicher Struk-

Stadien der jungen FD _(D) II	Anpassungserscheinungen
FD _(D) II/ 1	Richtungswertverschiebungen nur im zentralen Netzhautbereich vorhanden
FD _(D) II/ 2	Anpassung der RW peripherer NE an das neue disparate KZ

Tabelle 3.2-1

turen, bizentrale Abbildung kurzzeitig mittels motorischer Nachfusion hergestellt wird. Die Fovea des abweichenden Auges erhält ihre ursprüngliche bizentrale Korrespondenz kurzzeitig zurück. Je verfestigter Hemmungen sind, desto länger (bis zu 30s) dauert die Rückstellung.

Alte $FD_{(D)}$ II

Die so genannte Alte $FD_{(D)}$ II ist ein stärker verfestigtes Stadium der disparaten Korrespondenz. Diese Kondition wurde von Haase auch als latenter Zustand bezeichnet, da er nur mit Stereotesten und nicht mit herkömmlichen $FD_{(USA)}$ -Testen nachweisbar ist. Bei einer alten $FD_{(D)}$ II sind die Richtungswertverschiebungen und Hemmungen alter RW soweit verfestigt, dass eine Nachfusion auf bizenrale Abbildung nicht mehr stattfindet (siehe Tab. 3.2-1). Trotzdem bleiben bei einer $FD_{(D)}$ im Monokularsehen auch in älteren Stadien ursprüngliche RW vorhanden, wobei es jedoch auch im Monokularsehen zu Visusschwankungen durch Erscheinungen wie *Crowding* (Trennschwierigkeiten und Sehschärfenverlust) und Hemmungen kommen kann.

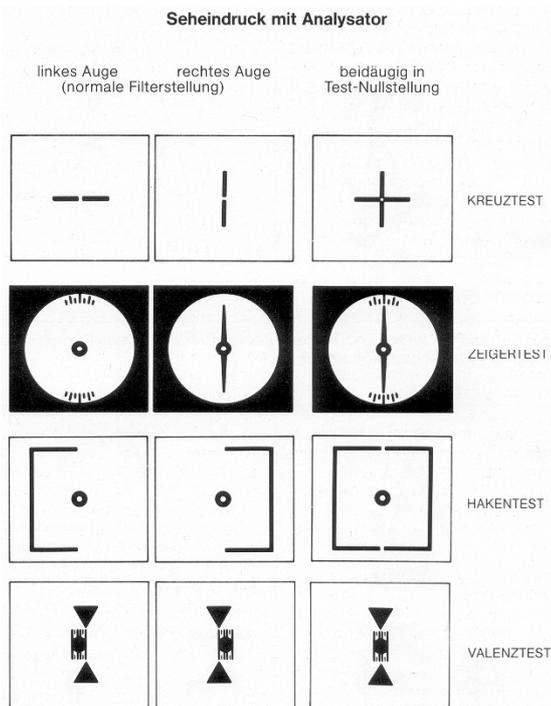
Dieser fortgeschrittene Zustand ist messtechnisch von einer anomalen retinalen Korrespondenz (ARK), bei der eine Korrespondenzverschiebung aus dem zentralen Panumbereich heraus stattfindet, schwer zu trennen. Nur, wenn eine Vollkorrektur *Crowding* und Hemmungen im Monokular- und Binokularsehen abstellt und bizenrale Korrespondenz am Valenztest nachweisbar wird (dies dauert oft viele Monate), kann man mit Sicherheit behaupten, dass vor der Korrektur kein Mikrostrabismus mit ARK bestand. Aus ophthalmologischer Sicht ist ein Mikrostrabismus sensorisch nicht rückstellbar (siehe Kap.2.13) [Haase, 1999, S.18;1Bailey, NABF W 2000-01, S.55].

Stadien der alten $FD_{(D)}$ II	Anpassungserscheinungen
$FD_{(D)}$ II/ 3	für fusionierbare und nichtfusionierbare Objekte Richtungswertumstellung bzgl. bizenraler Abbildung spontan (Kreuz & Zeiger null)
$FD_{(D)}$ II/ 4	für nichtfusionierbare Objekte (Kreuz) nur kurzzeitige Überkorrektur, für fusionierbare Objekte Umstellung der peripheren RW spontan
$FD_{(D)}$ II/ 5	für nichtfusionierbare Objekte spontane Umstellung der peripheren RW innerhalb der ersten Messung nicht möglich, für fusionierbare Objekte spontan Nullstellung
$FD_{(D)}$ II/ 6	für fusionierbare und nichtfusionierbare Objekte spontane Umstellung der peripheren RW nicht möglich (Kreuz und Zeiger in Überkorrektionsstellung)

Tabelle 3.2-2

3.2.2 Teste des Polatestgerätes und ihre Funktion

Haase hat an vielen Probanden die Wirkungsweise von Fusionsreizen, Lichtverhältnissen und Kontrasten mittels des *Turville infinity balance testes (TIB)* von Turville mit Ergebnissen herkömmlicher Heterophoretteste wie z.B. dem Maddoxzylinderverfahren verglichen. Aus seinen Erkenntnissen entwickelte er eine festgelegte Reihenfolge wesentlicher Teste, die alle im Polatest integriert wurden. Er konnte nachweisen, dass Prismen am verträglichsten sind, wenn sie unter (für beide Augen gleichen) photopischen Lichtverhältnissen, bei Meidung orthofugaler Fusionreize mittels positiv polarisierter Teste (schwarze Zeichen auf weißen Grund) bestimmt wurden. [Haase, 1980, S.64-77].



[Goersch, 1979, S.6]

Abbildung 3.2-2

Die wichtigsten Teste, die Reihenfolge und die Anteile, die jeweils nur von einem Auge mittels positiver Polarisation gesehen werden können, sind in Abb. 3.2-2 enthalten. Desweiteren werden in Abb. 3.2-3 die Testabmaße dargestellt. Eine $AP_{(D)}$ kann bei einer allmählichen Erweiterung des zentralen Panumbereiches mehrere Anpassungsstadien parallel aufweisen. Um die $AP_{(D)}$ vollständig aufzudecken, müssen alle abgebildeten Teste mittels korrigierender Prismen in eine vom Probanden symmetrisch wahrgenommene Nullstellung gebracht bzw. bei Stereotesten die Wahrnehmungsverzögerung abgestellt werden. Jeder Test deckt in der gegebenen Reihenfolge vom jüngsten Stadium (vollmotorisch) fortlaufend ein weiteres nächst älteres Stadium auf, vorausgesetzt, die vorangegangenen Teste wurden vorher korrigiert, oder

das zu

korrigierende Stadium ist das jüngste im individuellen Lebenslauf der $FD_{(D)}$. Korrigiert man jedoch einen Test nicht und lässt weitere Teste beurteilen, so können alle folgenden Teste auffällig sein. Dieser Umstand erschwert die genaue Abgrenzung der Diagnose. Würde sich ein Muskeltonus nach vollständiger Kreuzkorrektion lösen, so würden Teste, die eigentlich ältere (nichtvorhandene) $FD_{(D)}$ -Stadien diagnostizieren, auch bei einem jüngeren $FD_{(D)}$ -Stadium (z.B. $FD_{(D)} I$) auffällig werden.

Die Höhe der korrigierenden Prismen entspricht der $AP_{(D)}$. Die $FD_{(D)}$ - und Stereoteste (alle außer Kreuztest) decken die Fixationsdisparation auf, vorausgesetzt die zentralen Fusionsreize halten den Tonus konstant.

Kreuztest (K)

Der erste Test des Polatestgerätes ist der Kreuztest (K). Er liefert nur peripher fusionierbare Bildanteile (Rahmen), während die zentralen Bildanteile nicht fusionierbar sind (Kreuzbalken). Durch dieses Design gestattet der Test dem Augenpaar, leicht in Richtung der optometrischen Vergenzruhestellung auszuwandern, da Netzhautelemente in der Peripherie etwas größer sind als zentral. Dieser Test diagnostiziert nur motorische Anteile und disparate Fusionen ($FD_{(D)} I$), d.h. Konditionen mit bizentraler Korrespondenz. Im Gegensatz zu $FD_{(USA)}$ -Testen zeigt er gleichzeitig horizontale und vertikale Komponenten an.

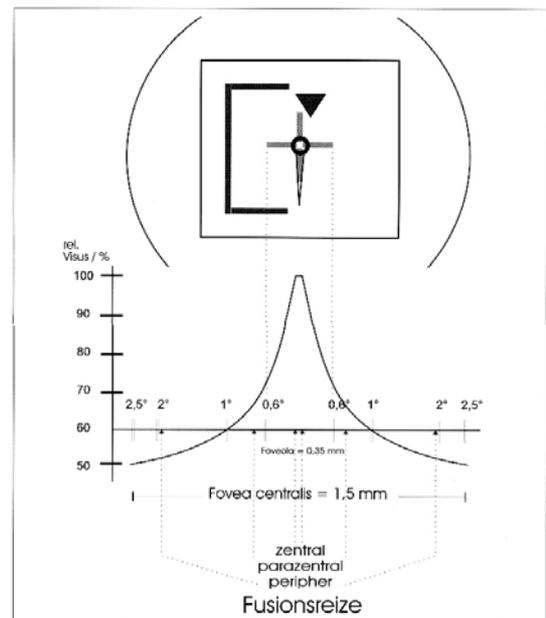


Abbildung 3.2-3: Netzhautbildlagen für die Binkularteste nach H.J. Haase [Schroth, 1997, S.35]

Eine $FD_{(D)}$ I könnte man nur diagnostizieren, wenn man ohne K zu korrigieren, die weiteren $FD_{(D)}$ -Teste auf Unterkorrektur prüfen lassen würde, was in der Praxis jedoch unüblich ist, da es eventuell einen Tonus aufbaut und somit die K-Korrektur erschwert.

Zeigertest (Z)

Im Gegensatz zum Kreuztest enthält der Zeigertest (Z) neben nicht fusionierbaren Testanteilen (Skala, Zeiger) ein zentrales Fusionsobjekt. Einem Auge wird der etwas zentraler liegende Zeiger ($\pm 1^\circ$) und dem anderen die weiter außen gelegene Skala ($\pm 1,2^\circ$) dargeboten. Hier kann die Filterwendeprobe sinnvoll sein, falls die RW-Verschiebung schon weiter (bis zu ca. $\pm 1,3^\circ$) kreisförmig um die Foveamitte fortgeschritten ist. Spätere Stadien als FD II/ 1 sind am Zeigertest nicht wahrnehmbar, da die RW bis in die Peripherie umgestellt sind.

Doppelzeigertest (DZ)

Modernere Polatestgeräte enthalten zusätzlich einen Doppelzeigertest (nicht in Abb. 3.2-2 enthalten), der auch vertikale $FD_{(D)}$ II/ 1 Anteile diagnostiziert, sowie anamorphotische Verzeichnungen (Scherenstellung der Zeiger zueinander) oder Zyklophorien (gleichgerichtete Drehung aller weiterhin 90° zueinander stehender Zeiger) differenzieren kann.

Hakentest (H)

Der Hakentest deckt ebenfalls vertikale $FD_{(D)}$ II/ 1 Anteile auf. Außerdem findet er ebenso Anwendung als Aniseikonietest.

Stereotest (St)

Am Stereotest werden aus der verzögerten Stereowahrnehmung disparat abgebildeter Dreiecke Rückschlüsse auf Anteile einer $FD_{(D)}$ II/2 gezogen. Nur diese Stereoverzögerung lässt auf das Stadium einer $FD_{(D)}$ II/ 2 schließen. Bei gekreuzter Verzögerung bestünde eine Exophorie und bei ungekreuzter eine Esophorie.

Valenztest (V)

Der Valenztest ist zwar etwas kleiner, aber ähnlich aufgebaut wie der St. Er enthält einen geringfügig kleineren (daher etwas stärkeren) zentralen Fusionsreiz und zusätzlich eine Skala zur Beurteilung der Richtungswahrnehmung. An diesem Test können $FD_{(D)}$ II/ 3-6 Anteile korrigiert werden. Die Differenzierung der einzelnen $FD_{(D)}$ -Unterarten ist in Tab. 3.2-2 dargestellt. Sie können erst beim Rücklauf unterschieden werden, sind aber für die Akzeptanz der Korrektur durch den Probanden sehr wichtig.

Alle Teste können Hemmungen durch blasser werdende oder verschwindende Testanteile anzeigen. In jüngeren Stadien können diese oft spontan durch prismatisch erzeugte, bizentrale Abbildung gelöst werden. Bei älteren Stadien können sie sich jedoch in der zentralen Region verfestigen, so dass sie sich auch bei bizentraler Korrektur nur langsam lösen.

Der Polatest enthält oft noch weitere Teste zur genauen Beurteilung der Stereopsis. Neben den differenzierten Stereotesten (D5, D6 und D9) gibt es auch den Random-Dot-Test (Hand- und Treppentest). Alle Fernteste werden in einem zweiten Durchlauf (Rücklauf) erneut gezeigt. Dabei wird untersucht ob sich mittlerweile Tonus gelöst hat oder ob Überkorrektionserscheinungen an Kreuz und Zeiger nach der Korrektur der Stereoteste auftreten (zur Diagnose einer FD(D) II/ 4-6). Am Ende der Fernkorrektur wird am Cowentest der Binokularabgleich vorgenommen. Wird von dem Probanden im Monokularsehen eine Änderung der Sphäre angenommen, so müssen alle Teste aufgrund der Akkommodations-Vergenzkopplung erneut präsentiert werden.

Nach vollendeter Fernkorrektur wird das Polatest-Nahsehprüfgerät eingesetzt. Es enthält die gleichen Teste in verkleinerter Form und wird in 40cm Entfernung angewandt, um bestehende Unterschiede zwischen Ferne und Nähe aufzudecken. Dabei besteht die allgemeine Regel, dass die in der Nähe ermittelten Prismen nur gegeben werden, wenn sich die Wahrnehmung am Fernpolatest, besonders an den Stereotesten, nicht verschlechtert. Gewöhnlich wird bei verschlechterter Wahrnehmung zunächst die Fernkorrektur verordnet (auch wenn ausschließlich Probleme in der Nähe bestehen), da nach sensorischer Rückstellung der Richtungswerte auch die relativ häufig auftretenden Nahexophorien verschwinden sollen [Haase, 1995, S.130;231]. Ist dies nach längeren Trageversuchen nicht der Fall, so werden Nah- und Fernkorrektur getrennt verordnet.

3.2.3 Beispiel - Korrektionsverlauf einer Esophorie ($8^{cm/m}$) des Stadiums FD_(D) II/ 3

In der Ausgangssituation zeigt sich der motorische Anteil der AP_(D) durch eine Fehlstellung des Kreuztestes. Die grau gefärbten Testanteile symbolisieren die blässere Wahrnehmung des Seheindrucks des rechten Auges aufgrund von Hemmungen. Nachdem das Kreuz mittels $4^{cm/m}$ Ba in Nullstellung wahrgenommen wird, zeigt sich ein FD_(D) II/ 1-Anteil am Zeigertest. Dieser wird mittels zusätzlicher $1,5^{cm/m}$ Ba voll korrigiert, indem der Seheindruck auf ein FD_(D) II/ 2 - Korrespondenzzentrum gelenkt wird. An dieser Stelle sind am Stereotest stärkere Stereoverzögerungen in FI-Stellung wahrnehmbar, die mit weiteren $1,25^{cm/m}$ Ba korrigiert werden, um das Bild auf das FD_(D) II/3-KZ zu bringen. Wird der verbleibende Restbetrag der AP_(D) von noch einmal $1,25^{cm/m}$ Ba am Valenztest korrigiert, so zeigen sich alle Teste in Nullstellung [Haase, 1995, S.256].

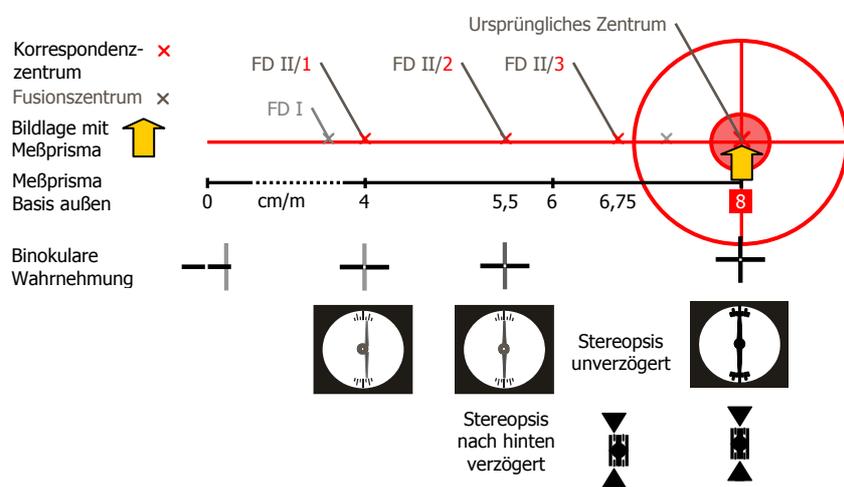


Abbildung 3.2-4 Schematische Darstellung v. Prof.R.Krüger, TFH-Berlin, nach Haase [1995, S.256]

3.2.4 Phorierichtungen, -größen und -häufigkeiten in deutschen Statistiken

Günthert veröffentlichte 1980 in einer Schweizer Studie die Häufigkeit und Verteilung der auftretenden Phoriearten und -höhen aus 18573 Augenglasbestimmungen. Bei 75% dieser Fälle war eine AP_(D) nachweisbar. Die Tabellen 3.2-3 und 4 zeigen die gefundenen Größen und Richtungen sowie ihre Verteilung [Günthert, 1980, 8-15]:

Größe	Größe (cm/m)	Anteil (%)
gering	< 4	78
mittel	4 – 12	20
groß	> 12	2

Tabelle 3.2-3

Richtung	Anteil (%)
Eso-Vertikal	34
Exo-Vertikal	22
Vertikal	19
Eso	17
Exo	8

Tabelle3.2-4

Baumann fand in seiner klinischen Population Asthenopien muskulären Ursprungs bei 10% von 384 ausgewerteten Fällen [Baumann, 1965, S.2].

Aus einer Studie Cagnolatis kann entnommen werden, dass von 67 untersuchten Probanden, 57 eine FD_(D) zeigten, davon wurden jedoch nur bei 28% Beschwerden festgestellt. D.h., dass ca. ein Viertel seiner gesamten klinischen Population eine FD_(D) mit einhergehenden Anzeichen aufwies [Cagnolati, 1987, S.160].

In einer größeren Studie, bei der 500 Probanden in verschiedenen augenoptischen Institutionen untersucht wurden, konnte Methling 1983 nachweisen, dass bei den 20% der an Asthenopie leidenden Menschen auffällig häufig auch ein Ruhestellungsfehler zu verzeichnen war [Methling, 1983, S.42].

Häufigkeit von Differenzen zwischen Fern- und Nahphorien (*high/low ACA/A-conditions*)

Haase konnte bei all seinen Probanden keinen echten Konvergenzexzess feststellen, wohl aber Nahesophorien, die aufgrund von Tonuslösung nach der Fernkorrektur auftraten und deren Nahkorrektur die Fernbeste nicht verschlechterte. Bei den ihm überwiesenen Fällen von Nahesotropie fand er häufig übersehene Fernesophorien, die nur in der Nähe nicht kompensiert werden konnten.

Häufiger auftretende Nahesophorien bei allen Phoriearten, auch bei hohen Fernesophorien (=Divergenzexzess), begründete Haase mit auftretenden Hemmungen, die stets bei korrekter Fernkorrektur aufgelöst werden konnten [Haase, 1995, S.231-232].

3.2.5 Zusammenhang des Stadiums einer AP_(D) mit auftretenden Symptomen

Ähnlich wie für die Konditionen des amerikanischen Klassifizierungssystems wurden in Tab. 3.2-5 die Symptome für das jeweilige FD_(D)-Stadium zusammengestellt [Ringleb, AB SS2000; Haase, 1968, S.6-12]. Auf eine nähere Erklärung muss im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden.

Symptome	Assoziierte Phorie _(D) (Exo, Eso, Vertikal, gemischt)						
	Voll- motorisch kompensiert	sensorisch kompensiert					
		FD _(D) I	FD _(D) II/ 1	FD _(D) II/ 2	FD _(D) II/ 3	FD _(D) II/ 4-5	FD _(D) II/ 6
Asthenopien und Kopfschmerzen	x	x	x	x			
Konzentrationsbeschwerden	x	x	x	x			
Leseunlust	x	x	x	x			
Kurze Perioden unscharfen oder doppelten Sehens	x						
Verzögerung des maximalen Visus		x	x	x			
Verzögerung der Umstellung ursprünglicher RW		x	x	x			
Verzögerung der Richtungswahrnehmung		x	x	x			
Lichtempfindlichkeit		x	x	x	x	x	x
Suppressionen		gering	mittel	mittel	stark	stark	stark
Reduzierter Visus					x	x	x
Reduzierte räumliche Wahrnehmung					x	x	x
Falsche Richtungswahrnehmung					x	x	x
Schwierigkeiten, Entfernungen einzuschätzen		x	x	x	x	x	x
Schwierigkeiten, Geschwindigkeiten einzuschätzen		x	x	x	x	x	x
Unruhe oder Bewegung von Schrift					x	x	x
Sehschärfenschwankungen bei Entfernungswechsel				x	x	x	x
Vermeiden von Ballspielen				x	x	x	x
Reduziertes ΔA_{\max}					x	x	x
Crowding					x	x	x
Stereoamaurose							x
Diplopie für flache Objekte bei prismatischer Vollkorrektur und bizontraler Abbildung							x

Tabelle 3.2-5

Bei Kombinationen von motorischen und sensorischen Kompensationen ist mit allen Komplikationen zu rechnen, die in der Spalte motorisch und in der Spalte des FD_(D)-Zustandes angekreuzt sind.

3.3 Korrekptions- bzw. Therapievergleich beider Systeme

3.3.1 Refraktive Korrektionen

Amerikanische und deutsche Auffassungen stimmen darin überein, dass eine sphärozyklindrische Unterkorrektur die Fusion durch unscharfe Netzhautbilder (bei Anisometropie zusätzlich durch Akkommodationsungleichgewicht) herabsetzt und zu Anstrengungsbeschwerden aufgrund positiver und teilweise sogar negativer Akkommodation führen kann. Daher wird für die deutsche Korrekturregel nach Zylindrischer Vollkorrektur das stärkste Plusglas bzw. das schwächste Minusglas ermittelt (0,25dpt Schritte), welches den maximalen Visus erzeugt [Haase, 1995, S.222].

Amerikanische Unterkorrektionsregeln

Im amerikanischen System wird jedoch, im Gegensatz zum deutschen, großes Augenmerk darauf verwendet, dass nicht nur eine Fehlsichtigkeit, sondern in Folge auch die gegebene sphärozyindrische Korrektur die Phorie reduzieren bzw. verstärken kann. Hier untersucht man zunächst den Status des visuellen Systems mit der Vollkorrektur, die Ametropie wird jedoch nicht in allen Fällen auskorrigiert. Die Ursache dieses Umstandes liegt mit Sicherheit darin begründet, dass Prismenkorrekturen in den USA bisher weniger Erfolg zeigten als hierzulande.

Folgende physiologische Gesetzmäßigkeiten liegen den amerikanischen Korrekturregeln zugrunde: Sphärische Plusgläser entspannen bei einem Hyperopen die Akkommodation und reduzieren mittels der AC/A-Kopplung die akkommodative Konvergenz. Besteht eine Esophorie (häufig), so wird in diesen Fällen bei einer normalen bis hohen AC/A die fusionale Divergenz signifikant entlastet, weshalb man die volle Korrektur verschreibt. Besteht jedoch eine moderate Exophorie, so würde diese durch die Korrektur erhöht werden. In diesen Fällen sollte die Korrektur etwas reduziert werden, soweit die binokulare Akkommodation nicht die eigentliche Ursache der Beschwerden darstellt. Bei Myopien tritt der entgegengesetzte Fall ein. Korrigierte Myopien reduzieren eine vorhandene Exophorie, jedoch kann die gegebene Korrektur Beschwerden bei Esophorien hervorrufen.

Generell wird bei Esophorien volles Plus und bei Exophorien volles Minus gegeben. Bei einer entgegengesetzten Konstellation beschreibt die Tabelle 3.3-1 (nur Richtwerte), ab welchem Wert die Korrektur zur Erhaltung der Fusion verschrieben werden sollte.

Fehlsichtigkeit	Hyperopie	Myopie	Astigmatismus	Aniseikonie
Signifikanter Wert	$\geq + 1,5\text{dpt}$	$\geq - 1,0\text{dpt}$	$\geq - 1,0\text{dpt}$	1,0dpt in mindestens einem HS

[Scheiman & Wick, 1994, S.84]

Tabelle 3.3-1

Ein esophorer Myoper etwa würde z.B. ab -1dpt korrigiert werden. Bei dieser Richtlinie sollte jedoch immer der maximale Akkomodationserfolg berücksichtigt werden, da z.B. bei einer Presbyopie eine Plusunterkorrektur zu starken Beschwerden in Ferne und Nähe führen kann.

Muss ein signifikanter Refraktionsfehler korrigiert werden, so wird vor dem Einleiten des nächsten Korrektur- bzw. Therapieschrittes nach 4-6 Wochen eine erneute Untersuchung durchgeführt, um festzustellen, ob nicht die Ametropie selbst Auslöser von Beschwerden, Akkommodations- und Vergenzstörungen war.

Wird vermutet, dass eine latente Hyperopie vorhanden ist, so wird unter Zykloplegie skiaskopiert oder subjektiv refraktioniert. Von dem zusätzlichen Plus kann im Falle von Hyperopien mit Esophorien zusätzlich ein Viertel verschrieben werden, ohne unverträgliche Unschärfen hervorzurufen. In Fällen von Konvergenzinsuffizienz treten häufig geringe Myopien auf. Sie entstehen aufgrund eines Akkommodationskrampfes (-exzess), der durch akkommodative Vergenz zur Unterstützung der Konvergenz hervorgerufen wird. Man nennt diesen Zustand auch Pseudomyopie ($\leq 0,75\text{dpt}$). Kann Pseudomyopie durch Zykloplegie nachgewiesen werden, wird die Minuskorrektur um diesen Betrag reduziert und Visualtraining kann durch Behandlung der KI und AE die Myopie reduzieren [Scheiman & Wick, 1994, S.231]. Bei niedrigen AC/A-Konditionen haben Vollkorrekturen wenig Einfluss auf den Vergenzzustand und werden daher oft voll verschrieben (außer bei Pseudomyopie).

Anisometropien

In Fällen von Anisometropie stimmt die deutsche mit der amerikanischen Philosophie grundsätzlich darin überein, dass selbst kleinste Refraktionsunterschiede korrigiert werden sollten. Zur Vermeidung von Aniseikonien werden in Fällen von Augenlängendifferenz (häufiger) Brillen und in Fällen von Brechwertdifferenz Kontaktlinsen verschrieben. Treten mit Brillenkorrekturen, trotz gleicher Netzhautbildgrößen, Beschwerden aufgrund von blickrichtungsabhängigen, horizontal und vertikal wechselnden Vergenzanforderungen auf, so korrigieren Amerikaner trotz Aniseikonie mittels Kontaktlinsen. Die Praxis innerhalb der deutschen Optometrie hat bewiesen, dass eine prismatische Vollkorrektur (Rückführung in bizenrale Abbildung) bei Aniseikonien und verschiedenen Vergenzanforderungen die Verträglichkeit der Korrektur stark verbessern kann. In beiden Systemen finden Aniseikoniegläser aufgrund störender Nebenwirkungen kaum Anwendung [Scheiman & Wick, 1994, S.84- 87; Stollenwerk, 1992, S.11; Haase, 1995, S.227].

Zylinderkorrekturen

Zylinderwerte werden im deutschen Modell voll auskorrigiert, es sei denn, sie erzeugen aufgrund Anamorphischer Verzeichnungen, trotz prismatischer Vollkorrektur Asthenopien. Im amerikanischen Modell werden Zylinderkorrekturen immer schrittweise als Teilkorrekturen verstärkt, um Unverträglichkeiten zu vermeiden. Gerade bei geringem Grad eines *astigmatismus inversus* werden sie oft vernachlässigt. OEP-Optometristen vertreten die Meinung, dass dieser Astigmatismus durch Nahstress hervorgerufen wird und in frühen Stadien bei Nutzung geringer positiver Addition beim Lesen reversibel ist (siehe Kap. 5.5).

Herstellen des Refraktionsgleichgewichtes

Amerikaner testen das Refraktionsgleichgewicht nach der subjektiven monokularen Augenglasbestimmung mittels eines dissoziierenden (in Ferne, $8^{\text{cm}}/\text{m}$ vertikal, +0,5dpt Add.) binokularen *balance* Testes. Diese Methode müsste laut Haase, ähnlich wie andere prismatisch dissoziierende Teste (z.B. Graefe Test), frustrane Fusionsreize hervorrufen und sollte als Abgleichmethode vermieden werden, da Störungen im Akkommodations/ Vergenz – System auftreten könnten, die zu falschen Refraktionswerten führen.

Deutsche Optometristen führen die Augen nur nach abgeschlossener binokularer Refraktion, z.B. mittels des Cowentestes, ins Akkommodationsgleichgewicht. Korrekturen vor der Herstellung einer bizenralen Abbildung könnten im abweichenden Auge eine geringe Plusverstärkung ergeben, welche disparate Fusionen bzw. Korrespondenzen verfestigen könnte, weil die Nachfusion durch myope Unschärfen in der Fovearegion behindert wird [Haase, 1995, S.204].

3.3.2 Additionen

Wurden nach amerikanischer Methode hohe AC/A -Konditionen (Vergenzexzesse) ermittelt, so können Additionen die Fusion enorm unterstützen. Im Falle eines Konvergenzexzesses besteht eine Esophorie und Symptome treten hauptsächlich in der Nähe auf. Eine geeignete Plusaddition reduziert den Divergenzaufwand signifikant. Beschwerden können so beseitigt werden, ohne aufwändiges Visualtraining zu absolvieren oder starke Prismenkorrekturen zu benötigen. Negative Additionen werden im Falle eines Divergenzexzesses hauptsächlich bei Vorschulkindern mit hohen Akkommodationsamplituden, sogar zur Fernkorrektur dazugegeben. Die so hergestellte Fusion kann die Zeit bis zum VT -Beginn (meist Schulalter) überbrücken und dann einen Anfangspunkt für Visualtraining bilden. Bei Erfolg des Trainings werden die Additionen wieder langsam reduziert. Bei akkommodativen Problemen helfen Additionen nur in Fällen von Akkommodationsinsuffizienz. Es wird dabei die Akkommodation durch Plus entlastet, um beschwerdefreies Lesen zu ermöglichen. Auch hier können in den meisten Fällen die Lesebrillen wieder abgesetzt werden, wenn ein aufbauendes Training absolviert wurde [Scheiman & Wick, 1994, S 87].

Additionen können immer dann verschrieben werden, wenn zusätzlich zur Phorie kein Akkommodationsproblem besteht, welches der Verträglichkeit einer Addition widerspricht, d.h. (kein Plus bei Akkommodationsexzess und kein Minus bei Akkommodationsinsuffizienz).

Im Kap 5.2.3 wird dargestellt, wie man Additionen mittels $FD_{(USA)}$ -Kurventechniken bestimmt. Eine weitere Methode für die Additionsbestimmung bei Präpresbyopen ist die Verwendung von MEM oder FCC -Ergebnissen.

Deutsche Optometristen verordnen selbst generell keine Additionen für Präpresbyope. Bestehende Vergenz- und Akkommodationsprobleme werden durch Prismenkorrekturen korrigiert bzw. abgestellt.

In der Verschreibung von Additionen bei Presbyopie gibt es keine wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Systemen.

3.3.3 Prismen

Prismenkorrekturen werden in der amerikanischen Optometrie nur zögerlich verschrieben. Das begründet sich vor allem in der Annahme, Prismen hätten häufig Nebenwirkungen (Farbsäume, Farbstereopsis, vertikale Vergenzanforderung bei leichten Kopfdrehungen etc.) und führten oft zu einem Anstieg der Werte (Prismenadaptation) und damit schließlich zu einer Operation. Nach Scheiman und Wick wurde in den USA nur wenig Forschung zum Nachweis von Prismenkorrekturerfolgen betrieben.

Natürlich gibt es auch in den Vereinigten Staaten Fälle, bei denen Additionen oder Visualtraining vorhandene Beschwerden nur bedingt reduzieren können. Dann werden Prismen entweder nach Sheards oder Percivals Kriterien verschrieben, oder aber auf Grundlage einer $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse. Im Folgenden wird kurz erläutert, in welchen Fällen Prismen nach amerikanischer Theorie Erfolg versprechend sind [Scheiman & Wick, 1994, S.90-94].

Horizontale Entlastungsprismen (*relieving prisms*)

In Fällen sehr hoher Phorien mit Ansätzen zur Diplopie werden horizontale Entlastungsprismen verschrieben. Treten hohe Esophorien auf, so ist der Erfolg, durch Visualtraining genügend Divergenzreserven aufzubauen, physiologisch begrenzt. Wenn zusätzlich auch die *AC/A* sehr gering ausfällt, so zeigen auch Additionen für die Nähe kaum einen Effekt, da pro Dioptrie Plus nur maximal $2^{\text{cm}}/\text{m}$ des Divergenzbedarfes reduziert würde. Diese Konstellation findet man in den nach amerikanischer Statistik selten anzutreffenden Fällen einer Divergenzinsuffizienz (größere Eso in Ferne). Prismen werden in Fällen von DI, allgemeiner Esophorie und bei vertikalen Phorien verschrieben. Sie werden seltener in Fällen von KI oder allgemeinen Exophorien und gar nicht für Vergenzexzesse empfohlen. Sie können als Ausgangspunkt für ein aufbauendes Training genutzt werden bzw. nach einem absolvierten Training, das nicht den gewünschten Erfolg zeigte. Bei finanziellen oder zeitlichen Einschränkungen des Patienten können sie jedoch auch als Alternative zum Training angeboten werden.

Fixation Disparity Analysis

Die $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse wird von Scheiman und Wick anderen Prismenkorrektionsregeln vorgezogen, da sie wesentlich verträglicher sein soll, aufgrund assoziierter Messmethoden geringere Prismenkorrekturen ergibt und das Risiko zur Prismenadaptation verringert. Im Kapitel 5.2. wird die Kurvenanalyse und deren Anwendung detailliert untersucht, im Kap. 5.4. die amerikanischen Theorien zur Vergenz- oder Prismenadaptation.

Sheard's Criterion

Sheard hat vorgeschlagen, dass eine Phorie immer dann ohne Beschwerden kompensiert werden müsste, wenn die zu kompensierende Vergenzbreite den doppelten Betrag der Phorie annimmt. Falls diese Bedingung aufgrund reduzierter Vergenzbreiten nicht gegeben ist, können nach folgender Formel verträgliche Prismenkorrekturen verschrieben werden:

$$\text{Zu verordnendes Prisma} = 2/3 \times \text{Phorie} - 1/3 \text{ der vorhandenen kompensierende Vergenzbreite}$$

[Scheiman & Wick, 1994, S.91]

Formel 3.3-1: Sheards Kriterium

Sheedy und Saladin haben 1978 den Erfolg dieser Formel für verschiedene Heterophoriearten untersucht und festgestellt, dass Exophore am meisten Entlastung zeigten.

Percival's Criterion

Percival hat behauptet, das visuelle System funktioniere am besten, wenn es so eingerichtet ist, dass es im mittleren Drittel der gegebenen Vergenzbreite arbeiten kann. Diese Theorie findet ihre Anwendung unabhängig von der Richtung und Größe der Phorie.

$$\text{Zu verordnendes Prisma} = \text{Divergenzbreite} - 1/3 \text{ der gesamten Vergenzspanne (BA + Bi)}$$

[Scheiman & Wick, 1994, S.92]

Formel 3.3-2: Percivals Kriterium

Ein Prisma der errechneten Höhe wird nur verschrieben, wenn es einen positiven Wert annimmt. Sheedy und Saladin fanden den größten Erfolg dieser Korrektionsregel in Fällen von Esophorien.

Vertikale Entlastungsprismen

Wick empfiehlt, vertikale Prismen immer dann zu verordnen, wenn sie hohe horizontale Phorien verringern oder reduzierte Vergenzbreiten und vorhandene Suppressionen stark verbessern. Zeigt ein horizontales Visualtraining nicht wie gewöhnlich den gewünschten Erfolg, so sollte man laut Wick hier ebenfalls mit $FD_{(USA)}$ -Messungen nach geringen vertikalen Komponenten suchen (ab $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$). Sie bleiben bei Heterophoriemessungen (*Covertest*) leicht unentdeckt, sollten jedoch in dem beschriebenen Fall zur Unterstützung des Trainings verschrieben werden.

Gerade im Fall vertikaler Phorien werden $FD_{(USA)}$ -Messungen dem Sheard-Kriterium vorgezogen. Dabei wird generell die $AP_{(USA)}$ (Prismenwert der $FD_{(USA)}$ voll korrigiert) verschrieben (siehe auch Kap. 5.2.6)

Deutsche Philosophie

Prismenkorrekturen sind in Deutschland wesentlich populärer als in den USA. Dieser Umstand ist sicher auch darin zu begründen, dass hier die hauptsächlich für Strabismen praktizierte Orthoptik (Visualtraining) den speziell dafür ausgebildeten OrthoptistInnen (die nur in Zusammenarbeit mit Ophthalmologen praktizieren dürfen) vorbehalten ist. Aus berufsrechtlichen Unsicherheiten und durch mangelnde Ausbildung deutscher Optometristen konnte sich das Visualtraining für Phorien in Deutschland nicht durchsetzen. Das hatte zur Folge, dass weder Orthoptistinnen noch Optometristen *VT* für Betroffene, die unter einer Phorie leiden und Prismenkorrekturen aus individuellen Gründen ablehnen, flächendeckend anboten.

Die volle Konzentration zur Reduzierung binokularer sowie monokularer visueller Störungen und Beschwerden lag daher in der Optometrie, der Augenglasbestimmung und der Brillenanpassung. Durch diese Konzentration war es Haase und seinen Kollegen möglich, durch Forschung den Polatest und die MKH zu entwickeln und die Brillenanpassung enorm zu optimieren. Daher spielten die reduzierten Nebenwirkungen von Prismenkorrekturen ([Aussehen], Gewicht, Chromatische Aberration, Farbenstereoskopie und Verzeichnung) in Bezug zum Erfolg dieser Korrektionsart kaum eine Rolle. Ein Beispiel dafür, dass neben der Brillenanpassung auch das Gehirn eine enorme Rolle zur Verträglichkeit von Prismen beiträgt, konnte Haase an einem Fall verdeutlichen, den er mit $38^{\text{cm}}/\text{m}$ Prismen versorgen musste, da eine OP für diesen Probanden keine Alternative darstellte. Er konnte nach einer gewissen Zeit der Eingewöhnung keine Farbsäume mehr wahrnehmen (wohl aber beim Monokularsehen ohne Brille). Wesentlich für eine gute Verträglichkeit der Nebeneffekte ist nach Haase eine eingehende Beratung des Kunden vor der Brillenabgabe [Haase, 1980, S.170- 178].

Bislang wurden in der deutschen Optometrie, seit Erfindung der MKH in den 50iger Jahren, Haases Prismenvollkorrektionsregeln befolgt. Sheard, Percival, Maddox und Freeman wurden in der Vergangenheit und teilweise auch noch heute in Deutschland unterrichtet und vor Haases Forschungsergebnissen auch praktiziert. Haase und seine Kollegen konnten jedoch an 211 Praxisfällen nachweisen, dass eine Vollkorrektur mittels der MKH im Vergleich zu Teilkorrekturen, die durch Maddox-Heterophoriemessverfahren und Prismenkorrektionsregeln bestimmt wurden, in 50% gleichermaßen,

und in weiteren 50% wesentlich verträglicher waren [Haase, 1980, S.144]. Die Vollkorrektionsregel besagt, dass die $AP_{(D)}$ in voller Höhe, sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung, prismatisch auskorrigiert werden muss, sowie bei jeder Augenglasbestimmung berücksichtigt werden sollte. Haase und viele folgende Optometristen gingen sogar soweit, Stellungsfehler auch ohne bewusst auftretende Beschwerden zu korrigieren, da sich Betroffene oft über die eigentliche Ursache auftretender Asthenopien und Qualitätsverluste im Sehen nicht bewusst seien [Haase, 1995, S.22].

Mittlerweile korrigieren deutsche Optometristen in der Mehrheit nur nach eingehender Beratung in Fällen asthenopisch auffälliger Beschwerden. Nur dann garantieren eine hohe Motivation und die Einsicht, über die mit Prismen häufig verbundenen ästhetischen und komfortbedingten Einschränkungen, eine gute Akzeptanz und Anerkennung des Korrekturerfolgs seitens der Kunden. Obwohl Haase immer wieder ausdrücklich vor prismatischen Teilkorrekturen warnte, wird von einigen Optometristen z.B. nur der motorische Anteil oder generell ein Teil der $AP_{(D)}$ korrigiert, um zumindest motorisch bedingte Asthenopien (z.B. Kopfschmerzen) abstellen zu können. Nach Haase sollen solche Teilkorrekturen den Lebenslauf sensorischer Dekompensationen beschleunigen können, da das Netzhautbild durch die Korrektur direkt auf ein $FD_{(D)}$ -Zentrum abgebildet wird und eventuell, durch fehlende motorische Aktionen, gar kein Anreiz zur motorischen Nachfusion gegeben ist [Ringleb, AB-Vorlesung, SS2000].

Diese These bleibt anzuzweifeln, da der reduzierte Energiebedarf zur motorischen Herstellung bizen-traler Abbildung in jüngeren $FD_{(D)}$ -Stadien sogar förderlich sein könnte. Selbst der Wissenschaftliche Beirat der IVBV (Internationale Vereinigung für Binokulare Vollkorrektion), räumte ein, dass eine Teilkorrektur in einzelnen Fällen zweckmäßig sein kann, solange vermieden würde, prismatische Werte abzugeben, die zwischen Messwerten der einzelnen $FD_{(D)}$ -Teste liegen [IVBV-Info, Dez. 2002, S.7].

3.3.4 Visualtraining (VT)

USA

Scheiman und Wick empfehlen *VT* vor allem in Fällen von Konvergenzinsuffizienz, Divergenz-exzess, Fusionaler Vergenzfehlfunktion, allgemeiner Exophorie, Akkommodationsexzess und Akkommodationsunfähigkeit sowie bei okulomotorischen Fehlfunktionen. Optische Korrekturen (Additionen und Prismen) sind ihrer Meinung nach nur in einigen speziellen Fällen sinnvoll. *VT* hingegen hat für alle möglichen Konditionen exzellente Aussichten auf Erfolg, außer in Fällen von Divergenzinsuffizienz (siehe oben). *VT* kann folgende physiologische Funktionen lang anhaltend verändern [Scheimen & Wick, 1994, S.95]:

- **Anstieg der Akkommodationsamplituden**
- **Anstieg der Akkommodationsdynamik**
- **Abstellen von Akkommodationsspasmus**
- **Erhöhung der Vergenzbreiten**
- **Verbesserung der Vergenzdynamik**
- **Aufheben von Suppressionen**
- **Verbesserung der Stereopsis**
- **Optimierung von Sakkaden und Folgebewegungen**
- **Verbesserung der Fixationsstabilität**
- **Erhöhung der Vergenzadaptation**

Ein Visualtraining hat jedoch nur dann Erfolg, wenn genügend hohe Motivation, ein reifes Alter (in der Regel ab Einschulung), genügend Kommunikationsfähigkeit sowie finanzielle und zeitliche Möglichkeiten gegeben sind. *VT* benötigt, im Gegensatz zu optischen Korrekturen, in manchen Fällen nur einige Wochen, um Beschwerden zu lindern und kann in der Regel nach 12-24 wöchentlichen Sitzungen abgeschlossen werden. Durch die Optimierung motorischer, sensorischer und akkommodativer Zustände, wird es dem visuellen System in vielen Fällen ermöglicht, auf Dauer beschwerdefrei, z.T. sogar ohne den weiteren Einsatz optischer Hilfsmittel, Fehlfunktionen in der Vergenz, der Akkommodation oder der Okulomotorik auszugleichen.

Der Betroffene lernt durch das Visualtraing zunächst, willentlich visuelle Funktionen anzusteuern oder zu entspannen. Es werden dabei *feedback cues* (Rückmeldungshinweise) unterrichtet, die es dem Patienten erleichtern, visuelle Mechanismen kontrollieren und bewerten zu lernen. Durch tägliches Wiederholen ähnlicher Übungen können sich über positive Lernerfolge Automatismen entwickeln, so dass die vorerst willentlich angesteuerten Funktionen nun automatisch innerviert werden können. Mit dem Visualtraining (nach dem Modell Scheiman und Wick), welches immer alle Sehfunktionen mit problemspezifischer Wichtung trainiert, werden sämtliche Messergebnisse an Normwerte angeglichen und dabei Symptome abgestellt. Wenn alle Normwerte mit Leichtigkeit erreicht werden, soll das visuelle System wieder "einrasten" und auch größere Phorien anstrengungsfrei kompensiert werden können. Die anstrengungsfreie Kompensation wird vor allem durch die antrainierte Fähigkeit hervorgerufen, das langsame Vergenzsystem zu aktivieren. Damit baut das visuelle System einen plastischen Tonus auf, der keine Innervationsenergie benötigt (siehe Kap. 5.3). Zudem werden Akkommodations-Vergenzrückkopplungen flexibler (siehe Kap. 5.4).

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit erfolgten persönlichen Gespräche mit Dr. Bailey und Dr. Gallaway ließen zudem darauf schließen, dass *VT* (ähnlich wie MKH-Prismen) Hemmungen beseitigen kann. Somit hätte man eine Erklärung dafür, warum es bei einem *VT* nicht nur um ein reines Muskeltraining geht, sondern vielmehr um Stimulationen von bizentral innervierten Mechanismen, ähnlich derer bei MKH-Testung oder –Korrektion [Gespräche mit Gallaway und Bailey, 15.Mai 2002].

In Carmen Kochs Diplomarbeit konnte zudem herausgearbeitet werden, dass durch ein Training die Reizaufnahme, die Innervierung von inneren und äußeren Augenmuskeln sowie die Wahrnehmungsverarbeitung positiv verändert werden kann, was zu einer höheren Effektivität (mehr Informationen in gleicher Zeit), Dynamik und Anpassungsfähigkeit des Sehprozesses führt. In dieser Arbeit wurden *VT* (nach *OEP*-Kriterien), dessen mögliche Übungen und deren Durchführung beschrieben sowie die Auswirkungen auf bestimmte Sehfunktionen detailliert analysiert [Koch, SS 2002].

Innerhalb der vorliegenden Diplomarbeit würde die Beschreibung des ausführlichen Trainingsablaufs den Rahmen sprengen, dieser wird jedoch in der Beschreibung des allgemeinen Ablaufs der praktischen Studien im Kap 6.2.5 dargestellt.

Deutschland

VT, nach der hier beschriebenen Form, wurde generell bis vor kurzem innerhalb der deutschen Optometrie weder praktiziert noch unterrichtet. Seit Durchbruch der MKH konnte man sich nicht vorstellen, dass ein Training dauerhafte Auswirkungen auf Fusions- und Akkommodationsleistungen haben könnte. In der herkömmlichen Meinung zum Visualtraining wird es ausschließlich als Muskeltraining dargestellt, das kurzfristig die Augenmuskulatur dazu bringt, mehr fusionale Arbeit zu leisten. Ein Muskeltraining ist bislang nur beschränkt angewandt worden, da man annahm, dass

Fusionschwierigkeiten ein Zeichen des visuellen Systems dafür sind, dass der Organismus noch nicht oder nicht mehr in der Lage sei, Fusionseinstellungen spontan auszuführen.

Gerade Haase nahm sogar an, dass man dem Organismus zwangsweise durch das Training Energie entzieht, da man ihn zwingt, ständig mehr Vergenz als eigentlich gefordert, zu überwinden. Daher könnte ein Energiedefizit an einer anderen, vielleicht viel kritischeren Stelle des Nervensystems erzeugt werden. Diese Annahme ist nicht unberechtigt, daher wird im amerikanischen Training streng beachtet, dass die *VT*-Übungen ein zeitliches Tageslimit nicht überschreiten (max. 20min).

Im Gegensatz zu einem Training entferne, laut Haase, eine prismatische Vollkorrektur, basierend auf der Hellruhestellung, die Ursache des Problems, nämlich den Vergenzbedarf.

In Fällen normaler Korrespondenzen erachtet Haase ein orthoptisches Training dann für sinnvoll, wenn durch eine Krankheit heterophoriebedingte Fusionschwächen auftreten. Man könnte nach Ende der Krankheit die Rehabilitation der Augenmuskulatur durch ein Training jedoch höchstens beschleunigen.

Haase und Kollegen bevorzugen grundsätzlich sogar, solche pathologische Fälle, die von Augenärzten gesandt wurden, prismatisch zu korrigieren, anstatt sie orthoptisch zu trainieren.

Trotz ihrer akuten Defekte konnten diese durch die Korrekturen immer binokular sehen. So wurde ein dauerhafter Effekt erreicht, der nach Belieben weiter durch spezielle Übungen mit orthoptischen Geräten unterstützt werden konnte. Sogar ohne diese bestimmten Übungen konnte Haase beachtliche Fortschritte der Fusionsfähigkeit durch die gegebene Vollkorrektur beobachten (auch nach dem Absetzen der Korrektur) und in Fällen von Exophorien sogar beeindruckende Verringerungen der Abweichungen selbst feststellen. Es habe jedoch auch individuelle Fälle gegeben, in deren Muskeltraining sich im Vorhinein als ineffektiv erwiesen habe. Haase äußerte zudem Bedenken, dass man durch die Erzeugung eines plastischen Muskeltonuses mittels Motoriktrainings prismatische Korrekturen nur erschweren würde [Haase, 1980, S.169].

Bei der Vollkorrekturmethode ist nach Haase auch als Vorteil zu betrachten, dass zeitaufwendige und anstrengende Behandlungen vermieden werden können und die Patienten ohne permanente Anstrengungsbeschwerden sofort, nach der normalerweise kurzen Einstellphase der Brillen, voll belastbar arbeiten können [Haase, 1962, S.10].

Erst seit April 2002 bietet die WVAO nach der Teilnahme an Weiterbildungskursen, einen Abschluss zum Funktionaloptometristen an. Dieser wird nur durch kontinuierlichen Praxisnachweis des Visualtrainings, jedoch ohne rechtliche Konsequenzen zertifiziert. Diese Ausbildung entspricht den *OEP*-Konzepten und -Zielen und weicht daher etwas von den hier dargestellten Diagnosestrategien ab, wie im Kap.5.5 genauer dargestellt wird.

3.3.5 Operationen

Es gibt nur verschwindend wenige Situationen, in denen ein amerikanischer Optometrist eine Operation empfehlen würde [Scheiman & Wick, 1994, S.100]:

1. Phorie ist größer als $30^{\text{cm}}/\text{m}$ (intermittierender Strabismus) → hier hat *VT* wenig Erfolg
2. keine "*compliance*" mit allen anderen Methoden
3. Brille wird abgelehnt und *VT* konnte Symptome nicht mindern

Es gibt so gut wie keine Studien über den Erfolg von Operationen bei den genannten Binokularproblemen. Von Norden und Hermann befanden Operationen in Fällen KI wirksam und Haldi beschrieb, dass 5 von 6 Patienten nach der OP ihre alte Nahexophorie wieder herstellten.

Eine Augenmuskeloperation hat nach Ansicht deutscher Optometristen in Fällen von Phorien sehr hohe Erfolgsaussichten, wenn zuvor ein stabiler binokularer Zustand mittels prismatischer Vollkorrektion erreicht werden konnte (bizentrale Abbildung und Korrespondenz, max. Reduzierung zentraler Hemmungen) und sich die Korrektur als hilfreich erwies. Die Empfehlung zu einer Operation ist von den individuellen Bedürfnissen des Betroffenen selbst abhängig. Sie kann bei geringen und bei hohen Phorien durchgeführt werden, verspricht jedoch bei einer $AP_{(D)}$ von mehr als $10^{cm}/m$ größere Vorteile, da hier das Gewicht und die prismatischen Nebenwirkungen signifikant reduziert werden können. Oft bleiben durch hohe Herausforderung in der Dosierung geringe Restfehler vorhanden, so dass dem Betroffenen nicht garantiert werden kann, keine prismatische Korrektur mehr zu benötigen [Haase 1995, S.310]. Um eine Operation empfehlen zu können, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Optometristen und operierendem Augenarzt unabdingbar, da nur ein optimales Ergebnis erzielt werden kann, wenn der Arzt den Zustand ebenfalls mittels MKH evaluiert und den Korrektionsverlauf mitberücksichtigt. Leider finden sich hier aufgrund differierender Ausbildungsphilosophien zur Binokularkorrektur beider Berufe nur wenige kooperationsfreundliche Augenärzte.

3.3.6 Übersicht über Korrektions- bzw. Therapiepräferenzen (USA)

In der folgenden Tabelle: 3.3-2 werden die klassischen amerikanischen Diagnosen sowie die dafür optimierten Behandlungs- und Korrektionsverfahren in der Reihenfolge ihrer Priorität dargestellt. Sie soll der besseren Übersicht und dem Verständnis des amerikanischen Systems im weiteren Verlauf dieser Arbeit dienen.

Diagnose	Primäre Behandlung/Korrektur	Sekundäre Behandlung/ Korrektur
Akkommodationsprobleme		
1. Akkommodationsinsuffizienz	Plus Add	<i>VT</i>
2. Akkommodationsexzess	<i>VT</i>	
3. Akkommodationsunfähigkeit	<i>VT</i>	
niedriger AC/A		
4. Konvergenzinsuffizienz	<i>VT</i>	Prismen
5. Divergenzinsuffizienz	Prismen	<i>VT</i>
hoher AC/A		
6. Divergenzexzess	<i>VT</i>	Minus Add
7. Konvergenzexzess	Plus Add	<i>VT</i>
normaler AC/A		
8. Allgemeine Esophorie	<i>VT</i> und Plus Add	Prismen
9. Allgemeine Exophorie	<i>VT</i>	Minus Add, Prismen
10. Fusionale Vergenzfehlfunktion	<i>VT</i>	
11. Vertikale Phorien	Prismen	<i>VT</i>
12. Okularmotorische Fehlfunktion	<i>VT</i>	Plus Add
13. <i>Fixation Disparity</i>	<i>VT</i> oder Prismen je nach Fall	
14. Latente Hyperopie	<i>VT</i> + schrittweise Pluserhöhung	
15. Aniseikonie	Contactlinsen	Brille

1. bis 13. aus [Scheiman & Wick, 1994, S.93]

Tabelle 3.3-2

3.4 Schlussfolgerungen

Die Häufigkeitsverteilung amerikanischer und deutscher Studien zu nichtstrabismischen Defiziten und Symptomen verdeutlichen, dass viele Menschen an Sehstörungen und Asthenopien leiden, vor allem bei einem hohen Pensum an Nah- bzw. PC-Arbeit. Da die meisten Untersuchungsergebnisse aus den 80iger Jahren stammen, kann man annehmen, dass die Verbreitung der Computertechnologie in Beruf und Freizeit heutzutage bei wesentlich mehr Menschen Energieverluste und Sehbeschwerden hervorruft. Daher ist eine, optimal auf individuelle Bedürfnisse eingehende, optometrische Versorgung der Betroffenen gefragt, wie nie zuvor.

Beim Vergleich der Testmethoden und Diagnosewege wird deutlich, dass beide Systeme enorm aufwändige Strategien verfolgen. Da beide Systeme keine 100% Erfolgsgarantie erzielen, könnte eine Kombination beider vielleicht ein weiterer Schritt zum Erfolg sein.

Diese Kombination ist jedoch praktisch schwierig zu realisieren, da sie einen enormen Zeitaufwand für den Betroffenen und den Optometristen bedeuten, und die Diagnosen durch die gegenseitige Beeinflussung der Methoden erschwert werden würden.

In diesem Zusammenhang stellen sich daher zwei Fragen:

1. Finden Amerikaner einige Phorien als Hintergrund defizitärer Sehfunktionen nicht, da ihre Testmethoden bestimmte latente Formen nicht aufdecken können? (siehe Kap. 6.4.4)
2. Vermuten deutsche Optometristen, dass sie mit Prismen alle Sehstörungen beheben können, da sie nicht routinemäßig Sehfunktionen messen und daher u.U. weitere Defizite außer Acht lassen?

Diese Diplomarbeit untersucht im Kap. 6 und 7, ob beide Systeme von zwei verschiedenen Perspektiven her, vollständig gleiche Defizite aufdecken und abstellen können und ob Rückschlüsse zwischen den Testmethoden zulässig sind.

Ein Vergleich der Korrektions- und Therapiewege macht deutlich, dass man in den USA den Betroffenen wesentlich mehr Alternativen zum Abstellen von Symptomen bietet als innerhalb der deutschen Optometrie, wobei Prismenkorrekturen und -anpassungen optimiert werden könnten, folgte man den Richtlinien der MKH.

Dass jedoch ein Prisma, nach amerikanischer Philosophie, nicht in jedem Fall angebracht ist, wird aus der Vielzahl der Ursachen von Sehstörungen und Asthenopien deutlich. Es wird eingeräumt, dass okulomotorische Fehlfunktionen oft in Kombination mit anderen Störungen (akkommodativ und fusional) einhergehen. Daher ist eine gemeinsame Quelle aller Störungen ($AP_{(D)}$) denkbar.

Ein prinzipieller Unterschied der amerikanischen gegenüber der deutschen optometrischen Versorgungsstrategie besteht in dem Ansatz, das visuelle System sei von der Natur bzw. Evolution so geformt, dass es prinzipiell in der Lage wäre, allen beeinflussenden Faktoren dynamisch entgegenzuwirken. Diese Adaptationsmechanismen können u.U. blockiert werden. Es scheint daher aus amerikanischer Sicht sinnvoll, diese Mechanismen (AC/A - CA/C – Interaktionen und Vergenz- und Akkommodationadaptation) durch VT zu reaktivieren und nicht nur anatomische Unzulänglichkeiten (Phorien) auszugleichen. Die Hintergründe dieser Theorien werden in den Kap. 5.3 und 5.4 analysiert.

Es wäre sinnvoll, in der Ausbildung deutscher Optometristen verstärkt auf *AC/A*-Interaktionen einzugehen, um Auswirkungen optischer Korrekturen auf vorhandene Phoriegrößen zu verdeutlichen. In der Praxis werden diese Zusammenhänge oft nicht bewusst. Spontan entstehende (motorisch bedingte) Beschwerden werden auf Fehldezentrationen zurückgeführt, obwohl sie eine binokulare Abklärung erfordern (siehe hierzu Kap.5.3).

Interessant ist in diesem Zusammenhang der amerikanische Ansatz, bei einer Esophorie, die hauptsächlich bei längerer Naharbeit durch Motorik Probleme verursacht, geringe entlastende positive Additionen in Lesebrillen anstelle starker Prismenkorrekturen zu verordnen. Gerade im Falle eines Konvergenzexzesses (Esophorie in Nähe größer als in Ferne) scheint dies eine ideale Korrekturmaßnahme. Nach unserer Auslegung von Haases Untersuchungen gibt es keinen realen Konvergenzexzess. Dennoch wurde innerhalb dieser Diplomarbeit eindeutig ein KE-Fall (IR) diagnostiziert, der bei Verstärkung der Ba-Korrektur unverträgliche Überkorrektionserscheinungen an allen Fernesten zeigte. Daher sind diese Fälle eventuell doch nicht als Messfehler abzuwerten.

Bei all den aufgeführten Vorteilen des amerikanischen *VTs* und der deutschen Prismenkorrektur liegt eine Kombination beider Methoden auf der Hand.

Die Prismen stellen zunächst bequeme Fusion und bizentrale Abbildung her und *VT* baut zusätzlich Hemmungen ab, um schnellere Erfolge der Prismenkorrektur zu garantieren. So wäre Haases Befürchtung, *VT* stehle dem visuellen System essentielle Energie durch die entlastenden Prismen nachgekommen. Nach genügender Stabilisation des binokularen Zustandes und Aufbau von Kompensationsmechanismen (Vergenzadaptation, flexible *AC/A-CA/C*-Interaktionen) könnte man die Prismenkorrektur wieder absetzen und der Proband wäre in der Lage, bei Ametropie ästhetischere und leichtere Korrekturen zu tragen, Kontaktlinsen zu wählen oder bei Emmetropie ohne Korrektur auszukommen. Sicher ist diese Kombinationsmöglichkeit abhängig von der Höhe und Art der Phorie, da genügend Divergenzbreiten in Fällen hoher Esophorien schwer trainierbar sind. Beide Korrektionswege scheinen dabei jedoch Zeit zu sparen und wären daher gerade vor einer angestrebten Muskel-OP sehr sinnvoll, die Stabilisationsphase zu beschleunigen. Diese Kombination ist sicher nur als individuelle alternative Maßnahme anzusehen, da insgesamt die Kosten für den Betroffenen steigen würden. Mehr vergleichende Studien werden benötigt, um herauszufinden, ob es sogar bestimmte $AP_{(D)}$ Konditionen gibt, wo *VT* eine Alternative zur Prismenkorrektur darstellen könnte.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Auswirkungen solcher Kombinationen von *VT* und prismatischer Vollkorrektur verfolgt (siehe Kap.6.5)

4. Effektivität von Visualtraining und MKH-Vollkorrektion

Die Untersuchungen zur Diplomarbeit erforderten verschiedene Schritte der Vorbereitung. Ein wesentlicher Aspekt hierbei war die Auseinandersetzung mit Auffassungen maßgeblicher Wissenschaftler zur Effizienz der Korrektur bzw. Behandlung nichtstrabismischen Binokularsehens.

4.1 Studien zur Effizienz von *VT*

In diesem Abschnitt werden Studien aufgeführt, die wissenschaftlich belegen, dass Visualtraining sich nicht nur auf Vergenzbreiten spezialisiert, sondern verschiedenste Sehfunktionen effizient verbessern kann. Dabei wird die Quote des Erfolges im Sinne der Reduktion von Beschwerden und Sehstörungen von besonderem Interesse sein.

Da es bislang keine Studien gibt, die belegen, dass *VT* auch im Sinne der MKH, z.B. in der Herstellung bizentraler Korrespondenz und Abbildung, bzw. in der Reduktion von $AP_{(D)}$ -Größen, Erfolge erzielen kann, wird im praktischen Teil der Diplomarbeit (Kap.6.5.6) dieser Aspekt besondere Beachtung finden.

4.1.1 *American Optometric Association (AOA) Report*

An dieser breiten Untersuchung arbeiteten, im Auftrag der *AOA*, 6 Wissenschaftler zusammen, um mittels 239 Einzel-Studien die allgemeine Effektivität des Visualtrainings zu analysieren. Die folgenden Beispiele sind nur Auszüge aus den gesammelten Fakten [AOA-Report, Online-Publikation, 2001].

Akkommodationstraining

Der Erfolg eines Akkommodationstrainings bei Akkommodationsinsuffizienz, -exzess und -unfähigkeit hat einen bemerkenswerten wissenschaftlichen Hintergrund. Studien zeigen (z.B. Randall, 1951; Marg, 1970; Cornsweet, 1975; Provine, 1973), dass die Akkommodation, obwohl sie vegetativ innerviert wird, auch auf willentliche Kommandos reagiert und dabei konditioniert werden kann. Es besteht also die Möglichkeit, willentliche Akkommodation zu kontrollieren, zu trainieren und auf den allgemeinen Sehprozess zu übertragen.

In diesem Zusammenhang konnte Wold et al. (1978) an 100 Kindern demonstrieren, dass *VT* in 80% die Akkommodationsbreite und 76% die Akkommodationsdynamik enorm zu verbessern vermochte. Ähnliche Ergebnisse erzielten Hoffman und Cohen (1973), als sie die Akkommodationsinsuffizienz und -unfähigkeit von 70 Patienten erfolgreich behandelten.

Liu et al. (1979) untersuchten die Akkommodationsdynamik mittels einer objektiven Labormessvorrichtung (dynamisches Optometer mit Infrarot Photomultiplikator). Jugendliche, die über Unschärfen bei Blick- und Entfernungswechsel klagten, wurden mit für diese Symptome typischen VT-Übungen trainiert. So konnte objektiv nachgewiesen werden, dass signifikante Verbesserungen in der Flexibilität der Akkommodation erreicht und weitere Beschwerden reduziert wurden. Bobier und Sivak (1983) reproduzierten diese Versuchsanordnung bei ähnlichem Erfolg. Sie konnten bis zu 18 Wochen nach Abschluss des Trainings keinen Rückgang der optimierten Werte feststellen. Suchoff und Petito (1986) haben zusammengefasst, dass das Binokularsehen nur normgerecht arbeiten kann, wenn gleichzeitig das vergenzbeeinflussende akkommodative System optimiert wird. Nur so können Vergenzbreiten durch Training erhöht und der Sensorische Status verbessert werden. Mit dieser Aussage lässt sich begründen, warum beim Visualtraining stets alle Funktionen trainiert werden. Sobald jedoch kein Akkommodationsproblem vorliegt, werden bzgl. der Akkommodation nur wenige Übungen angeboten.

Augenkoordination, Ausrichtung und Fusion

Daum (1984) untersuchte 110 Probanden mit Konvergenzinsuffizienz. Er erzielte statistisch signifikante Verbesserungen im Konvergenzvermögen und in der Reduktion der Beschwerden. Diese Verbesserungen bestanden entsprechend einer kleineren Studie von 35 Probanden (1982) auch noch 24 Wochen nach dem Training.

Wold (1978) berichtete über 100 Kinder, die Visualtraining erhielten, um ihre Fusionsfähigkeit zu verbessern. Auf klinischen Standardtests basierend konnte eine Erfolgsrate von 96% für die Fusionsfähigkeit und 75% für die fusionale Vergenzbreite ermittelt werden.

Wittenberg et al (1969) benutzte leicht abweichende Techniken im Training. So demonstrierte er, dass der Stereopsis-Schwellenwert sogar bei unauffälligen Probanden verbessert werden konnte. In Dalziel's Studie (1973) wurde eine statistisch signifikante Verbesserung in der Stereopsis nach abgeschlossenem Visualtraining errechnet.

VT hat sich ebenso erfolgreich in der Behandlung von Strabismen erwiesen. Bei dieser Kondition, bei der die Fusion wesentlich schlechter als bei den Phorien ausgeprägt ist, liegen oft auch sensorische Anomalien, wie z.B. Anomale Retinale Korrespondenz (ARC) vor. Nach Floms Kriterien der funktionalen Heilung (*functional cure*¹) erreichte Etting (1978) bei konstantem Strabismus generell eine Erfolgsquote von 65% (57% bei Esotropien und 82% bei Exotropien), bei intermittierendem Strabismus 89% (100% der Esotropen und 85% der Exotropen). Bei Strabismen mit normaler retinaler Korrespondenz erzielte er sogar eine Erfolgsquote von 91 %. Innerhalb einer Studie von Kertesz und Kertesz (1986) wurde nachgewiesen, dass der Behandlungserfolg bei 74% von 57 Probanden mit Strabismus noch nach 5 Jahren anhielt.

¹ **Floms Kriterien:**

1. einfaches und klares Binokularsehen in allen Entfernungen und Blickrichtungen
2. vorhandene Stereopsis und normgerechte Vergenzbreiten
3. Augenfehlstellung wird nur in 1% der Zeit sichtbar und geht mit Diplopie einher
4. maximal 5^{cm}/m werden zur Fusion benötigt

Okulomotorische Funktionen

Optimale okulomotorische Funktionen liegen im visuellen System immer dann vor, wenn ein Objekt binokular zentral abgebildet wird und akkurate Augenbewegungen diese Kondition beim verfolgen des Objektes aufrechterhalten können. Die Komponenten des okulomotorischen Systems umfassen die Fixation, Folgebewegungen, Sakkaden sowie vestibulare und optokinetische Bewegungen.

Wold et al (1978) nutzte zur Beurteilung von Augenfolgebewegungen und Sakkaden die Heinsen-Schrock-Leistungsskala (eine Bewertungsskala, in der 10 Punkte zur Ausführung von Augenbewegungen evaluiert werden müssen). Von 100 untersuchten Kindern bestanden vor dem VT nur 6% diese Beurteilung. Nach abgeschlossener Therapie hingegen waren es 96%.

Fujimoto et al (1985) verglich verschiedene Sakkaden-Fixations-Techniken. Innerhalb einer kontrollierten Studie zeigten sich im Vergleich zur Kontrollgruppe statistisch signifikante Verbesserungen bezüglich der Geschwindigkeit und Akkuratessse der Augenbewegungen.

Eine weitere kontrollierte Studie wurde von Busy (1985) erstellt. Auch in dieser Studie konnten statistisch signifikante Verbesserungen von Augenfolgebewegungen ermittelt werden, die selbst nach einer dreimonatigen Nachkontrolle noch bestanden.

Ciufredda et al (1982) konnte mit seiner Studie eine signifikante Reduktion in der Amplitude und der Geschwindigkeit von Augenbewegungen bei kongenitalem Nystagmus demonstrieren.

4.1.2 Effektivität für Konvergenzexzess (KE/ CE)

Es ist allgemein bekannt, dass Divergenzbreiten schwerer zu trainieren sind als Konvergenzbreiten. Daher ist VT nach der Lesebrillenkorrektion nur die sekundäre Behandlungsstrategie eines Konvergenzexzesses. Aus diesem Grund sind nur wenige Studien zur Effizienz einer Therapie diesbezüglich erhältlich. Gallaway und Scheiman untersuchten die Effizienz von VT bei der Behandlung von Nahesophorien (Konvergenzexzessen). Innerhalb dieser Untersuchung konnte an 83 Patienten (Alter zwischen 9-32, davon nur 7 älter als 17 Jahre) bewiesen werden, dass durch ein sehr ausgefeiltes kontrolliertes "*In-Office-Training*" in 84% dieser Fälle alle Symptome der Betroffenen eliminiert und bei 12% reduziert werden konnten. Außerdem gelang es, direkte und indirekte Divergenzbreiten klinisch signifikant zu erhöhen.

Die Patienten wurden nur dann in die Studie aufgenommen, wenn sie typische Kriterien des KE zeigten (Naheso mindestens $3^{\text{cm}}/\text{m}$, Nah-Ferndifferenz der Heterophorie $\geq 3^{\text{cm}}/\text{m}$, reduzierte Divergenzbreite in der Nähe $\leq 7^{\text{cm}}/\text{m}$) und den Anweisungen der Therapie optimal folgten (*good compliance*). Das VT-Programm umfasste die typischen von Scheiman & Wick favorisierten Inhalte:

Übungen

Divergenzhalteübungen, Divergenzsprungübungen, monokulare und binokulare Akkommodationsflipperübungen (Akkommodationsdynamik angesprochen)

Instrumente

Brockschnur, Vektogramme, Tranaglyphen, *Aperture Rule*, Exzentrische Ringe, Prismen, optische Gläser, Stereogramme und *Computer Random-Dot*-Programme

Trainingsaufbau

Vergenzhalteübungen mit großen peripheren Objekten, danach Vergenzsprungübungen, zum Schluss Akkommodations-Vergenzkombinationsübungen mit kleinen diffizilen Objekten

Trainingsumfang

einmal pro Woche 45min in der optometrischen Praxis, an 3-4 Tagen pro Woche jeweils 15min allein zu Hause

Trainingsabschluss

wenn Patienten die Exzentrischen Ringe und den +2,0/ -2,0dpt Flipper mit Leichtigkeit ausführen konnten oder sich der Status 3-4 Wochen lang nicht änderte

Die durchschnittliche Zeit, die für den Abschluss des Trainings in Anspruch genommen wurde betrug 18,5 Wochen (Spanne: 9-32 Wochen). Statistisch signifikante Ergebnisse wurden mit den Verbesserungen von Bi Nebelpunkt, Ba und Bi Abreiß- sowie Wiedervereinigungspunkt als auch in der binokularen Akkommodationdynamik erzielt. Die *Covertest*ergebnisse änderten sich nach dem Training nur unbedeutend. 3 Probanden reduzierten ihre Esoheterophorie um $3\text{cm}/\text{m}$. 3 andere Teilnehmer erhöhten sie um ca. $3\text{cm}/\text{m}$, da sich infolge des Training ein latenter Hyperopietonus löste. Die Refraktion wurde bei jeweils 6 Hyperopen und 6 Myopen um mindestens 0,25 dpt reduziert. Patienten mit hohen Esophorien ($> 8\text{cm}/\text{m}$) konnten ihre Divergenzbreiten auf die gleiche Ebene anheben, jedoch fielen ihre *BAF*-Ergebnisse (Binokulare Akkommodationsdynamik) aufgrund sehr hoher *AC/A*-Ergebnisse niedriger aus. Patienten, die zuvor eine Addition für die Nähe erhalten hatten, zeigten keine signifikant besseren oder aber schnelleren Ergebnisse beim Trainingserfolg. Alle weiteren Ergebnisse können der Tabelle 4.1-1 entnommen werden.

Messwerte	Gruppe $3-5\text{cm}/\text{m}$, n = 45	Gruppe $6-8\text{cm}/\text{m}$, n = 27	Gruppe $>8\text{cm}/\text{m}$, n = 11	statistische Signifikanz
Bi Abreißpunkt vorher	9,27	8,11	5,90	
Bi Abreißpunkt danach	15,65	16,00	17,00	
Differenz	6,38¹	7,89	11,10¹	4,75, p < 0,01
Bi Wiedervereinig. vorher	4,53	2,27	0,81	
Bi Wiedervereinig. danach	12,13	9,82	14,00	
Differenz	7,60	7,55²	13,19^{1,2}	5,81, p < 0,01
<i>BAF</i> vorher	1,87	1,65	0	
<i>BAF</i> danach	11,43	7,16	6,10	
Differenz	9,58²	5,57²	6,10	4,26, p < 0,017
Keine Symptome	87%	81%	82%	
¹ signifikanter Unterschied existierte mit 0,01 Irrtumswahrscheinlichkeit (<i>Tukey Post-Hoc test</i>)				
² signifikanter Unterschied existierte mit 0,05 Irrtumswahrscheinlichkeit (<i>Tukey Post-Hoc test</i>)				

Tabelle 4.1-1

Diese Studie beweist, dass ein intensives Divergenztraining selbst bei Nahesophorien große Erfolge zeitigen kann [Galloway & Scheiman, 1997, S. 81-97].

Wick (Presbyopie)

Für 161 presbyope Probanden (Alter 45 – 89 Jahre) mit Asthenopien und Sehstörungen (*CI*) wurde Visualtraining verschrieben, das sie selbständig zu Hause absolvierten. In 92% der Fälle konnten Asthenopien eliminiert und Sehfunktionen verbessert werden. Die Probanden brauchten im Schnitt nur 10 Wochen (das längste Training dauerte 15 W.). Nach der 3 Monate später durchgeführten Nachkontrolle benötigte etwas weniger als die Hälfte der Probanden zusätzliches Training, um die Erfolge wiederherzustellen. Je älter die Patienten waren, desto eher bildeten sich optimierte Messwerte wieder zurück. Alle Probanden mit starken Symptomen zeigten vor dem Training steile $FD_{(USA)}$ -Kurven, die nur bei denjenigen, die erfolgreich behandelt wurden, danach deutlich abflachten. Dieses Phänomen wird der, durchs Training verbesserten, Vergenzadaptation zugeschrieben. Kap. 5.2 und 5.3 gehen auf diese Erscheinungen und auf deren Bedeutung vertiefend ein. Wick empfahl nach dieser Studie, *VT* nicht nur Kindern vorzubehalten, da ältere Menschen einem Training sehr viel intensiver und motivierter folgen können und die Beschwerden in 50% der Fälle innerhalb von ca. 10 Wochen effektiv abgestellt werden können [Wick, 1977, S.244-247].

4.2 Studien zur MKH-Korrektion

Ein wichtiges Anliegen dieser Diplomarbeit ist es, den Erfolg des deutschen Managements im Bereich nichtstrabismischer Binokularkonditionen nach den Kriterien des amerikanischen Systems zu beurteilen. Deshalb wurden in diesem Abschnitt Studien über die Effizienz der MKH zusammengetragen, die vor allem nach typisch amerikanischen Messmethoden Verbesserungen hinsichtlich der Reduktion von Symptomen und der Optimierung von Sehfunktionen aufzeigten.

Im praktischen Teil der Diplomarbeit sind ebenfalls MKH-Korrekturen nach einer 2monatigen Tragezeit entsprechend amerikanischer Gesichtspunkte evaluiert worden. Die folgenden Studien können später mit den eigenen Ergebnissen verglichen werden, um Fehlerquellen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufzudecken.

4.2.1 Cagnolati

Cagnolati untersuchte 1987 den Einfluss prismatischer Vollkorrekturen auf Sehfunktionen an 16 Probanden im Alter zwischen 20 und 70 Jahren, die eine $FD_{(D)}$ zeigten und asthenopische Beschwerden äußerten. Nach 4-6 Wochen binokularer Vollkorrektur wurde eine Nachkontrolle durchgeführt. Der Vergleich der Ergebnisse zeigte, dass 75% dieser Probanden ihre monokularen und binokularen Akkommodationsbreiten durchschnittlich um ca. 1,5 dpt gegenüber der Ausgangssituation verbessern konnten. 12% steigerten nur ihre binokularen Amplituden, 6,5% wiesen keine Verbesserungen auf und weitere 6,5% zeigten Rückgänge in den Messwerten.

Beim Vergleich der Stereopsisergebnisse zeigte sich, dass die versorgte Gruppe insgesamt ähnliche Messwertverteilungen aufwies, wie eine Kontrollgruppe, deren $AP_{(D)}$ vollmotorisch kompensiert wurde. 50% der Probanden verbesserten ihre Stereopsis in der Ferne, 43% in der Nähe und 18,75% verschlechterten sich.

Die Untersuchung der Vergenzbreiten ergab ebenfalls Verbesserungen. Konvergenzbreiten wurden ab $15^{cm}/m$ als normal eingestuft, Divergenzbreiten entsprachen mit $12^{cm}/m$ der Norm. Nach dieser Klassifizierung ergaben sich folgende Verteilungen:

Normale Vergenzbreiten	vorher in %	nachher in %
Bei Kon- und Divergenz	18,75	37,50
Bei Konvergenz	50,00	62,50
Bei Divergenz	25,00	43,75

Tabelle 4.2-1

Diese Ergebnisse ließen Cagnolati schlussfolgern, dass ein direkter Zusammenhang zwischen disparatem bzw. bizentralem Sehen und der Qualität von Sehfunktionen besteht. Er meinte, die Steuerung der Akkommodation hänge stark von der Arbeit zentraler Zapfen ab. Deshalb ist anzunehmen, dass sich bei Herstellung prismatisch bizentraler Abbildung und zugleich optimierter Tiefensehschärfe, ebenso die Vergenzbreiten und die Stereopsis verbessern lassen [Cagnolati, 1987, S. 157-164].

4.2.2 Lie und Opheim

Eine Norwegische Studie aus dem Jahre 1985 untersuchte nach subjektiven und objektiven Kriterien den Erfolg von MKH-Korrekturen bzgl. der Verbesserung visueller Sehfunktionen und der Reduktion von Asthenopien. Von 46 Teilnehmern waren 40 zwischen 10-18 Jahren alt, 6 dagegen zwischen 20-50. Sie alle hatten starke, bereits lang anhaltende Beschwerden, einige überdies Lese-probleme. Diese Einschränkungen wurden auf eine vorhandene $AP_{(D)}$ (von 46 Fällen: 36 Exo und 10 Eso) zurückgeführt. In den meisten Fällen war zusätzlich ein geringer Vertikalfehler und eine geringe Hyperopie vorhanden.

Nach den Kriterien der *OEP* wurden die Vergenzbreiten in Ferne und Nähe, die *NPC*, aber auch die positive und negative relative Akkommodation (*NRA/ PRA*) bestimmt. Zusätzlich wurden Suppressionen und Sehschärfen bei getragener prismatischer und sphärozyklindrischer Vollkorrektur untersucht. 80% der Probanden benötigten prismatische Nachkorrekturen, die jeweils vierteljährlich kontrolliert worden sind. Alle Korrekturen stabilisierten sich, dabei waren 76% der Korrekturen $<4^{cm}/m$, 20% zw. $4-12^{cm}/m$ und nur 2% $>12^{cm}/m$. Die Teilnehmer der Studie wurden nach einem Jahr in allen Funktionen erneut getestet. In Tab. 4.2-2 und 3 sind die Messergebnisse zusammengestellt, die durch den Einsatz von Prismen erzielt worden:

Sehfunktionen	Probanden innerhalb der Norm (in %)			Normen
	vor Behandlung	nach Behandlung	1 Jahr später	
<i>PRA</i>	60	91	92	\geq 2dpt
<i>NRA</i>	35	88	98	\geq 2dpt
<i>PFV</i> Nähe	33	95	98	\geq $15^{cm}/m$
<i>NFV</i> Nähe	67	97	98	\geq $12^{cm}/m$
<i>PFV</i> Ferne	2	58	72	\geq $15^{cm}/m$
<i>NFV</i> Ferne	6	65	98	\geq $6^{cm}/m$
<i>NPC</i>	40	100	100	\geq 5cm
Suppressionen	20	45	60	keine
Visus monokular	55	96	96	\geq 20/20
Visus binokular	60	100	100	\geq 20/20

[Lie & Opheim, 1985, S. 275]

Tabelle 4.2-2

Subjektive Beschwerden	vorher	danach	1 Jahr später
Diplopie	28	1	1
Unschärfen	31	1	1
Crowding	15	1	1
Unruhe des Seheindrucks	6	3	2
Unnormale Leseentfernung	11	2	1
Fixationsprobleme	5	1	2
Hemmungserscheinungen	5	0	0
Kopfschmerzen	32	2	3
Augenermüdung	43	9	7
Müdigkeit	25	7	6
Insgesamt:	192	27	24

[Lie & Opheim, 1985, S. 275]

Tabelle 4.2-3

Die Vergenzbreiten in der Ferne sowie die Hemmungserscheinungen verbesserten sich langsamer als andere Sehfunktionen. 7 Probanden zeigten disparate Korrespondenz, aber nur noch einer nach der Korrektur. Obwohl lediglich die Ferne korrigiert wurde, konnten eindeutig Nahsehstörungen verbessert werden. Die meisten Asthenopien wurden bereits innerhalb der Aufdeckphase reduziert, nur wenige Verbesserungen traten in diesem Bereich zwischen der Abschlussuntersuchung und der Kontrolluntersuchung nach einem Jahr auf. Weder Häufigkeit noch Stärke der geäußerten Beschwerden korrelierten mit der Höhe der verordneten Prismen.

Da auch geringe Fehler an Hyperopien mitkorrigiert wurden, sind eventuell nicht alle Verbesserungen ausschließlich auf die Prismen zurückzuführen.

Lie und Opheim schlussfolgerten, dass die MKH durch den Aufdeckungsprozess eines latent vorhandenen Muskeltonuses in der Lage ist, zentrale Suppressionen abzubauen (wenn auch mit nur 60% Normanteil nach 1 Jahr) und bizentrale Abbildung herzustellen. Daher können auch Nahprobleme und Beschwerden signifikant verbessert werden [Lie & Opheim, 1985, S. 272- 278].

Diese Studie zeigt eindeutig einen viel höheren Erfolg als die Auswertung der Messergebnisse des praktischen Teils dieser Arbeit. Zwei Gründe sprechen für signifikante auslösende Ursachen:

1. 87% der Probanden waren maximal 18 Jahre alt, d.h. die binokulare Entwicklung war noch nicht vollständig abgeschlossen und tiefe sensorische Anomalien können noch nicht als verfestigt gelten.
2. Die Probanden wurden 1 Jahr nach Herstellung einer stabilen Korrektur auf Verbesserungen der Einstellmechanismen geprüft. In der vorliegenden Arbeit konnte aus Zeitgründen in keinem der Fälle eine stabile Korrektur durch die erste Untersuchung gefunden werden. Außerdem hatte sich in der Mehrzahl der Fälle nach 2 Monaten Tragezeit Tonus gelöst, der zu einem Drittel der $AP_{(D)}$ -Größe entsprach.

4.2.3 Methling

Die folgende Studie stellt Zusammenhänge zwischen Binokularsehen, arbeitsbedingten Sehanforderungen und Sehbeschwerden heraus. 1983 untersuchten hierzu 7 qualifizierte Augenoptiker aus unterschiedlichen Regionen der damaligen DDR insgesamt ca. 3500 Menschen aller Altersstufen (25% unter 40 Jahren) nach einheitlichen Richtlinien. Die Untersuchungen zur Studie umfassten ausführliche Anamnesen (zu Person, subjektiven Beschwerden, ärztlichen Behandlungen, Krankheiten und Arbeitsbedingungen), optometrische Befunde (sphärozyklindrische Korrektur, $AP_{(D)}$)

mittels MKH, Vergenzbreiten und Visus), Tragedauer der abgegebenen Korrektur, Änderungen der Beschwerden und optometrische Befunde nach 1 Jahr Vollkorrektur.

Folgende Ergebnisse dieser Untersuchung waren relevant für diese Diplomarbeit:

Unmittelbar nach der MKH:

Im Vergleich zum binokularen Visus ohne Prismen hatten 25% aller Probanden mit AP_(D) (ca. 1925) nach der binokularen Augenprüfung einen spontanen Visusanstieg von mehr als 20%. Es gaben 60% an, die Korrektur als sehr positiv zu empfinden.

Änderungen der prismatischen Werte:

Bei 60% der Studienteilnehmer wurde keine Prismenerhöhung bzw. sogar eine Prismenabnahme festgestellt. Würde man alle Fälle einschließen, die nur eine Erhöhung von 1^{cm}/m zeigten, so gab es bei 70% der Fälle keine nennenswerte Messwertsteigerung. 25-30% mussten bis zu 2^{cm}/m nachkorrigiert werden und 2% wiesen eine Erhöhung >2^{cm}/m auf. Bei 70% wurden keine Veränderungen der vertikalen Werte, bei 15% eine Verringerung, bei 5% ein Anstieg <1^{cm}/m und bei 7-9% ein Anstieg bis zu 2^{cm}/m festgestellt. Es gab keine Zunahmen vertikaler Prismenwerte >5^{cm}/m.

Nachkontrolle ein Jahr darauf:

Bei 63% der Teilnehmer konnten Beschwerden reduziert werden, bei 7% stiegen sie an und bei 30% lagen keine Angaben vor. Probanden, denen zuvor keine Beschwerden bewusst waren, äußerten zu 75% eine positive Auswirkung der Brille in Hinblick auf komfortableres Sehen. 2,5% sahen dagegen keine Veränderungen und bei 24% lagen keine Angaben vor.

Vergenzvermögen:

Methling konnte, gleichlautend mit verschiedenen Berichten aus der amerikanischen Literatur, feststellen, dass das Divergenzvermögen mit dem Alter abnimmt. 10% aller Probanden zeigten ein stark reduziertes Divergenzvermögen $\leq 3^{cm}/m$. Leider ist nicht vermerkt, ob es sich um Nah- oder Fernmesswerte handelte und welche Kriterien zur Beurteilung der Veränderungen benutzt wurden.

In der Tabelle 4.2-4 sind die Veränderungen der Messwerte nach 1 Jahr MKH-Vollkorrektur aufgeführt.

Richtung	keine Änderung	Zunahme	Abnahme
Konvergenz	65 – 70%	20%	2%
Divergenz	75 – 80%	10%	

Tabelle 4.2-4

Refraktionsänderungen:

40-50% der Probanden zeigten keine Änderung in der Refraktion, bei 15% konnten Abnahmen, bei 35-40% der Fälle allerdings Zunahmen verzeichnet werden. Die Quote an Zunahmen könnte mit der hohen Anzahl an Hyperopien (67%) begründet werden, die eventuell latente Anteile besaßen, welche sich mit der getragenen Korrektur lösen konnten. 98% der Verschlechterungen waren kleiner als 1dpt.

Zusammenhang zwischen Beschwerden und Arbeitsbedingungen:

Von allen untersuchten Probanden waren 80% im erwerbsfähigen Alter. Etwa 50% dieser Gruppe hatten schon zur damaligen Zeit (1982/83) Tätigkeiten mit vornehmlicher Naharbeit zu verrichten, 80% davon mit mittleren Sehanforderungen (Büroarbeit, Lesetätigkeit), 10% dagegen mit hohen (diffizile Arbeiten: Leiterplatten, technisches Zeichnen).

Für Frauen, die im Allgemeinen doppelt so häufig wie Männer an Asthenopien leiden, konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen steigenden Sehanforderungen und einer relativen Erhöhung von Beschwerden aufgedeckt werden. [Methling, 1983, S. 34- 42].

4.3 Zusammenfassung

Im Kap. 4.1 und 4.2 konnten Studien zusammengetragen werden, die beweisen, dass sowohl MKH, als auch *VT*, Sehfunktionen signifikant verbessern können. *VT* und MKH-Korrekturen zeigten bei über 80% der Betroffenen Erfolge in der Reduktion von Beschwerden, zu einem noch größeren Anteil konnten Sehfunktionen, wie z.B. Vergenz- und Akkommodationsbreiten, *NPC*, Stereopsis und Hemmungen verbessert bzw. gelöst werden.

Die Lie & Opheim-Studie beweist, dass MKH-Prismen bei konsequenter Nachkorrektur sich lösender latenter Anteile der $AP_{(D)}$, sogar defizitäre Sehfunktionen, wie die negative und positive relative Akkommodation (*NRA/ PRA*), in die Norm anheben konnten. *NRA/ PRA*-Messwerte geben Auskunft über das Zusammenspiel von Akkommodation und Vergenz. Sie sind Voraussetzung für *BAF*-Werte (binokulare Akkommodationsdynamik mit ± 2 dpt), welche über die rein statischen Werte dieser Verbindungen hinaus, Auskunft über die Dynamik erteilen. Gallaway & Scheiman konnten die dynamischen Funktionen sogar in schwierigen Fällen von Konvergenzexzess durchs Training deutlich verbessern.

Interessant scheint auch, dass Wittenberg sogar in einer unauffälligen (*normal*) Probandengruppe Stereopsiswerte anheben konnte. Leider gehen aber aus der oben angeführten *AOA* Studie keine Auskünfte hervor, die Rückschlüsse auf die Größe der als *normal* bezeichneten Stereopsiswerte zulassen.

Wenn *VT* sogar Erfolg bei der Therapie einer anomalen retinalen Korrespondenz (*ARC*) in Fällen von Strabismus zeigt, so ließe dies vermuten, dass ebenso disparate Korrespondenzen "wegtrainiert" werden könnten. Diese Annahme wird noch wahrscheinlicher, wenn man die gesammelten Beweise für die Verbesserung von Augenfolgebewegungen, Sakkaden und Fixationen durch *VT* in Betracht zieht. Diese Funktionen werden nach deutscher Theorie, wie auch die Lie & Opheim-Studie beweist, ebenso durch Herstellungen bizentraler Abbildung und Korrespondenz optimiert.

Aus all diesen Ergebnissen lässt sich schlussfolgernd vermuten, dass sowohl *VT*, als auch MKH-Prismen in ihrer Wirkung gleiche Mechanismen ansprechen und nachhaltig verbessern können.

Aus den genannten Studien geht jedoch nicht hervor, inwiefern MKH-Prismen den $FD_{(USA)}$ -Kurventyp und den Verlauf beeinflussen. $FD_{(USA)}$ -Kurven haben, wie in Kap. 5.2.6 näher erläutert, eine hohe Aussagekraft bei der Vorherbestimmung von Beschwerden und der Beurteilung eines *VT*-Erfolges (Kurven flachen ab).

Auch liegen noch keine Studienergebnisse darüber vor, ob MKH-Prismen dynamische Aspekte, wie *BAF*, *MAF* und *VF* beeinflussen können.

Ebenso konnten keine amerikanischen oder deutschen Studien gefunden werden, die dokumentieren, in welcher Weise *VT* das Stadium einer $AP_{(D)}$ beeinflussen kann, d.h. inwiefern sich Polatesterscheinungen vor und nach dem Training verändern.

Die noch fehlenden Informationen sollen durch die Auswertung der praktischen Untersuchung (Kap. 6) ergänzt werden.

Methlings Studie hat durch ihren enormen Umfang große Aussagekraft in der positiven Bewertung der MKH-Korrekturen. Im Gegensatz zur Lie & Opheim-Studie konnten Vergenzbreiten nur bedingt optimiert werden. Man kann vermuten, dass eine Ursache für diese Differenzen die Verteilung der Altersstruktur sein könnte. Lie & Opheim korrigierten vor allem Jugendliche unter 18 Jahren und Methling überwiegend Presbyope. Haase hat immer wieder darauf hingewiesen, dass bei älteren Menschen zunehmend Dekompensationszustände verfestigt sein können. Deshalb lassen sich eventuell auch die Sehfunktionen im Alter nur noch bedingt durch Prismen anheben [Haase, 1995, S. 30]. Die Wick-Studie zeigt zwar, dass Sehfunktionen durch *VT* im Alter verbessert werden können, diese sich jedoch bei ca. 50% seiner Probanden wieder leicht zurückbildeten. Auch dieses Ergebnis deutet nur eine geringere Formbarkeit des visuellen Systems bei verfestigten Strukturen an.

Unterschiede bestehen in der Angabe bezüglich der Anzahl notwendiger Nachkorrekturen. Während Lie & Opheim 80% ihrer Probanden nachkorrigieren mussten, stellte Methling nur bei 30-40% einen Prismenwertanstieg fest. Vielleicht zeigen sich hier ebenfalls altersbedingte Unterschiede in der Ausprägung der jeweiligen $AP_{(D)}$. In jungen Jahren wird die $AP_{(D)}$ nach Haase noch eher motorisch kompensiert. In dieser Form kommt Tonusbildung häufig vor. Bei älteren Menschen könnte der Tonus entweder verfestigter sein, oder aber die Motorik und somit auch der angenommene Tonus wurde durch Dekompensation ersetzt. Leider enthalten weder die Studien von Lie & Opheim, noch die von Methling Angaben darüber, welche $AP_{(D)}$ -Konditionen in der Mehrheit vorlagen. Eine weitere Ursache könnte darin zu sehen sein, dass Lie & Opheim schwierige Spezialfälle betreuten. Besonders Asthenopien spielten hier eine bedeutende Rolle. Man könnte daher wiederum auf eine hohe Anzahl von Fällen mit motorischem Anteil einer $AP_{(D)}$ schließen. Im Gegensatz hierzu untersuchten die Augenoptiker innerhalb Methlings Studie einen realen Schnitt der damaligen optometrisch zu versorgenden Bevölkerungsstruktur, die sich größtenteils aus Presbyopen zusammensetzte.

Dieselbe Studie gibt auch Aufschluss darüber, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen hohen Sehanforderungen (Naharbeit) und $AP_{(D)}$ -bedingten Beschwerden gibt. Diese Behauptung könnte die These der *OEP*-Philosophie stützen, die da besagt, dass Naharbeit verbunden mit geistiger Anstrengung möglicherweise Phorien erzeugt (siehe Kap. 5.5). Es ist ebenso denkbar, dass dieser Zusammenhang schlicht darauf zurückzuführen ist, dass Menschen mit Heterophorien durch Energieverlust bei visueller Belastung eher Symptome zeigen, als bei normalen Sehanforderungen.

5. Wesentliche amerikanische Theorien und Hintergründe

5.1 Einleitung

Die Auswertung der praktischen Untersuchungsergebnisse erforderte eine tiefgründige Recherche vier wesentlicher amerikanischer Theorien.

Hierzu gehört vor allem der theoretische Hintergrund der amerikanischen Fixationsdisparations-Kurvenmessung ($FD_{(USA)}$ -Kurvenmessung). Neben den $FD_{(USA)}$ - und $AP_{(USA)}$ -Werten, werden von amerikanischen Optometristen vor allem diese Kurven nach Form und Verlauf analysiert. Sie liefern wichtige Informationen zur Flexibilität des visuellen Systems, zum Auftreten asthenopischer Beschwerden und zu Erfolgsaussichten sowie Ergebnissen von Korrekturen bzw. Visualtraining. Desweiteren wird die amerikanische Literatur zum Thema Vergenz- bzw. Prismenadaptation kritisch analysiert. In den Ausführungen vieler amerikanischer Optometristen wird behauptet, dass Prismenkorrekturen einen Anstieg der Korrekturwerte bedingen, welcher die Betroffenen nach einer gewissen Tragezeit häufig in eine Schieloperation treiben würde. Aus deutscher Sicht löst sich jedoch nur Muskeltonus, der diesen Korrekturwertanstieg verursacht und als Aufdeckungsprozess einer latenten $AP_{(D)}$ verstanden wird. Beide Theorien sowie Hintergründe für die Annahmen sollen hier untersucht werden.

Wesentliche Unterschiede im amerikanischen Managementsystem basieren auf der Annahme, das Sehen sei ein dynamischer Prozess. Diese Flexibilität wird demnach durch Akkommodation- und Vergenz-Interaktionen aufrechterhalten. Im Kap. 5.4 werden die Theorien zu Wirkungsweisen und mögliche Störungen dieser Interaktionen und deren praktische Bedeutung aufgeführt.

Am Ende des vorliegenden Kapitels werden mögliche Ursachen zur Entstehung von Defiziten im nichtstrabismischen Binokularsehen im Zusammenhang mit wesentlichen Philosophien der Verhaltensoptometristen dargestellt. Diese suchen die Ursache neben zufälligen biologischen Variationen und anatomischen sowie physiologischen Einflüssen vor allem in umweltbedingten Faktoren.

5.2 Amerikanische FD-Messungen

5.2.1 Einführung

Im Kapitel 2 wurden amerikanische und deutsche Begriffsdefinitionen zum Thema Fixationsdisparation und assoziierte Phorie miteinander verglichen und Unterschiede herausgestellt. Demnach wird in beiden Systemen zwar der Begriff FD gleich definiert, trotzdem gibt es in der Interpretation dieser Kondition und ihrer Erscheinungsform grobe Differenzen, deren Ursachen in der Anwendung sehr unterschiedlicher Messmethoden und -strategien zu suchen sind.

Im folgenden Kapitel werden amerikanische Auffassungen zur *fixation disparity* aufgeführt. Außerdem werden gängige amerikanische Messgeräte, Untersuchungs-, Diagnose- und Korrekturmethode, sowie Größen und beeinflussende Faktoren der $FD_{(USA)}$ vorgestellt. Am Ende sollen Vor-

und Nachteile von amerikanischen FD -Messungen diskutiert werden, wobei sowohl Haases Argumente als auch der allgemeine Wissensstand der MKH mit einfließen sollen. Aufgrund von Differenzen in Messmethoden und Interpretationen einer $FD_{(USA)}$ und $AP_{(USA)}$, gegenüber einer $FD_{(D)}$ und $AP_{(D)}$ sind die Hintergründe der stark abweichenden Diagnose- und Therapiestrategien für das jeweils andere System nur schwer erkennbar. Anliegen dieses Kapitels ist es, die Ursachen für diese Unterschiede zu beleuchten und so Grundlagen für das Verständnis zwischen der amerikanischen und der deutschen Optometrie herauszuarbeiten.

5.2.2 $FD_{(USA)}$ -Messung und Messgeräte

Messmethoden

Eine $FD_{(USA)}$ wird mittels Auswanderungstesten bestimmt. Das hierzu verwendete $FD_{(USA)}$ -Messgerät enthält ein binokulares Fusionsobjekt, das meist aus einem Paar zueinander ausgerichteter polarisierter Vernierlinien besteht. Jede Linie wird durch die Polarisation von nur einem Auge wahrgenommen. Die Größe der Auswanderung unter Polarisation bestimmt jeweils die Größe der $FD_{(USA)}$. In Kap. 2.9 wurde auf die hier vorliegenden Interpretationsunterschiede bereits eingegangen. Eine Auswanderungsmessung an einem amerikanischen FD -Test kann nach deutscher Auffassung nicht eindeutig die Höhe einer FD bestimmen. Zusätzlich zur $FD_{(USA)}$ ohne prismatische Wirkung werden $FD_{(USA)}$ -Werte bei induzierten Vergenzstellungen bestimmt und in ein Diagramm eingetragen. Man nennt dieses Diagramm *forced vergence fixation disparity curve* (kurz $FD_{(USA)}$ -Kurve).

Bei der horizontalen $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessung werden abwechselnd Prismen Basis außen und Basis innen, in ca. $3,0\text{cm}/\text{m}$ -Schritten max. 30 s lang vorgehalten. Bei vertikaler Messung werden die meisten Teste um 90° gedreht, wenn nicht bereits ein zusätzlicher Test mit horizontalen Vernierlinien enthalten ist (z.B. *disparometer*). Man setzt hier abwechselnd Prismen Basis oben und Basis unten in $0,5\text{cm}/\text{m}$ -Schritten vor ein Auge. Der Proband beobachtet währenddessen den durch induzierten Vergenzbedarf veränderten Abstand der Noniuslinien. Der Abstand der beiden Linien wird als *fixation disparity* in Winkelminuten auf der y-Achse eines Diagramms eingetragen, die Höhe des jeweiligen Prismas in cm/m auf der x-Achse. In

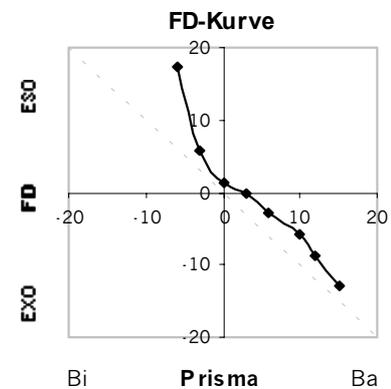


Abbildung 5.2-1

dieser kurzen Dokumentationszeit kann der Proband sich kurz von den Vergenzanforderungen erholen. Danach sollten die Vernierlinien wieder ihre ursprüngliche Position eingenommen haben. Wären sie nach einer Messung verschoben, so würde dieser Vorgang als Vergenzadaptation (Tonusbildung) interpretiert werden. In diesem Fall muss die Messung solange unterbrochen werden bis der ursprüngliche Wert wiederhergestellt ist. Einige Anwender lassen nach jeder Messung, während sie die Messwerte notieren, den Patienten kurzzeitig die Augen schließen. Aus Kap. 5.3.1 geht jedoch hervor, dass sich bei geschlossenen Augen der Vergenztonus langsamer löst als bei offenen Augen. Daher fixierten alle Probanden innerhalb dieser Diplomarbeit während der kurzen Messpausen weiterhin den $FD_{(USA)}$ -Test. Der Schnittpunkt der Kurve mit der y-Achse gibt Auskunft über die Höhe

der $FD_{(USA)}$ und der Schnittpunkt mit der x-Achse symbolisiert die $AP_{(USA)}$. Sie entspricht damit dem Wert des Prismas, das eine vorhandene $FD_{(USA)}$ auf Null reduziert. Die Kurvenform gibt Auskunft über das Fusionsvermögen (siehe 5.2.3).

Die $FD_{(USA)}$ lässt sich auch durch sphärische Gläser verändern. Dabei werden in gleicher Weise, anstelle der Prismen, abwechselnd in 0,5 -1,0 dpt-Schritten Plus- und Minusgläser vorgehalten. Die ermittelte Kurve kann dann zusätzlich zu den Prismenmesswerten in das vorhandene Diagramm eingetragen werden, die Pluswerte auf der linken und die Minuswerte auf der rechten Seite der x-Achse. Plus erzeugt (wie Ba) durch akkommodative Vergenz einen zusätzlichen fusionalen Konvergenz-, Minus (wie Bi) einen Divergenzaufwand. Die beiden Kurven geben zusammen Auskunft über AC/A und CA/C - Interaktionen und werden zur Verschreibung von Additionen für Prepresbyope angewandt [Scheiman & Wick, 1994, S.451].

Messgeräte

$FD_{(USA)}$ -Messgeräte sind nicht standardisiert. Einige enthalten nur periphere Fusionsreize und zeigen daher ähnlich wie der Polatest motorische Komponenten einer $AP_{(D)}$ an. Diese jedoch wird ebenfalls als $FD_{(USA)}$ der äußeren Panumbereiche gewertet. Einige Teste enthalten zusätzlich zu den peripheren Fusionsobjekten zentrale Fusionsreize und messen daher, ähnlich wie der Zeigertest $FD_{(D)}$ I - und $FD_{(D)}$ II/1-Anteile.

Instrumente wie das *Disparometer* und die *Wesson fixation disparity card* (*Wesson Card*) liefern die direkte Größe einer $FD_{(USA)}$ für Messungen in der Nähe, die *Woolf Card* für die Ferne.

Teste wie die *Mallett Unit*, *American Optical vectographic target*, *Borish nearpoint chart*, *Bernell nearpoint analysis slide* ermitteln nur die $AP_{(USA)}$ [Wesson, 1983, S.48].

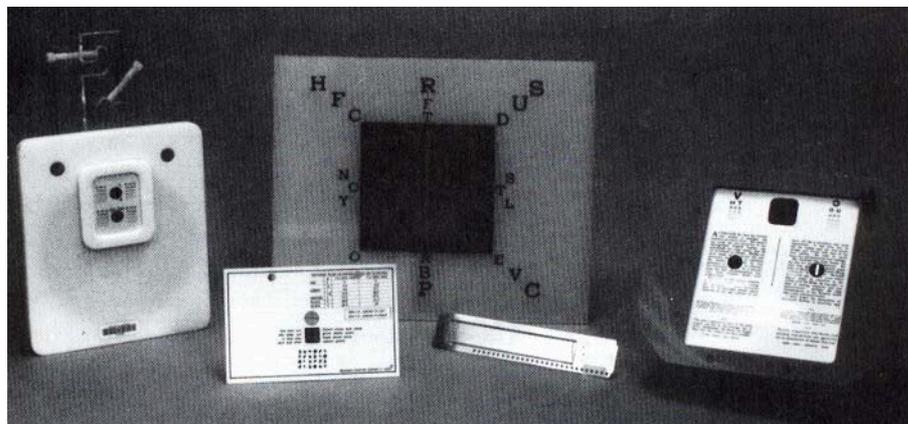


Abb. 5.2-2: von links nach rechts: *Disparometer*, *Wesson Card*, *Woolf Card*, *AO Vectographic Slide*, *Mallett Unit* [Scheimann & Wick, 1994, S. 413]

Im Folgenden sollen drei relevante Teste (*Wesson Card*, *Woolf Card* und *Mallett Unit*) in Aufbau und Funktionsweise kritisch untersucht werden. Die *Woolf Card* und die *Wesson Card* wurden für die amerikanischen Untersuchungen der Probanden dieser Diplomarbeit verwendet, welche später, im Kap. 6.4 ausgewertet werden. Die *Mallett Unit* fand in vielen Vergenzadaptationsstudien Anwendung und ist daher ebenfalls interessant für diese Arbeit.

Woolf Card

Dieser $FD_{(USA)}$ -Test wurde von Wick für Messungen in einer Entfernung von 6m konstruiert. Abb. 5.2-3 zeigt den prinzipiellen Aufbau für horizontale Messungen. Für vertikale Messungen wird der Test um 90° im Uhrzeigersinn gedreht. In einem schwarzen, von hinten beleuchteten Quadrat wurden Skala, Pfeil und horizontale Balken ausgespart. Die Schwarz-Weiß-Kante des Quadrates sorgt für einen starken peripheren Fusionsreiz in ca. $1,5^\circ$.

Die Funktionsweise der Bildtrennung entspricht der oben beschriebenen. Der mittlere Balken wirkt für beide Augen unpolarisiert als vertikale Fusionsverriegelung (*fusion lock*). Der Abstand der Noniuslinien innerhalb der Skala soll auf die Messentfernung 10 Winkelminuten betragen. Die Probanden dieser Diplomarbeit konnten jedoch den Abstand der Linien kaum beurteilen, daher wurde die Messdistanz auf 4,6m verkürzt. Es stellte sich heraus, dass nur in dieser verkürzten Entfernung auch wirklich die gewünschten Gradzahlen, die eigentlich in 6m Entfernung erreicht werden sollten, vorlagen. Die Tabelle 1 gibt Auskunft über Fusionsreize in dieser Entfernung. Unterhalb der Skala wurden Buchstaben zur linken Seite (Exo) und Zahlen zur rechten Seite (Eso) angegeben. So können Verwechslungen von rechts und links vermieden werden [Wick, 1985, S.593]

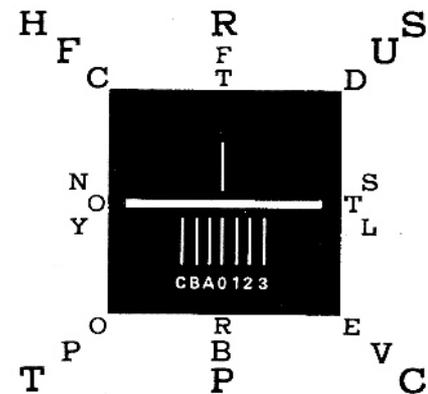


Abbildung: 5.2-3: Woolf Card
[Wick, 1984, S.533]

Unterhalb der Skala wurden Buchstaben zur linken Seite (Exo) und Zahlen zur rechten Seite (Eso) angegeben. So können Verwechslungen von rechts und links vermieden werden [Wick, 1985, S.593]

Abmaße der Testbestandteile

$FD_{(USA)}$ -Test	Distanz	Fusionsreiz	Buchstaben in Peripherie	Noniusabstand Skala	Abstand Vernierlinien	Vertikale Verriegelung
<i>Woolf Card</i>	4,6m	$1,57^\circ$	$3,37^\circ$	5,73'	10,84'	3,36'
	6,0m	$1,19^\circ$	$2,86^\circ$	4,39'	8,31'	2,58'
<i>Wesson Card</i>	25cm	$2,52^\circ$	$16,6^\circ$	13,70'	13,70'	keine
	40cm	$1,58^\circ$	$10,6^\circ$	8,60'	8,60'	keine

Tabelle 5.2-1

Wesson Card

Die *Wesson Card* wurde von Michael Wesson für den Nahgebrauch in 25cm und 40cm Abstand entwickelt, obwohl sich je nach Messdistanz die Größe der Fusionsreize verändern. Sie sollte eine sinnvolle Alternative, zum *Disparometer* bilden. Im Gegensatz zum *Disparometer* sollte sie auch ohne Hilfe eines Phoropters die Nah- $FD_{(USA)}$ -Messung gewährleisten und durch ihr Postkartenformat leicht zu transportieren sein. Sie erfüllt damit wesentliche Voraussetzungen für eine flexiblere Anwendung. Die Tabelle 5.2-1 enthält alle relevanten Masse und Abb.5.2-4 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Der große Unterschied zur *Woolf Card* besteht darin, dass sie keine vertikale Verriegelung bei horizontalen Messungen bzw. keine horizontale Verriegelung bei vertikalen Messungen enthält. Im Gegensatz zur *Woolf Card* und zum *Disparometer* wurden hier keine hell durchscheinenden Linien polarisiert, sondern sowohl die farbig gestaltete Skala als auch der einzelne schwarze Pfeil auf weißem Grund mit jeweils einem polarisierenden Streifen überspannt. Ein 1cm großes schwarzes Quadrat umgibt dieses Testfeld, wobei es in 40cm Abstand ungefähr dem Fusionsreiz der *Woolf*

Card (1,5°) entspricht. Die *Wesson Card* hat in einer von Wesson (an 10 Probanden) durchgeführten Studie keine signifikanten Unterschiede in den Werten der $FD_{(USA)}$, der $AP_{(USA)}$ und der Kurvenform in Bezug zum *Diparometer* gezeigt [Wesson, 1983, S.52].

DISTANCE: 40 CM (16 INCHES)		25 CM (10 INCHES)	
	↑	F. D. (MIN. ARC)	F. D. (MIN. ARC)
RED	0	0	0
	½	4.3'	6.9'
GREEN	1	8.6'	13.7'
	1½	12.9'	20.6'
ORANGE	2	17.2'	27.5'
BLACK	3	25.8'	41.2'
BLACK	4	34.4'	55'

ESO F. D.: ARROW TO LEFT
EXO F. D.: ARROW TO RIGHT

See look can
one baby run
is help play
dark was what



Smash empty safe stone
grove desire ocean
begin bench damp
against gentle



WESSON FIXATION DISPARITY CARD ©

Abbildung 5.2-4: *Wesson Card*

[Birnbbaum, 1993, S.105]

Mallett Unit

Mit diesem Instrument wird nur geprüft, ob eine $FD_{(USA)}$ besteht und wie viele Prismen zur Korrektur derselben benötigt werden. ($AP_{(USA)}$). Durch fehlende Skalen können keine $FD_{(USA)}$ -Kurven gemessen werden. Abb. 5.2-5 zeigt den prinzipiellen Testaufbau. Der Test kann für die Nähe und für die Ferne verwendet werden. Auch in diesem Test findet man die typische Vernierlinientrennung. Die Linien sind jedoch für die Nähe grün und für die Ferne rot gefärbt. Ein Proband soll sie so einfacher von dem zentral liegenden weißen Balken unterscheiden können. Mit diesem Testaufbau sollen Suppressionen vermieden werden. Die Polarisation wird bei leichter Rotation nicht sofort aufgehoben und aufgrund der distanzabhängigen Farbselektion ist ein "schärferer Fokus" gewährleistet. Die *Mallett Unit* besitzt eine zentrale Verriegelung in Form eines zentralen schwarzen Kreuzes auf weiß durchleuchtetem Grund. Der Schnittpunkt beider 20' langen Kreuzdiagonalen ist in der Horizontalen und Vertikalen nur ca. 2 Winkelminuten breit. Er bildet somit eine stärkere zentrale Verriegelung als der weiße Fixationspunkt im Pola-Zeigertest (6,9').

In der *Mallett Unit* sind weitere periphere Fusionsreize in der Größenordnung 1,0° (2 Buchstaben "O"), in 1,5° (Ende des waagerechten Balkens) und 1,7° (gesamter kreisförmiger Rahmenfusionsreiz) enthalten. Der Test ist in einen Lesetext integriert, dabei entsprechen die Buchstaben, sowie

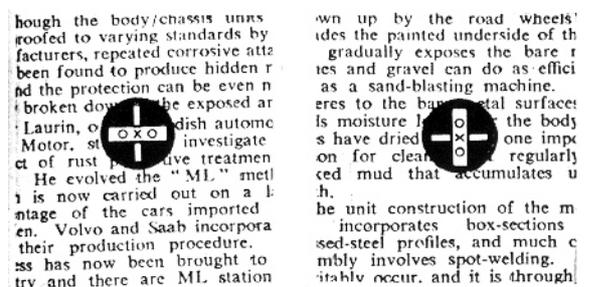


Abbildung 5.2-5: Auszug *Mallett Unit*

[Mallett, 1964, S.551]

die drei zentralen binokular fixierten Buchstaben "OXO" der normalen Schriftgröße. Der gesamte Aufbau soll natürliche Lesebedingungen simulieren. Von seinem Konstrukteur Mallett wurde darauf hingewiesen, dass dieser Test bei normalem Raumlicht anzuwenden sei

Auswertung der Wirkungsweise der Teste

Alle genannten $FD_{(USA)}$ -Teste ermitteln bei der Neutralisation der Auswanderung gleichzeitig eine $AP_{(USA)}$. Wichtig für AP-Messungen sind nach Haase gleichwertige photopische Bedingungen für beide Augen, also großflächig übereinstimmende Licht-, Helligkeits- und Farbverhältnisse. Alle störenden orthofugalen Fusionsreize sollten vermieden, nicht störende orthopetale Fusionsreize dagegen unterstützt, oder gar geschaffen werden. Nur durch positive Polarisation und durch hell durchleuchtete Testflächen sind die Testaufbauten sowie genügend hohe Kontraste zur Wahrnehmung von Hemmungen und Unschärfen entsprechend realisierbar [Haase, 1999, S.41, Haase, 1980, S.39-78].

Keiner der Teste erfüllt das Kriterium der positiven Polarisation. Sowohl bei der *Mallett Unit* und der *Woolf Card*, als auch beim *Sheedy Disparometer* befinden sich hell polarisierte Vernierlinien auf schwarzem Grund. Im Gegensatz zu der 0,12dpt Sensibilität bei schwarz polarisierten Zeichen auf hellem Grund, können nach Haase, durch die Herabsetzung der Kontrastempfindlichkeit bei Blendung, innerhalb dieser Teste nur Refraktionsunterschiede bzw. Akkommodationsschwankungen in der Größenordnung von 0,5-1,0dpt wahrgenommen werden. Daher sollten solche Teste eine geringere Konstanz in der Auswanderung zeigen und Hemmungen schwerer beurteilen lassen [Haase, 1980, S.48-49].

Bei der *Woolf Card* wird durch die unterschiedlichen Testanteile für verschiedene Beleuchtungsstärken beider Netzhäute gesorgt. Die *Mallett Unit* und die *Wesson Card* enthalten farbliche Testobjekte, die den Kontrast stark mindern. Durch die generell dunklen Testflächen können auch bei ausreichender Beleuchtung keine photopischen Adaptionsleuchtdichten erreicht werden. Sowohl die Gesichtsfeldleuchtdichte als auch farbliche Testobjekte haben Einfluss auf den Akkommodationszustand und durch das AC/A-Verhältnis also auch auf die Vergenzstellung. Daher messen diese Teste keine den natürlichen Bedingungen entsprechende optometrische Vergenzruhestellung [Haase, 1980, S.66].

Die Funktion der besprochenen Teste (außer die *Mallett Unit*) entspricht ansatzweise der des Kreuztestes. Dieser aber enthält im Gegensatz zu den vorgestellten $FD_{(USA)}$ -Messgeräten Testbestandteile, die gleichzeitig vertikale und horizontale Anteile anzeigen und korrigieren lassen, ohne dabei orthofugale bzw. zentrale orthopetale Fusionsreize zu bilden. Da sich jedoch bei der vertikalen Korrektur horizontale Fehlstellungen verändern können, werden in amerikanischen Testen daher nicht in jedem Fall brauchbare Werte geliefert.

Die *Wesson Card* besitzt keine vertikale Verriegelung, daher treten hier oft starke Fusionen der gleich großen entgegengesetzt polarisierten Testfelder auf (auch in Untersuchungen dieser Diplomarbeit). Dieser Test erzeugt aus diesem Grund gelegentlich orthofugale Fusionsbewegungen und Hemmungen, welche die Messergebnisse stark beeinflussen können. Orthofugale Fusionsreize findet man nach Haase immer dann, wenn sich die Testobjekte in beiden Augen stark ähneln und nah beieinander liegen. Dies trifft eigentlich für fast alle amerikanischen Teste zu (z.B. Pfeil und der mittlere Strich der Skala in *Woolf* und *Wesson Card*). Es ist jedoch anzunehmen, dass sich diese bei vertikaler Verriegelung nicht so stark durchsetzen.

Hinzu kommt, dass Haase die Wirkungsweise von zentralen und peripheren Fusionsreizen ausführlich getestet hat. Dabei befand er, dass ein peripherer Fusionsreiz ca. $2,25^\circ$ im Durchmesser betragen und außerdem kontrastarm (grau) sein sollte. Mit einem solchen Aufbau gelänge eine möglichst gute Auswanderung der nichtfusionierbaren Testanteile durch größere Netzhautstrukturen in der Peripherie. Trotzdem ist der Fusionsreiz stark genug, um bei großen $AP_{(USA)}$ s Diplopie zu vermeiden. Je kleiner und kontrastreicher die peripheren Fusionsreize gewählt wurden, desto schwieriger waren motorische bzw. $FD_{(D)}$ I-Anteile der $AP_{(D)}$ zu beurteilen. In allen, dem Kreuztest ähnlichen, $FD_{(USA)}$ -Testen wurde jedoch ein stark kontrastreicher Fusionsreiz in $1,5^\circ$ gewählt. Da Haase einen Wert kleiner als $1,43^\circ$ für kritisch befand, wäre anzunehmen, dass an den $FD_{(USA)}$ -Testen geringere Auswanderungen sichtbar würden. Trotzdem berichtete man über Auswanderungen bis zu $20'$ im Gegensatz zur häufig auftretenden Kreuztestauswanderung bis zu einer Balkenbreite ($4'$). Diese könnten von einer FD I durch die Ausnutzung und Erweiterung des Panumbereiches hervorgerufen werden [Haase, 1980, S.56-59, Schor & Ciuffreda, 1983, S.475]. Die *Mallett Unit* ähnelt durch ihren zentralen Fusionsreiz in der Wirkungsweise dem Zeigertest. Der zentrale Fusionsreiz ist jedoch sehr klein (ca. $2'$). Im Zeigertest wurde der zentrale Fixationspunkt nicht kleiner als $6,9'$ gewählt, da sich bei Kreuztestversuchen mit kleineren Fusionsobjekten kaum oder nicht beurteilbare Auswanderungen ergaben. Diese Einschränkung dürfte daher die Aussagekraft der *Mallett Unit* erschweren. Nach Haase sollten die Testobjekte mindestens $30'$ vom zentralen Fusionspunkt entfernt liegen, da sonst ebenfalls zu geringe Auswanderungen auftreten. Dieses Kriterium wird von der *Mallett Unit* mit ca. $25'$ fast erfüllt, daher konnten nach Mallett zufolge auch ganz ähnliche Phänomene, wie z.B. Verrollungen neben einfachen Auswanderungen beobachtet werden [Haase, 1999, S.111; Zur FD, S.41].

5.2.3 Arten von $FD_{(USA)}$ -Kurven

Ogle hat den Verlauf der $FD_{(USA)}$ -Kurven anhand zahlreicher Untersuchungsergebnisse in vier Hauptkurventypen klassifiziert. Die Reproduzierbarkeit der Kurven wurde von ihm für gut befunden [Ogle, 1967, S.76 – 92].

Carter fand bei mehrmals aufeinander folgenden Messungen Schwankungen im Verlauf der Kurven und hatte manchmal Schwierigkeiten, den nicht eindeutigen Verlauf der Kurven zu klassifizieren [Ogle, 1967, S.52; Carter, 1964, S.734].

Typ I:

Dieser Kurventyp I ist in Abb. 5.2-6 dargestellt. Er zeigt ein nahezu vertikales oberes und unteres Ende bei maximaler Prismengabe Basis außen (Ba) oder innen (Bi). Dieser starke Abfall symbolisiert, dass die Grenzen der fusionalen Vergenz (FV) erreicht sind und laut amerikanischer Ansicht rasche (*rapid*) Prismenadaptationen abnehmen.

Dieser Kurventyp tritt am häufigsten, und zwar bei 60% der Bevölkerung auf. Er wird mit normalem beschwerdefreiem Binokularsehen assoziiert, weshalb er als normale (*normal*) Kurve bezeichnet wird. Trotzdem, die *Forced Vergence FD*

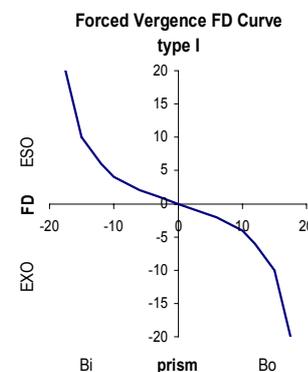


Abbildung 5.2-6

Curve Type I ist nur ein bedingtes Indiz dafür, dass der Proband keine binokularen Probleme hat. Man assoziiert auch mit diesem Kurventyp Beschwerden, wenn der zentrale Teil der Kurve steiler als 45° geneigt ist oder eine $FD_{(USA)}$ den Wert von 10' übersteigt.

Das Symmetriezentrum dieser Kurve liegt in normalen Fällen für die Nähe symmetrisch um die Koordinatenmitte. Für die Ferne ist es oft um ca. 7cm/m nach rechts (Richtung Ba) verschoben, weil das Adaptationsvermögen für die Konvergenz normalerweise höher ist als für die Divergenz [Ogle, 1967, S.78]. Alle weiteren Kurventypen werden mit Asthenopien in Verbindung gebracht.

Typ II

Der Typ II tritt bei 25% der Bevölkerung auf. Sie kommt häufig in Esophorie-Fällen vor (siehe Abb.5.2-7). Der untere Teil des Kurventyps I fehlt in dieser Variante. Die "Adaptation" bzw. Fusionskraft der Ba-Prismen ist größer als bei den Bi-Prismen, daher zeigen sich bei Bi-Werten größere $FD_{(USA)}$ s. In Richtung Ba bleibt der $FD_{(USA)}$ -Wert in einem längeren Intervall konstant bis spontan Unschärfe, Suppressionen oder fast unbemerkt Diplopie eintritt. Dieser Kurventyp kann jedoch auch die Abszisse kreuzen. Es wurden sowohl Eso- als auch Exo- $FD_{(USA)}$ von Ogle im Typ II gefunden [Ogle, 1967, S.84].

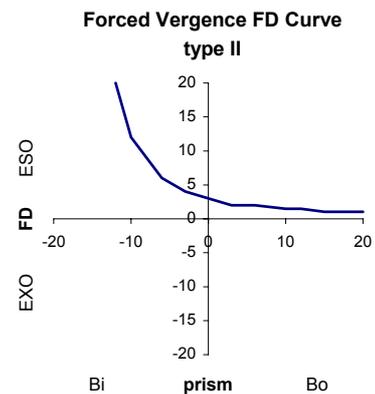


Abbildung 5.2-7

Typ III

Dieser Kurventyp III tritt bei 10% der Bevölkerung auf und wird oft mit einer Exophorie assoziiert (siehe Abb. 5.2-8). Die Adaptation (Fusionskraft) der Bi-Prismen ist größer als bei Ba-Prismen (größere $FD_{(USA)}$ mit Ba). Hier fehlt der obere Teil des Kurventyps I. Einige dieser Kurven können die Abszisse kreuzen. Generell hat Ogle bei Patienten dieses Kurventyps ebenfalls Exo-Heterophorien mittels der Maddox Tangente gemessen [Ogle, 1967, S.84].

Typ IV

Bei 2-5% der Bevölkerung erscheint dieser Kurventyp IV (siehe Abb. 5.2-9). Er wird mit anomalem Binokularsehen assoziiert. Bei diesem Kurventyp werden in der Regel sehr geringe fusionale Vergenzbreiten gemessen, jedoch ist die Fusionskraft sehr hoch. In der Nähe der maximalen Fusionsbreite zeigen die Probanden daher nur sehr geringe $FD_{(USA)}$ s und berichten spontan über Anzeichen von Diplopie. Sie haben oft zusätzlich ein Akkommodationsproblem [Ogle, 1967, S.87].

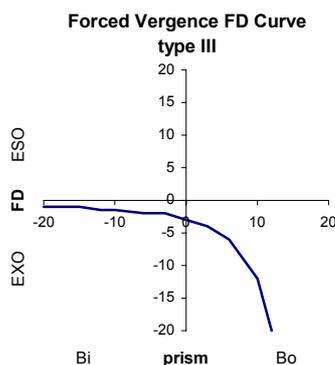


Abbildung 5.2-8

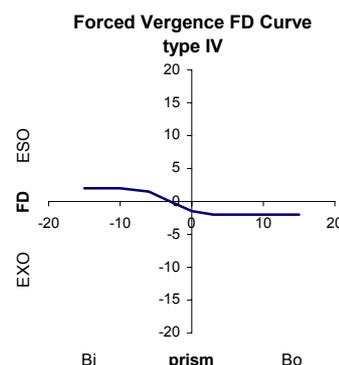


Abbildung 5.2-9

Gemischte Kurventypen

Ogle hat Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurven mit Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurven an 512 Patienten verglichen. Dabei fand er bei 27,3% gemischte Kurventypen, d.h. zwischen Ferne und Nähe änderte sich der Kurventyp. Tabelle 2 und 3 geben seine Untersuchungsergebnisse wieder:

Häufigkeiten der FD -Kurven (in%)

Typ	I	II	III	IV	Mix
%	60	25	10	5	27,3

[Sheedy, 1980, S.635; Ogle, 1967, S.92]

Tabelle 5.2-3

Häufigkeiten der Kombinationen gemischter Formen (in%)

Fern-Typ	I			II			III			IV		
Nah-Typ	II	III	IV	I	III	IV	I	II	IV	I	II	III
Prozent	16	18	7	34	4	9	4	2	2	2	0	2

[Ogle, 1967, S.93]

Tabelle 5.2-4

Vertikale Kurven

Nur wenige vertikale $FD_{(USA)}$ -Kurven ähneln den 4 horizontalen Kurventypen. Die meisten Kurven zeigen eine gerade Linie. Hier fehlen rasche (*rapid*) Prismenadaptationen, die das Zentrum bzw. einen Teil einer Kurve abflachen lassen. Nur selten werden höhere $FD_{(USA)}$ -Werte als 5'-6' gemessen. Im Gegensatz zu den horizontalen Messungen, stimmen die vertikalen $AP_{(USA)}$ -Werte oft mit dem Heterophoriewerten (Maddox Tangente) überein. Im Kapitel 5.3.1 wurde auf mögliche Ursachen für diese Unterschiede ausführlicher eingegangen [Ogle, 1967, S.270].

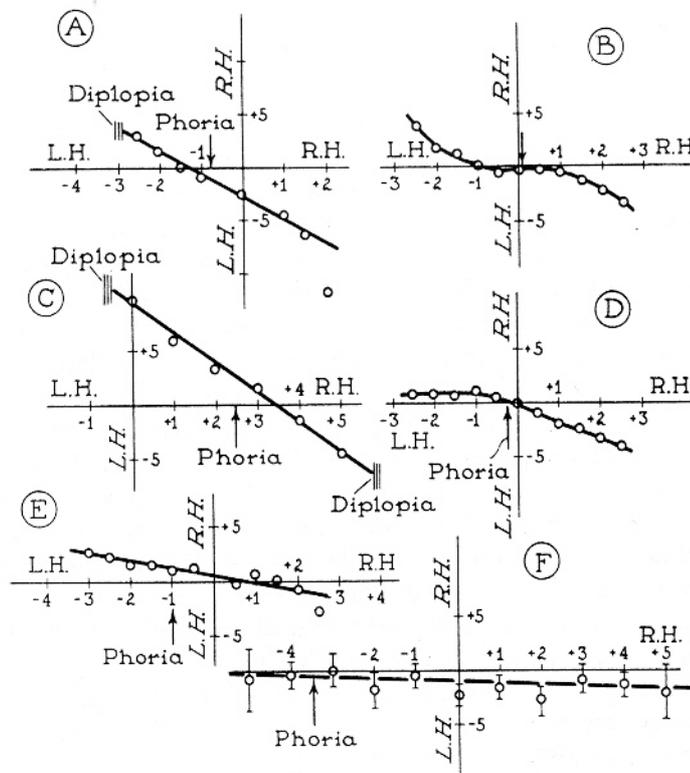


Abbildung 5.2-10: Erscheinungsformen vertikaler $FD_{(USA)}$ -Kurve [Ogle, 1967, S.269]

$FD_{(USA)}$ -Kurven mittels sphärischer Werte ($Add-FD_{(USA)}$ -Kurven)

Setzt man binokular in der Nähe schrittweise positive und negative Additionen vor, so bestimmt man die relative Akkommodation, die trotz $AC/A-CA/C$ Interaktion aufgebracht werden kann. Diese Kurve verläuft gespiegelt zur Prismen- $FD_{(USA)}$ -Kurve. Typen der $Add-FD_{(USA)}$ -Kurve können je nach positiver bzw. negativer relativer Akkommodation (PRA, NRA) stark in Länge und Form variieren.

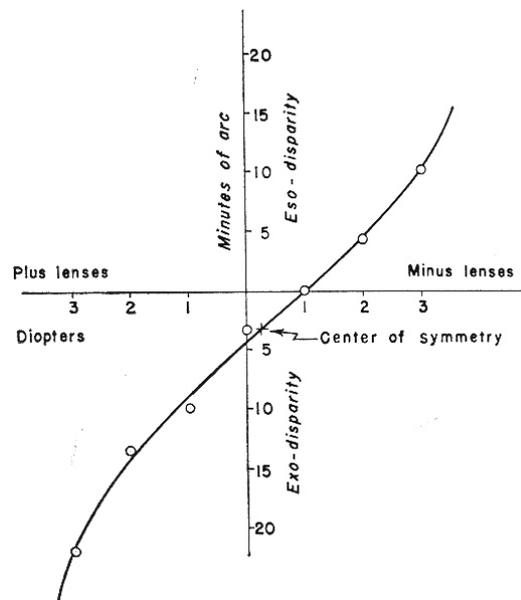


Abbildung 5.2-11: $FD_{(USA)}$ -Kurve mittels sphärischer Werte

[Ogle, 1967, S.65]

Abgeleitete Kurve (*derived curve*)

Interpoliert man alle sphärischen Werte mit den dazugehörigen Prismenwerten, die jeweils die gleichen $FD_{(USA)}$ hervorrufen, so erhält man eine abgeleitete Kurve, die oft geradlinig ausfällt (siehe Abb. 5.2-12). Aus dieser Kurve kann man Korrektionsschritte mittels Prismen oder Additionen ableiten [Schor, 1983, S.504].

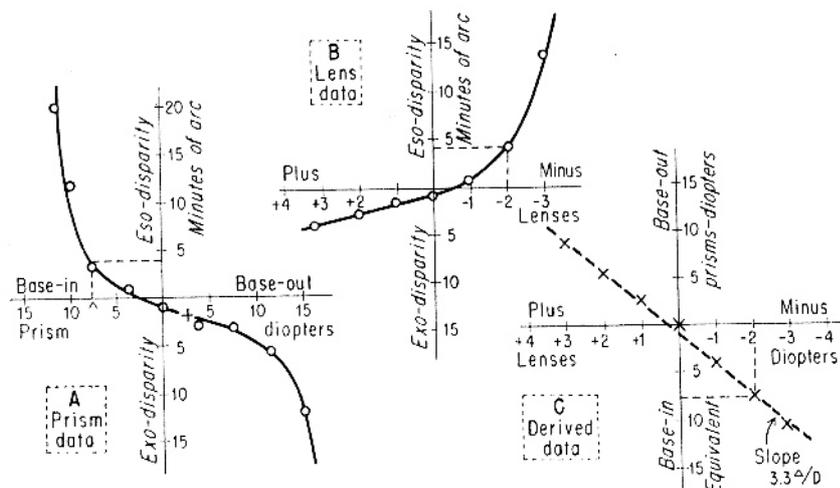


Abb. 5.2-12: Akkommodations und Vergenzdiagramm [Ogle, 1967, S. 144]

5.2.4 Auswertung der Kurven

Sheedy entwickelte 1980 ein System, nach dem man aus dem Kurventyp, der Kurvenneigung sowie dem x- und y-Achsenschnitt wichtige diagnostische Merkmale ableiten kann. So lässt sich der Behandlungsweg festlegen, der am meisten Erfolg verspricht [Sheedy, 1980, S.632- 639].

1. Kurventyp

Das wichtigste Kriterium für die Analyse der $FD_{(USA)}$ -Kurven ist der Kurventyp. Entspricht die Kurve nicht dem Typ I, so liegt oft ein okulomotorisches Ungleichgewicht vor (Störung des Akkommodations-Vergenz-Verhältnisses), das in den meisten Fällen Symptome hervorruft.

Trotzdem gibt es in allen Fällen auch Ausnahmen, die durch weitere Kriterien der Kurve begründet werden können

2. Die Steigung der Kurve

Die Steigung der Kurve im Bereich zwischen $3^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba und $3^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi zeigt die Wahrscheinlichkeit von auftretenden Symptomen im natürlichen Sehen an. Ist diese Steigung stärker als $0,96'$ pro $1^{\text{cm}}/\text{m}$, sprich, steiler als 45° gegen die x-Achse geneigt, so klagen Probanden oft über Asthenopien und Sehstörungen [Birbaum, 1997, S.109].

3. Der Schnittpunkt der Kurve mit der Y-Achse

Er symbolisiert die originale $FD_{(USA)}$ ohne Prismen. Liegt er oberhalb von 10 Winkelminuten, so zeigen sich vermehrt Symptome. Es gibt diesbezüglich häufig dann Ausnahmen, wenn die Neigung der Kurve zusätzlich extrem flach ist.

4. Der Schnittpunkt der Kurve mit der X-Achse

Der Schnittpunkt mit der X-Achse symbolisiert die $AP_{(USA)}$, d.h., die Prismenmenge, die benötigt wird, um die $FD_{(USA)}$ zu korrigieren. Nach Ogle (1967), Mallett (1969) und Schor (1983) beschreibt er diejenige Menge an fusionaler Vergenz, die noch nicht durch Prismenadaptation ersetzt wurde. Amerikanische Optometristen gehen daher scheinbar nicht davon aus, dass die Prismen die Vergenzadaptation (Muskeltonus) ersetzen könnten.

5.2.5 Einflüsse auf $FD_{(USA)}$ - Kurven

Fusionsreize

Ogle nahm an, dass die Größe der $FD_{(USA)}$ von der natürlichen Größe der Panumbereiche begrenzt ist, jedoch im zentralen Bereich Werte von 10' kaum überschreitet. Er hat experimentell ermitteln können, dass periphere Fusionsreize (6°) größere Auswanderungen zulassen, als zentrale ($0,5^\circ$)

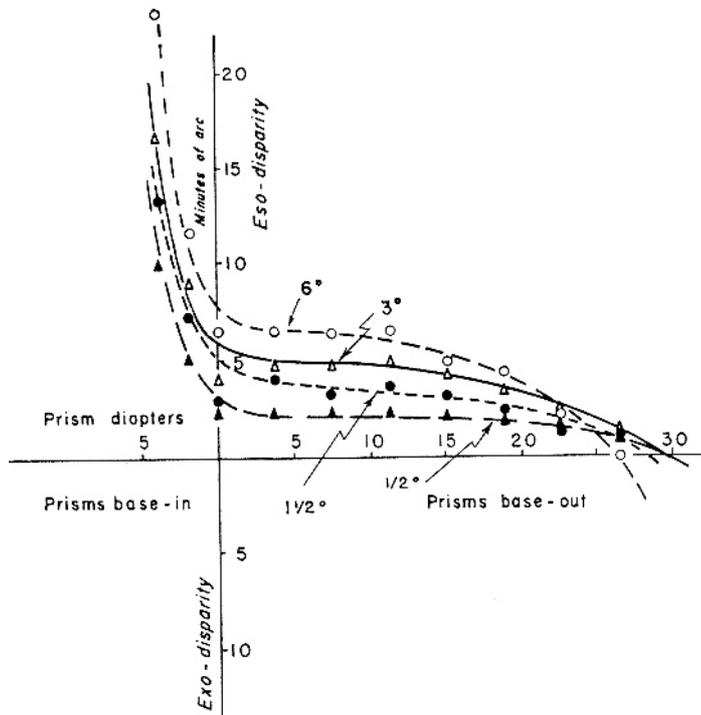


Abb. 5.2-13 Einfluss der Fusionsreizgröße auf Kurventyp II [Ogle, 1967, S.59]

zentralen Fusionsreizen $6'$ und bei peripheren Fusionsreizen $20'$ kaum überschreitet. Mit dieser Testanordnung fand er bei 6 von 22 Probanden eine weitere Kurve, in der bei zunehmendem Konvergenzaufwand, selbst wenn zuvor eine Exo- $FD_{(USA)}$ bestand, die $FD_{(USA)}$ -Kurve wieder in Richtung Eso- $FD_{(USA)}$ anstieg [Carter, 1964, S.732].

Von Schor wurde ein Fusionsstimulus von $1,5^\circ$ als ideal befunden, um Kurvenphänomene wie Typ II und III beobachten zu können [Schor & Ciuffreda, 1983, S.478].

Auf Grundlage dieser Untersuchungen könnte man begründen, warum sich die Nonien bei zunehmendem Vergenzaufwand verschieben. Die Schwarz/Weiß-Kante erzeugt einen starken Fusionsreiz durch periphere Panumbereiche in ca. $1,5^\circ$. Durch die Prismen wird eine $FD_{(USA)}$ erzeugt, die aufgrund der peripheren Lage die natürliche Größe des zentralen Panumbereiches ($> 34'$) überschreiten kann. Im Kap. 7 wird nachgewiesen, dass sich $FD_{(D)}$ s auch am Zeigertest bei Orthophorikern spontan induzieren lassen. Treten jedoch eingeschränkte Panumbereiche bei $FD_{(D)}$ s älterer Anpassungsstadien bereits in der Peripherie auf, so entstehen Kurven des Typs II und III, beziehungsweise IV. Im Falle einer Esophorie kann der Panumbereich nur in temporaler Richtung jedoch nicht in nasaler Richtung genutzt werden. Daher muss bei Prismen Ba immer mit dem $FD_{(D)}$ -Zentrum fusioniert werden, es sei denn die Fovea und die dazugehörigen zentralen Panumbereiche des abweichenden Auges können zur Fusion reaktiviert werden. Entgegengesetzt verhält es sich mit Exophorien. Hier

(siehe Abb. 5.2-13). Bei zentralen Fusionsreizen wurde es schwer, die Kurventypen eindeutig zu bestimmen. Dieses Phänomen schrieb er der abnehmenden Größe zentralerer Panumbereiche zu. Bei $0,5^\circ$ fand er jedoch prinzipiell gleiche Kurven und $AP_{(USA)}$ -Werte. [Ogle, 1967, S.58].

Ogle, Martens und Dyer variierten ebenfalls die Fusionsreize und stellten fest, dass die Kurven bei zentralen Fusionsreizen bis zu $0,5^\circ$ in der Mitte der Symmetrie flacher wurden [Ogle & Ciuffreda, 1983, S.475].

Carter untersuchte den Einfluss zentraler (ca. $2-4'$) und peripherer Fusionsreize im Detail. Er entnahm aus seinen Versuchen, dass eine $FD_{(USA)}$ bei zentralen

sind die Panumbreiche eher in temporale Richtung eingeschränkt, daher kann zur Fusion in Richtung Bi nur das $FD_{(D)}$ -Zentrum genutzt werden. In Richtung Ba liegen normale Panumbreiche vor. Zeigt sich ein Kurventyp IV, so sind die peripheren Panumbreiche eventuell schon zu beiden Seiten eingeschränkt. Dieser Fall tritt bei äußerst alten $FD_{(D)}$ -Fällen auf oder aber bei Vertikalphorien. Aus diesem Grund können große Vergenzbreiten nicht aufgebracht werden, und die $FD_{(USA)}$ ändert sich durch Ba oder Bi nur gering, es sei denn bizenale Fixation wird spontan wieder aufgenommen.

Eine Studie von Richard (1975) belegt diesen Gedankengang. Er fand heraus, dass solche Probanden, welche ungekreuzte Stereoobjekte (am Polatest FI-Stellung) schwer ausmachen konnten, häufig den Kurventyp II zeigten (Esophorie) und bei gekreuzter Stereoblindheit oft den Kurventyp III. Schor konnte jedoch einen umgekehrten engen Zusammenhang nicht finden. Bei 14 Probanden mit dem Kurventyp II und III fand er weder bei gekreuzten, noch bei ungekreuzten Stereoobjekten Defizite in der Auswertung [Schor & Ciuffreda, 1983, S.481].

Eventuell testete Schor Probanden, die weniger verfestigte $FD_{(D)}$ s zeigten. Das würde bedeuten, dass besonders eine $AP_{(D)}$ der Stadien $FD_{(D)}$ II/ 3-6 diese anomalen Kurvenformen aufweisen könnte, da hier motorische Fusion auf bizenale Abbildung nicht mehr möglich ist.

Häufig wird die y-Achse bei $FD_{(USA)}$ -Kurven des Typs II, III und IV nicht geschnitten. Das bedeutet, die $FD_{(USA)}$ ist nicht korrigierbar. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass amerikanische $FD_{(USA)}$ -Teste durch den dürftigen Testaufbau, besonders durch fehlende Stereoteste und durch die grobe Abstufung beim Vorhalten korrigierender Prismen, keine bizenale Abbildung herstellen können.

Unschärfen

Verminderter Kontrast der Fusionsstimuli hat nach Haase einen relevanten reduzierenden Einfluss auf die Fusion und einen verstärkenden auf die Auswanderung der Testanteile. Ogle fand jedoch keinen gravierenden Unterschied im Kurvenverlauf, wenn er das Augenpaar mit +1,0dpt Plus oder Teilokklusion nebelte. Die Fusionsbreiten stiegen nur zum Ende leicht an. Er fand jedoch einen Anstieg der $FD_{(USA)}$ -Werte, wenn nur ein Auge genebelt wurde. Die Zunahme der $FD_{(USA)}$ -Werte schrieb er in beiden Fällen der reduzierten Fusion durch Unschärfen zu [Ogle, 1967, S 55]. Eventuell könnten demzufolge auch Kontrastreduzierende Hemmungen auf einem Auge die Fusionskraft mindern.

Die Nebelung durch negative Kontraste (weiße Zeichen auf schwarzem Grund) ist nach Hasse schwerer wahrnehmbar. Daraus könnte man schließen, dass auch akkommodationsbedingte Unschärfen kaum einen Einfluss haben sollten. Da allerdings an diese, im Gegensatz zur Nebelung durch Plus, auch akkommodative Vergenz gekoppelt ist, sollte sich die $AP_{(USA)}$ verändern.

Vergenzadaptation

Schor hat einen signifikanten reziproken Zusammenhang zwischen Vergenzadaptation (VA) und $FD_{(USA)}$ nachweisen können. Die Präsenz einer $FD_{(USA)}$ soll auf ein unzureichendes Vergenzadaptationsvermögen zurückzuführen sein und daher die Form der $FD_{(USA)}$ -Kurve bestimmen. Das bedeutet, je stärker und schneller das Vergenzadaptationsvermögen, desto flacher ist die $FD_{(USA)}$ -Kurve.

Ist das Adaptationsvermögen bei Divergenz- und Konvergenzzwang gleich groß und nimmt es zum Ende der Fusionsbreite rapide ab, so zeigt sich der Kurventyp I. Ist VA nur für Ba-Prismen hoch, so ergibt sich Typ II bzw. nur für Bi der Typ III. Wenn VA für beide Seiten extrem stark ausgebildet ist, jedoch nur bis zu einer geringen Fusionsbreite, dann ergibt sich Typ IV. [Schor & Ciuffreda, 1983, S.478]. Je länger der Proband die Prismen kompensiert, desto flacher wird die Kurve durch den zunehmenden Einfluss der langsamen Vergenz (plastische Tonusbildung) [Howard & Rogers, 1995, S.391]. Im Kap. 5.3 wurde ausführlich auf die Zusammenhänge zwischen Vergenzadaptation und *fixation disparity* eingegangen.

AC/A und CA/C Kopplung

Im Kap.5.4 wird die Interaktion der akkommodativen Vergenz (AC/A) mit der Vergenzakkommodation (CA/C) erläutert. Aus dem von Schor entwickelten Modell kann entnommen werden, dass unter binokularen Bedingungen und bei hohen Visusanforderungen, über die eigentlichen dissoziierten Anforderungen hinaus, bei bestehender oder induzierter fusionaler Vergenz, der Akkommodations- und Vergenzanspruch an das visuelle System ansteigt (d.h. Vergenzkompensation > vorgehaltenes Prisma bzw. HP ; und Akkommodationszustand > Addition bzw. $1/\text{Objektstand}$). Aus diesem Grund können Diskrepanzen in der Basislage zwischen HP - und $AP_{(USA)}$ -Messwerten auftreten (siehe Kap. 5.3.3).

Nach Schors Modell erzeugt man bei erzwungenen Vergenzen immer auch eine Vergenzakkommodation, die den eigentlichen fusionalen Vergenzbedarf erhöht. Man testet also, inwieweit die Prismenadaptation die entstehende fusionale Vergenz reduzieren kann. Daher gehen einige amerikanische Wissenschaftler davon aus, dass die durch Vergenzadaptation erzeugte Flexibilität in der Akkommodation/Vergenz-Interaktion einen großen Einfluss auf die Kurvenform und die Höhe der $FD_{(USA)}$ besitzt. Je größer die Flexibilität, desto flacher ist an diesen Stellen die Kurve [Schor & Ciuffreda, 1983, S.507].

VT und Prismen

Prismen und VT haben einen Einfluss auf den Verlauf der $FD_{(USA)}$ -Kurve, daher werden sie je nach Kurventyp unterschiedlich zu Korrektions- bzw. Behandlungszwecken eingesetzt (siehe Kap. 5.2.6.).

In den Kapiteln 6.4.4 und 6.5.5 dieser Diplomarbeit wurde der Einfluss von vollkorrigierenden Prismen und Visualtraining auf den Kurvenverlauf untersucht.

5.2.6 Anwendung

Vorhersage von Asthenopien

Sheedy und Salading untersuchten 1978 insgesamt 77 Probanden (44 ohne und 33 mit Beschwerden). Sie verglichen Heterophorie, Vergenz und $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalysen in ihrer Effektivität, Asthenopien vorherzusagen. Diese Methoden wurden gewählt, da sie die gängigsten zur Analyse binokular-okulomotorischer Defizite sind. In der Tabelle 5.2-5 wurde, mit den aussagekräftigsten beginnend, die Reihenfolge der Teste angegeben, die allgemein und speziell für Esophorien bzw. für Exophorien am besten Asthenopien vorhersagen konnten:

Allgemein	bei Exophorie	bei Esophorie	bei Exo- $FD_{(USA)}$	bei Eso- $FD_{(USA)}$
Sheard (Nb.P.)	$FD_{(USA)}$	Percival (Ab.P.)	Sheard (Nb.P.)	Steigung $FD_{(USA)}$ -Kurve
$FD_{(USA)}$ -Kurventyp	$FD_{(USA)}$ -Kurventyp	Konv. (Nb.P.)	$FD_{(USA)}$ -Kurventyp	Percival (Wv.P.)
Steigung $FD_{(USA)}$ -Kurve	Divergenz (Ab.P.)	Div. (Ab.P.)	Steigung $FD_{(USA)}$ -Kurve	$AP_{(USA)}$
Divergenz (Nb.P.)	Heterophorie	Percival (Wv.P.)	Div. (Nb.P.)	Percival (Ab.P.)
$FD_{(USA)}$	Percival (Nb.P.)	Steigung $FD_{(USA)}$ -Kurve		
Konvergenz (Nb.P.)		$AP_{(USA)}$		
82 % korrekt	92 % korrekt	73 % korrekt	76 % korrekt	96 % korrekt

Nb.P. – Nebelpunkt; Ab.P. – Abreißpunkt; Wv.P. – Wiedervereinigungspunkt
[Sheedy & Saladin, 1978, S.674]

Tabelle 5.2-5

Die $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse wurde zur allgemeinen Beurteilung des Binokularsehens neben Sheard's Kriterium für Exophorien und Percival's Kriterium für Esophorien von Sheedy und Saladin positiv bewertet. Am besten eignete sich die Höhe der $FD_{(USA)}$ zur Einschätzung von Exophorien ($> 10'$ auffällig). Zur Beurteilung von Esophorien bot sich die Auswertung der Steigung im Bereich $3^{cm}/m$ Bi - $3^{cm}/m$ Ba an. Kurven die stärker als 45° geneigt waren sagten zuverlässig Asthenopien voraus. Die Bewertung des Kurventyps (Typ 1 = unauffällig, Typ 2, 3 und 4 auffällig) wurde vor allem bei Fällen von Exo-Abweichungen, jedoch auch zur allgemeinen Urteilsfindung als zweitbestes Kriterium genannt. Die Höhe der $AP_{(USA)}$ war jedoch zur Vorhersage von Beschwerden am wenigsten aussagekräftig [Sheedy & Saladin, 1978, S.670- 676].

Beobachtung des *VT*-Erfolges

Symptome können immer dann abgestellt werden, wenn *VT* die Vergenzadaptationsfähigkeit erhöht und somit die $FD_{(USA)}$ -Kurve abflachen lässt. $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessungen können hier den Verlauf eines Visualtrainings verfolgen [North & Henson, 1992, S.297].

Von mehreren Autoren wurde immer wieder berichtet, dass *VT* durch die Erhöhung der Vergenzadaptation gerade beim Kurventyp I die Neigung der Kurve stark abflachen kann, wohingegen die Kurventypen II und III sich nur bedingt durch *VT* ändern lassen. Manchmal reduziert sich nach dem Training ebenfalls eine $FD_{(USA)}$ [Sheedy, 1980, S.638; Schor & Ciuffreda, 1983, S.500]. Es scheint jedoch für das Abstellen der Symptome bedeutsamer zu sein, die Kurve abzuflachen, als die $FD_{(USA)}$ selbst zu reduzieren.

In Fällen, da trotz Trainings die $FD_{(USA)}$ -Kurven steil bleiben, werden Prismenkorrekturen verschrieben.

Horizontale Prismenverschreibung

Im Optimalfall sollte der flache Teil der $FD_{(USA)}$ -Kurve symmetrisch um den prismatischen Nullwert auf der x-Achse liegen. In diesem Fall sind *AC/A-CA/C*-Interaktionen sowohl bei Konvergenz- als auch Divergenzbedarf im natürlichen Sehen durch Vergenzadaptation am wenigsten beeinträchtigend. So können Symptome gering gehalten werden. Man verschreibt deshalb bei Kurventypen II und III (in Fällen, da die Kurve die x-Achse nicht kreuzt) oder beim Typ I (in Fällen, da *VT* die Kurve nicht abflachen konnte) die geringste Menge an Prismen, die den flachen Teil der Kurve nahe an die y-Achse schiebt. Wenn die Kurve, durch einen sehr steilen Verlauf kein Symmetriezentrum aufweist, wird zunächst *VT* verschrieben. In den seltenen Fällen, bei denen *VT* kein Symmetriezentrum erzeugen konnte, verschreibt man die $AP_{(USA)}$ [Scheiman & Wick, 1994, S.454]. Durch reduzierte Vergenzadaptation besteht in diesen Fällen nicht die Gefahr, dass die Prismen adaptiert werden können (Prismenwerte enorm ansteigen) [Carter, 1965, S.151; Schor, 1980, S.499, Cooper, 1992, S.304].

Vertikale Prismenverschreibung

Verschreibt man nur geringe Mengen an vertikalen Prismen, so haben diese Korrekturen häufig einen reduzierenden Einfluss auf die horizontale $FD_{(USA)}$, $AP_{(USA)}$ und die Neigung der Kurve. Korrekturen von Vertikalphorien können Suppressionen verringern, Vergenzbreiten erhöhen und infolgedessen die *VT*-Ergebnisse verbessern. Deshalb wird bei einer vertikalen Phorie der Wert der $AP_{(USA)}$ als Basis zur Verschreibung von Prismen benutzt, der nach Erfolg des Trainings oft wieder reduziert werden kann [Scheiman & Wick, 1994, S.449].

Verschreibung von Additionen für Presbyope

Bei bestehender Eso- $FD_{(USA)}$ kann eine positive Addition durch die akkommodative Vergenz den fusionalen Divergenzbedarf gerade bei hoher *AC/A* enorm reduzieren. Man kann abwechselnd mittels positiver und negativer Additionen den $FD_{(USA)}$ -Kurvenverlauf untersuchen und den Wert als Addition verschreiben, der die $FD_{(USA)}$ komplett reduziert.

Auch in Fällen von Divergenzexzess verschreibt man auf gleicher Basis für Kinder unter 15 Jahren negative Additionen für die Ferne. Die negativen Additionen werden dem Fernteil einer Bifokalbrille zugesetzt. Im Nahsegment ist der eigentliche Fernkorrektionswert enthalten. Mit dieser Methode kann Fusion spontan für ein aufbauendes Training hergestellt werden. Nach *VT*-Erfolg werden die Additionen dann zur Entlastung der Akkommodation wieder abgebaut [Scheiman & Wick, 1994, S.459- 460].

In widersprüchlichen Fällen

Assoziierte Messungen können oft von dissoziierten abweichen, weil sie unter natürlichen binokularen Umständen ermittelt werden, wo *AC/A* und *CA/C*- Interaktionen greifen. Daher empfehlen Scheiman & Wick *FD_(USA)*-Kurvenmessungen immer dann durchzuführen, wenn herkömmliche amerikanische Heterophorie- bzw. weitere Sehfunktionsteste keine Erklärungen für Symptome des Patienten liefern [Scheiman & Wick, 1994, S.9].

5.2.7 Auswertung

Unterschiedliche Auffassungen zu Ursachen einer FD

Ein gravierender Unterschied in der Interpretation der Ursache einer FD äußert sich darin, dass amerikanische Wissenschaftler im Gegensatz zu deutschen Kollegen nicht annehmen, dass eine FD ausschließlich durch hohe fusionale Vergenzbelastungen (Phorien) zur Einsparung geringer Beträge fusionaler Vergenz, unter Ausnutzung des Panumbereiches entstände.

Schors Modell zufolge besteht als weitere Ursache einer FD die Möglichkeit, dass diese sogar einen beabsichtigten Fehler des Vergenzsystems darstellt, der bei schlechter Vergenzadaptationsfähigkeit veranlasst wird, durch die resultierende Disparität der Netzhautbilder Impulse zur Fusion auszusenden (siehe hierzu Kap. 5.3).

Aussagen zur Größe einer FD

Beim Vergleich der Größe der Fusionsreize ist interessant, warum Haase mit kleineren Fusionsreizen innerhalb der Stereoteste kaum bzw. keine Auswanderungen messen konnte. Bestünde eine *FD_(D)*, so müsste es durch die Ausnutzung des originalen zentralen Panumbereiches nach deutschem Modell mindestens zu einer Auswanderung von ca. $0,57^\circ$ ($1^{\text{cm}}/\text{m}$, bzw. 6cm auf 6m) kommen. Die Amerikaner haben nie größere Auswanderungen als $6'$ ($0,18^{\text{cm}}/\text{m}$) mit zentralen Fusionsreizen ($2'$) messen können und vermuten daher auch nicht, dass Panumbereiche erweitert werden können.

Trotz des Argumentes, Auswanderungen würden keinen wahren FD-Wert angeben können, scheint es doch eher unwahrscheinlich, dass bei erweiterten Panumbereichen bis zu $4^{\text{cm}}/\text{m}$ keine größeren Auswanderungen sichtbar würden.

Bislang konnten aber weder in dieser Diplomarbeit, noch durch die Diplomarbeit von Astrid Osterwald, mittels objektiver Teste (z.B. einseitiger *Covertest*), Einstellbewegungen des abweichenden Auges bei vorhandener *FD_(D)* alter Anpassungsstadien nachgewiesen werden. Auch Kommerell et al. hat nur Augenbewegungen unter $10'$ messen können und verifizierte diese als normale Fixati-

onsschwankungen [Kommerell et al., 2000, S.400, Osterwald, 2002, S.34]. Eventuell ist eine $FD_{(D)}$ kleiner als man im deutschen Modell vermutet. Möglicherweise aber wird sie auch nur in der Wahrnehmung durch Propiorezeptoren¹ der äußeren Augenmuskulatur bei Vergenzbelastung produziert und ist folglich keine reelle Fehlstellung der Augen. Zu dieser These bedarf es intensiver Studien der Sinneswahrnehmung, speziell des Informationsflusses und der Verarbeitung von Vergenzimpulsen im Gehirn.

FD-Messmethoden im Vergleich

Die $FD_{(USA)}$ -Messung ist eine völlig andere Methode, Binokularsehen zu ermitteln und daher nur ansatzweise mit der MKH vergleichbar.

Die Tests für die $FD_{(USA)}$ entsprechen in vielen Punkten nicht Haases Regeln optimaler natürlicher Testbedingungen zur Ermittlung einer optometrisch relevanten Vergenzruhestellung. Sie können motorische und sensorische Anteile nicht getrennt ermitteln. Ältere $FD_{(D)}$ II können durch fehlende Anwendung geeigneter Stereoteste nicht aufgedeckt werden. Die *Wesson* und *Wolf Card* können bei Vernachlässigten (schlechten) Testbedingungen maximal eine bestehende vollmotorische $AP_{(D)}$ bzw. eine $FD_{(D)}$ I korrigieren. Die *Mallett Unit* misst zusätzlich eine $FD_{(D)}$ II/1, wobei anzunehmen ist, dass bei vorhandenen zentralen Fusionsreizen die Motorik nicht vollständig nachrutschen würde. Aus genannten Gründen messen die $FD_{(USA)}$ -Tests häufig kleinere Werte und sind als Alternative zum Polatest zur Verschreibung von Prismen strikt abzulehnen.

$FD_{(USA)}$ -Kurven reagieren jedoch bei erzwungenen Vergenzen in Typ und Verlauf empfindlich auf Störungen im Akkommodations-Vergenzsystem. Sie bieten so, ähnlich der deutschen Klassifizierungsmöglichkeit von $FD_{(D)}$ -Stadien, Kriterien zur Vorhersage von Asthenopien und Sehstörungen. Gerade die, nach Haase zu vermeidenden, orthofugalen Fusionsreize bieten in diesen Tests den Vorteil, neben der, unter erschwerten Sehbedingungen gemessenen, Vergenzbreite auch Aussagen über die Fusionskraft des visuellen Systems zu treffen. Z.B. wird von Sheedy geschildert, dass bei akkommodativen Problemen häufig unruhige $FD_{(USA)}$ -Auswanderungen wahrgenommen werden, die aber durch ein Training des Akkommodationssystems beseitigt werden können [Sheedy, 1980, S.638]. Alle diese Störungen sind dem Kurvenverlauf zu entnehmen. Daher sind die $FD_{(USA)}$ -Tests gerade, wenn der Kunde ein Training bevorzugt, durch ihre einfache Handhabung unbedingt für die Beurteilung von Trainingserfolg und Fusionskraft heranzuziehen. Zusätzlich könnten diese Messungen Auskünfte über den zukünftigen Verlauf einer prismatischen Vollkorrektur treffen, da der amerikanischen Theorie zufolge, z.B. das Nachrutschen eines Muskeltonusses in Fällen einer sehr flachen $FD_{(USA)}$ -Kurve seltener, bei einer sehr steilen jedoch besonders häufig auftritt.

Beide Testmethoden können jedoch nicht aufeinander folgend durchgeführt werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen. Die $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessung hat, ähnlich wie die Vergenzbreitenmessung, Einfluss auf den Muskeltonus. Zusätzlich können Hemmungen erzeugt werden. Beides würde die MKH erschweren. Die MKH stimuliert Sehfunktionen und verändert ebenfalls den Muskeltonus, was den Verlauf der $FD_{(USA)}$ -Kurve in vielen Fällen beeinflusst.

¹ Propiorezeptoren informieren das Nervensystem (Kleinhirn, Großhirnrinde, Rückenmark) über Zustände wie z.B. Muskel-
länge und Gelenkzustände im Körper. Sie sind an der Bewegungskoordination der Augen beteiligt [Koch, Diplomarbeit 2002, S.108]

Aufgrund von Forschungsergebnissen bzgl. der Auswirkungen von Prismen und *VT* auf den Verlauf der $FD_{(USA)}$ -Kurven, wurden in den USA Diagnose- und Therapiestrategien entwickelt, die deutlich vom deutschen System abweichen (siehe Kap.3.). Nach diesem Modell hat ein Training gegenüber Prismen wahrscheinlich in der Mehrheit aller Fälle größere Erfolge in der Stabilisierung des visuellen Systems und beim Abstellen von Beschwerden, da die unzureichenden Testbedingungen in der Mehrzahl der Fälle nur einen geringen Erfolg von Prismenkorrekturen versprechen. Es ist den amerikanischen Optometristen jedoch hoch anzurechnen, dass sie sich mit dem Thema stark ansteigender Prismenwerte bei getragener Korrektur sensible auseinandersetzen. Im deutschen Managementsystem kann den Betroffenen in einigen Fällen nur eine OP als Alternative zu stark beeinträchtigenden Brillen angeboten werden. Hier scheint das amerikanische Modell viel mehr Möglichkeiten der Hilfe zu bieten. Inwiefern Training bzw. Additionen gerade bei stark ansteigenden Esophoriewerten Erfolg versprechen, muss jedoch durch kontrollierte Langzeitstudien auch nach deutschen Kriterien untersucht werden.

5.3 Prismen- oder Vergenzadaptation

In dem vorliegenden Kapitel sollen zwei extrem unterschiedliche Ansichten zur Begründung ansteigender prismatischer Werte nach der vollständigen prismatischen Korrektur einer assoziierten Phorie miteinander verglichen werden. Anlass für diesen Vergleich geben die Messergebnisse der praktischen Untersuchungen dieser Diplomarbeit. Hier wurden in 7 von 10 prismatisch versorgten Fällen, nach einer zweimonatigen Tragezeit ansteigende Werte festgestellt. Dabei betrug der Anstieg in den meisten Fällen gut ein Drittel des ursprünglichen $AP_{(D)}$ -Wertes. In zwei Fällen stieg der Betrag jedoch annähernd auf das zweifache des ursprünglichen Wertes der $AP_{(D)}$ an (von 6,25 auf $13^{cm}/m$ Ba und von 7,0 auf $13^{cm}/m$ Ba).

5.3.1 Amerikanischen Theorien

Kritiker der MKH argumentieren häufig, dass MKH-Anwender Phänomene der Prismen- bzw. Vergenzadaptation ignorieren und somit unverantwortlich Heterophoriker in eine Schiel-OP treiben können [Brautaset RL; Jennings JAM, 5/2001, S.173]. Nach ihren Ansichten werden, sich nach getragener Prismenkorrektur wiederEinstellende Phoriewerte, nicht als Aufdeckungsprozess eines latent vorhandenen plastischen Muskeltonusses angesehen. Vielmehr wird behauptet, dass sich ein Vergenzsystem bei Orthophorikern und Heterophorikern trotz Prismen immer wieder auf seine ursprüngliche Größe einstellen wird und aus noch nicht ganz offensichtlichen Gründen sogar muss. Durch diesen Anpassungsvorgang ist es dem visuellen System möglich, auf natürliche Prozesse, wie Blickwechsel Nähe-Ferne oder Wachstum, regulierend zu reagieren. Er wird in der englischsprachigen Literatur Prismenadaptation (*PA*), Prismenvergenz oder auch Vergenzadaptation (*VA*) genannt. Leider werden diese Begriffe in der amerikanischen Literatur nicht klar von einander getrennt. Obwohl es verschiedene Differenzierungsansätze gäbe und auch bereits Klassifizierungsversuche unternommen wurden, beschreiben sie alle den selben Prozess.

Auslöser zahlreicher Studien zum Thema Prismenadaptation war auf amerikanischer Seite der Umstand, dass einige Menschen trotz der prismatischen Wirkung dezentrierter sphärozyklischer Korrekturen nicht nur beschwerdefrei sehen können, sondern sogar ihre Heterophorie bzw. Orthophorie beibehalten. Bei einigen Fällen von Anisometropien blieb die Orthophorie sogar bei blickrichtungsabhängigen, vertikalen und horizontalen, prismatischen Nebenwirkungen beschwerdefrei konstant [North & Henson, 1992, S.294]. Es wurde zudem von Phänomenen berichtet, da trotz Presbyopie, altersbedingtem Enophthalmus, krankheitsbedingtem Exophthalmus und sogar Gehirntumoren in der Augengegend annähernd Orthophorie beibehalten wurde und Asthenopien ausblieben [Cooper, 1992, S.305]. Andere Patienten zeigten bei gleichen Bedingungen starke Symptome. Im Folgenden werden daher Mechanismen des Vergenzsystems aus amerikanischen Studien vorgestellt, die für diese unterschiedlichen Auswirkungen ausschlaggebend sein sollen.

Kurzer historischer Hintergrund zur Entdeckung der Vergenzadaptation

[Cooper, 1992, S.300-302]

Maddox hat schon 1893 adaptive Veränderungen im Vergenzsystem feststellen können. Er setzte sich selbst z.B. $11^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba vor. Nach 10 Minuten Tragezeit maß er nur noch $4,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba (bei einer Heterophorie von $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba). Er schlussfolgerte aus diesem Experiment, dass adaptive Veränderungen wirken, die den Stress des fusionalen Vergenzsystems erleichtern können.

1942 untersuchten Ellerbrock und Fry die Heterophorie von 42 anisometropen Patienten jeweils in der Augenprimärposition und beim Blick nach unten. Sie maßen Orthophorie in beiden Richtungen, obwohl beim Blick nach unten beträchtliche Höhenprismen wirkten. Ähnliche Phänomene sind auch in der MKH-Literatur zu finden und mit Begriffen wie "dynamische Phorie", "Anisophorie" oder "inkomittierende Heterophorie" beschrieben [Stollenwerk, 1992, S.11].

Alpern bemerkte 1950, dass sich nach einer Vergenzbreitenmessung die Größe der Heterophorie beträchtlich ändern kann, dabei bewirkte Basis außen (Ba) mehr adaptive Veränderungen als Basis innen (Bi). Ellerbrock konnte 1950 nachweisen, dass man mittels vertikaler Prismen auch die vertikale Heterophorie verändern kann. Diese Veränderungen blieben bis zu 30min nach dem Entfernen der Prismen bestehen. Die Ergebnisse beider Wissenschaftler führten zu der allgemeinen Empfehlung, vor den Vergenzbreitenmessungen zuerst die Phorie, danach die Divergenzbreiten und zuletzt die Konvergenzbreiten zu messen, da sich ansonsten zu hohe Esophorie- oder zu geringe Exophoriewerte bzw. zu hohe Ba- und zu geringe Bi-Vergenzbreiten ergäben.

Ogle und Prangen haben 1953 vertikale $FD_{(USA)}$ -Kurven bestimmt. Sie erhöhten danach bei den Probanden langsam vertikale Prismen bis zu $6^{\text{cm}}/\text{m}$, die bis zu 2 h lang getragen wurden. Die $FD_{(USA)}$ -Kurven, die sie mit diesen Prismen maßen, entsprachen den Kurven ohne Prisma.

Henson & Dharamshi, untersuchten 1982 richtungsabhängige Vergenzadaptation bei Probanden mit induzierten Anisometropien (1,0; 2,0 und 3,0dpt). Interessanterweise war die Vergenzadaptation beim Blick nach unten vollständiger, als beim Blick nach oben. Sie führten dieses Ergebnis darauf zurück, dass die Probanden die Blickrichtung nach unten häufiger benutzten, als die nach oben. Aus diesem Versuch schlossen sie, dass das Gehirn eine Art kortikale motorische Erinnerungskarte entwickelt, auf der jeder Punkt von seinem benachbarten beeinflusst wird.

Wichtige Studien zur Prismenadaptation

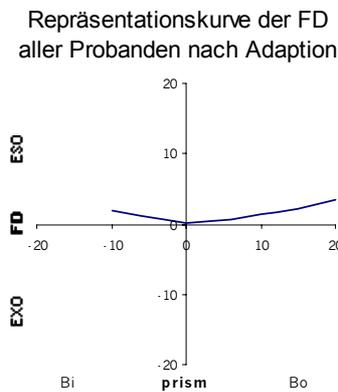
Carter

Eine der wichtigsten Studien zum Thema Prismen- oder Vergenzadaptation, hat Carter im Jahre 1965 durchgeführt. Mehrere Wissenschaftler haben ihre Theorien auf Grundlage Carters Ergebnisse entwickelt.

In der Studie Carters wurden 13 Probanden mit komfortablem normalen Binokularsehen mittels eines $FD_{(USA)}$ -Testes (*Turville Infinity Test*) und mittels des Maddoxzylinderverfahrens (9 von 13 Fällen) vor und nach induzierten Prismenadaptation untersucht. Die $FD_{(USA)}$ -Teste enthielten entweder zentrale und periphere Fusionsreize ($FD_{(USA)}$ Z) oder nur periphere Fusionsreize ($FD_{(USA)}$ P). Die Probanden kompensierten die Prismen über 7 Zwischenstufen, bis zu den Grenzen ihrer

horizontalen Fusionsbreite, mindestens 15min lang. Dabei lasen sie oder schauten nur im Raum umher. Die Ergebnisse wurden in Abb. 5.3-1 und Tab.5.3-1 zusammengetragen. Die $FD_{(USA)}$ -Kurven, die spontan nach dem Einsetzen der Prismen ermittelt wurden, zeigten hohe Eso- $FD_{(USA)}$ -Werte bei Bi-Prismen und hohe Exo- $FD_{(USA)}$ -Werte bei Ba. 3min nach dem Vorhalten der Prismen, näherte sich die $FD_{(USA)}$ -Z Kurve in fast allen Prismenwerten wieder den ursprünglichen amerikanischen $FD_{(USA)}$ -Werten an. Durch diesen Vorgang flachte sie wieder ab. Nach 15min reduzierte sich ebenfalls die $FD_{(USA)}$ -P Kurve (bei 2 Probanden nicht!). Es wurde ein größerer Unterschied des Kurvenverlaufes zwischen spontanen und späteren Messwerten beobachtet.

Nach der Adaptationszeit wurden zusätzlich mittels einer *Maddox Rod Flash* Technik² die Heterophoriewerte gemessen. Diese wurden ebenfalls mit den ursprünglichen Heterophoriewerten verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass die Ergebnisse, trotz der kompensierten Prismen (maximal 10^{cm}/_m Bi bis 32^{cm}/_m Ba) immer noch annähernd den ursprünglichen Phorien entsprachen (siehe Tab.5.3-1). Der durchschnittliche Kurvenverlauf ist in Abb.5.3-1 dargestellt. Er zeigt, dass viele Probanden bei Ba-Adaptation zu einer Überkompensation neigten. Auch einige Heterophoriewerte stiegen bei zunehmenden Ba-Prismen paradoxer Weise in Richtung Esophorie an.



[Carter, 1967, S.144]

Abb.: 5.3-1

Heterophoriemessung nach der Adaptionzeit

Proband	0	Basis innen in cm/m						Basis außen in cm/m							
		12	10	8	6	4	2	4	6	8	12	16	18	24	32
GFH	-2				1	-1	-1		-1		2		2	0	
MRK	-1					0,5	0,5	0,5		1	1				
RL	0,5				2,8	0,5	1			0		0		3	2
HM	-2			-2									-1		
MM	-2		2												1
CN	1	1												1,5	
RS	0,5					1							-1	-3	
LV	0			0									-1		
RM	-2					0,8									-8

Eso = positive Werte Exo = negative Werte

[Carter, 1967, S.145]

Tab.:5.3-1

Laut Carter hatte kaum ein Proband Beschwerden während der Messungen geäußert. Alle waren in der Lage zu lesen, daher schienen sie trotz der Prismen einen normalen Lesevisus zu zeigen. Die Anpassungsvorgänge waren immer schneller, wenn nach dem Absetzen der Prismen keine Doppelbilder auftraten.

Aus den Ergebnissen schließt Carter, dass im uneingeschränkten Binokularsehen, adaptive Mechanismen bei veränderten Vergenzanforderungen beschwerdefrei den Muskeltonus der Externen Augenmuskeln ändern, um fusionalen Stress zu reduzieren. Da Menschen mit großen Heterophorien bei diesen Adaptationsvorgängen häufig Defizite aufweisen, ist laut Carter von dem umgekehrten Schluss der herkömmlichen amerikanischen Lehrmeinung auszugehen. Dies bedeutet:

Nicht eine Heterophorie schränke die Fusionsfähigkeiten ein, sondern schlechte Fusionsfähigkeiten würden Heterophorien erzeugen.

²Das rechte Auge fixiert eine Lichtquelle und vor dem linken Auge wird ein Maddoxzylinder platziert. Die horizontale Entfernung zwischen Lichtpunkt und Lichtstreifen wird spontan auf einer Skala in 4.3m Entfernung innerhalb von 30 Sekunden abgelesen.

Sonst könne kaum eine Erklärung dafür gefunden werden, dass trotz unterschiedlicher Anatomie- und Physiologiefaktoren in der amerikanischen Bevölkerung nur wenige Menschen moderate bis hohe $AP_{(USA)}$ bzw. Heterophorien aufweisen [Carter, 1967, S.141-151].

North & Henson

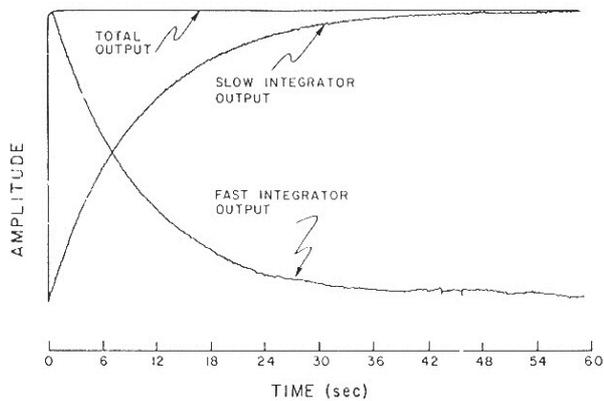
North & Henson haben ihre Studien auf Carters Ergebnisse und Schlussfolgerungen aufgebaut, um einige seiner Behauptungen, wie z.B. schlechte Fusionsfähigkeit führe zu hohen Heterophoriewerten und Asthenopien, empirisch belegen zu können. Sie beobachteten ebenfalls, dass Probanden mit durchschnittlicher VA weniger über Symptome klagten. Der größte Teil der Vergenzadaptation, die sie ebenfalls hauptsächlich mittels der modifizierten *Maddox Rod* Methode nachwiesen, erfolgte nachweislich bei $6^{cm}/m$ Bi bzw. Ba und $2^{cm}/m$ BoR bzw. BoL nach 3,5min. In ihrer zweiten Studie untersuchten sie 15 Probanden mit Symptomen und defizitärem Binokularsehen mittels der *Mallett Unit* (siehe Kap. 5.2.2) und der *Maddox Rod* Methode. Die Ergebnisse zeigen, dass in der Mehrzahl der Probanden anomale Adaptationserscheinungen bei Ba oder Bi in Ferne und Nähe auftraten. Diese wurden hauptsächlich in der Entfernung, in der die Probleme vorlagen, ermittelt. Sie waren geringer als der Normwert abzüglich der doppelten Standardabweichung. Nur ein Proband hatte eine normale Adaptationsfähigkeit und trotzdem Symptome.

War die Adaptationsfähigkeit nur in eine bestimmte Richtung hoch, so zeigte diese jedoch nicht immer auch die Richtung der Phorie an (3 Esophore adaptierten zwar Ba besser jedoch auch 3 Exophore) [North & Henson, 1980, S.129-137].

Schor

Schor verwertete seine eigenen und die oben beschriebenen Studien für die Entwicklung eines Modells der Interaktion zwischen dem Vergenz- und Akkommodationssystem. Auch nach Schor ist VA ein Anpassungsvorgang, der die Tonizität der äußeren Augenmuskulatur beeinflusst, um bei Vergenzveränderungen beim Blickwechsel Nähe - Ferne den induzierten fusionalen Stress zu reduzieren [Birnbaum, 1993, S.4-7]. Bei orthopetalen Fusionsreizen arbeiten zwei unterschiedliche Vergenzsysteme. Dabei reagiert ein schnelles System, um zwei disparat liegende Bilder innerhalb von einer Sekunde in eine bizentrale Abbildung zu bringen. Ein langsam arbeitendes System braucht dagegen mindestens 30 Sekunden, um angesprochen zu werden. Es ist hierbei von der Stärke der Reaktion (*Output*) des schnelleren Systems abhängig. Bei diesem Vorgang wird innerhalb von ca. 10-15s die schnelle Vergenz mittels einer schwächer werdenden neuronalen Einführung (*leaky neural integrator*) von der langsamen Vergenz allmählich abgelöst (siehe Abb. 5.3-2) [Schor & Cuiffreda, 1983, S.484; Cooper, 92, S.301].

Anhand von Computersimulationen wurde die dynamische Interaktion des schnellen und langsamen Vergenzsystems durch einen Schaltkreis nachgestellt. Aus empirisch erhobenen Daten, konnten dann Formeln und Werte für den Zuwachs und die Abschwächung der schnellen und der langsamen Integritoren, festgelegt werden. Abb.5.3-2 stellt eine vollständige und Abb.5.3-3 eine unvollständige Übernahme eines Vergenzimpulses durch die langsame Vergenz in einem geschlossenen Regelkreis (*closed loop*) dar.



[Schor & Ciuffreda, 1980, S.621-622] **Abbildung 5.3-2**

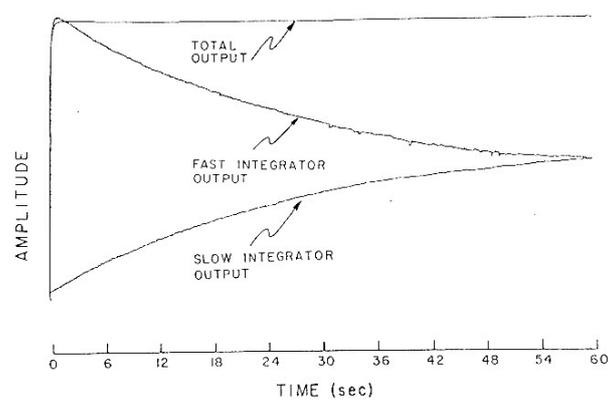


Abbildung 5.3-3

Das langsame System bewirkt die Vergenzadaptation [Schor & Ciuffreda, 1983, S.477]. Beide Systeme wirken zusammen als fusionale Vergenz [Cooper, 1992, S.301]. Aus verschiedenen Versuchen Schors wurde deutlich, dass es zwei Systeme für die Fusion geben muss. Hierfür gibt es zwei Argumente:

1. Es konnte keine Vergenzadaptation unter einer Adaptationszeit von 30s nachgewiesen werden, wohl aber Fusion. Das bedeutet, dass die Reaktionszeit für die langsame Vergenz zu gering war. Somit konnte nur die schnelle Vergenz die Fusion bewirken.
2. Vergenzadaptation tritt nicht auf, wenn die Prismenmengen entsprechend hoch gewählt werden, so dass es zu einer starken Diplopie und somit zu unüberwindbarer Disparation der Bilder kommt. D.h. in dieser Situation kann die schnelle Vergenz nicht einsetzen [Schor & Ciuffreda, 1983, S.484-85].

Interaktion von Akkommodation und Vergenz

Im Kap.5.4 wird dargestellt, dass die Akkommodative Vergenz und Vergenzakkommodation wesentlich höhere Werte unter binokularen Umständen (*closed loop*) als unter monokularen Umständen (*open loop*) annehmen können. Aus diesem Grund entsteht ein höherer fusionaler Vergenz- bzw. Akkommodationsbedarf, als man für einen festgelegten Arbeitsabstand aufgrund der Heterophorie und der Entfernung erwarten würde.

Experimente von Semmlow und Hung demonstrierten, dass sich die $FD_{(USA)}$ um die Hälfte reduziert, wenn die Akkommodationsschleife im Regelkreis durch eine Lochblende geöffnet wird. Daraus schlussfolgerten sie, dass unter natürlichen *closed loop* Bedingungen, erzwungene Vergenzen den Akkommodationszustand durch die Vergenzakkommodation ändern.

Owens und Leibowitz haben 1980 herausgefunden, dass VA den Dunkelakkommodationstonus³ nicht verändert. Schor schlussfolgert daher, dass Vergenzadaptation in dem *feed forward* Pfad des Vergenzsystems später auftritt, als Vergenzakkommodation (siehe Abb.5.4-3). Wenn adaptive Vergenzinnervationen den fusionalen Vergenzbedarf reduzieren, verringert sich ebenfalls die Vergenzakkommodation. Diese Interaktionen zwischen AC/A und CA/C bestehen daher nur vorübergehend in Zeiträumen von 15-30 Sekunden. Deshalb haben Menschen mit normalen Vergenzadaptation,

³ Ruhezustand der Akkommodation bei Abwesenheit von Akkommodationsreizen im angedunkelten Raum

wenn überhaupt, nur kurzzeitig einen höheren Akkommodations- und Vergenzaufwand zu überwinden, wenn sie z.B. nach langen Leseperioden ihren Blick in die Ferne ausrichten oder umgekehrt. Bestehen jedoch Defizite in der Vergenzadaptation, so kann es durch die Vergenzakkommodation zu längerfristigen Störungen, wie z.B. Diplopie oder Verschwommensehen beim Fixationswechsel Ferne-Nähe kommen [Schor & Ciuffreda, 1983, 501, 507].

Aus diesen Zusammenhängen schlussfolgerte Schor, dass adaptive Mechanismen nur unter binokularen Umständen also z.B. bei $AP_{(USA)}$ -Messungen wirken können. Daher fallen assoziierte Phorien häufiger bis zu 20-25% geringer aus als Heterophorien, die unter monokularen, sprich dissoziierten, Bedingungen gemessen werden. Diese These konnte Schor 1979 untermauern. Vergenzadaptation kann nicht über akkommodative Vergenz unter *open loop* Bedingungen induziert werden. Nur bei Individuen mit reduziertem Vergenzadaptationsvermögen, gleichen sich daher die Größen der beiden Phoriearten an [Schor, 1980, S.471, 502]. Cooper schlussfolgerte aus diesen Zusammenhängen, dass man durch $AP_{(USA)}$ -Messungen nur einen geringen Anteil der fusionalen Vergenz misst, der noch nicht von der langsamen Vergenz übernommen wurde. Er geht scheinbar nicht davon aus, dass sich die langsame Vergenz nach deutscher Auffassung durch prismatische Reduktion der Prismen wieder lösen kann (nachrutschender Muskeltonus). Bei Heterophoriemessungen hingegen misst man nach seinen Theorien offenbar nach genügend langer Okklusion, schnelle und langsame Anteile der fusionalen Vergenz [Schor & Ciuffreda, 1983, S.495; Cooper, 1992, S.303].

Einflüsse auf die Vergenzadaptation

North & Henson beobachteten, dass Prismen in der Ferne bei 13 von 15 Probanden asymmetrisch adaptiert wurden. D.h. Ba-Prismen wurden schneller kompensiert als Bi-Prismen, egal ob die Probanden eine Eso- oder Exophorie zeigten. In mittleren Distanzen (50cm) hingegen, war die Adaptationszeit für Ba und Bi identisch. Mitchell und Ellerbrock (1955) fanden jedoch in 40 cm Entfernung sogar eine leicht asymmetrische Adaptationszeit zugunsten der Bi-Werte.

Die Amplitude der VA ist individuell abhängig von der Höhe und Richtung des Prismas, von der gestatteten Adaptationszeit und vom Objektstand. Wird nach einer Okklusionsphase einem Probanden nur 5s lang die Fusion gestattet, so ist diese Adaptation durch Okklusion schon nach 5s vollends aufgehoben. Es kann hingegen nach einer 15minütigen Adaptation Stunden dauern, diese komplett abzubauen [Cooper, 1992, S.301; Schor, 1980, S.477]. Carter beobachtete (bei 12 von 13 Patienten), dass sich bei vorhandener Diplopie, nach Entfernen der maximalen Ba-Werte der Muskeltonus in einer Zeitspanne von 2min – 4h (bei 6 Patienten nach 45 min) änderte. Das heißt, die Readaptationszeit zur ursprünglichen Phorie nach Absetzen der Prismen verläuft relativ schnell (einige Minuten), wenn Fusion vorhanden ist. Sie kann jedoch bei Diplopie mehrere Stunden andauern. In einem Experiment hielt der Tonus über Nacht bei geschlossenen Augen bis zu 8h an.

Die Readaptationszeit nach Absetzen der Prismen verläuft laut North & Henson etwas schneller, als die ursprüngliche Adaptation der Prismen. Sie bezeichneten dies als Rücksprungmechanismus (*spring back mechanism*) [North & Henson, 1980, S133-135]. Jedoch blieb in einigen Fällen innerhalb der 2min, 15s Messzeit noch ein Adaptationsrest übrig, der auch schon von Ellerbrock bei Vergenzbreitenmessungen in der Vertikalen und Horizontalen gefunden wurde.

Sowohl North & Henson, als auch Carter führten Okklusionsversuche durch. Bei North & Henson zeigten sich innerhalb von 60s Okklusion nach einer 3,5min Adaptation der Prismen ein leichter für Ba- und Bi-Werte symmetrischer Rückgang der induzierten Phorie in Richtung der Ausgangswerte. Ogle experimentierte mit vertikalen Adaptationen. Nach 2,5h reduzierte sich die induzierte vertikale Phorie von 5 auf $2^{cm}/m$. Würde man diesen Wert extrapolieren, so erreicht die Phorie nach 3,25h ihren Ausgangswert, den sie vor der Adaptationszeit aufwies. Das heißt, durch Okklusionen kann eine induzierte Phorie doch zumindest teilweise rückgeführt werden. Es wird nur mehr Zeit beansprucht, als unter binokularen Bedingungen [North & Henson, 1980, S.135].

Unterschiede horizontaler und vertikaler Vergenzadaptationen

Es gibt geringe Unterschiede in der Erscheinung vertikaler und horizontaler Vergenzadaptationen. Der Adaptationsverlauf vertikaler Vergenzen verläuft exponential im Gegensatz zu logarithmisch verlaufenden horizontalen Vergenzadaptationen.

Man kann jedoch auch bei einer vertikalen VA, Anpassungsvorgänge mit Hilfe von schnellen und langsamen Vergenzen erklären. Trotzdem sehen vertikale $FD_{(USA)}$ -Kurven im Bezug zu den S-förmigen horizontalen $FD_{(USA)}$ -Kurven häufig sehr geradlinig aus (siehe Kap. 5.2).

Bei horizontalen $FD_{(USA)}$ -Kurven werden Prismen umso schneller adaptiert, desto kleiner sie gewählt werden. Man spricht bei diesen Adaptationen geringer Prismenwerte von "*rapid adaptation*" (raschen Adaptationen). D.h. sie werden im Verhältnis schneller adaptiert, als größere Werte (ähnlich einer Logarithmusfunktion). Bei vertikalen Vergenzen scheint die Ausbildung der $FD_{(USA)}$ jedoch direktproportional zur Prismenhöhe zu verlaufen, da die raschen Adaptationen geringer Prismenwerte fehlen. Ogle & Prangen haben 1953 nachgewiesen, dass die vertikale VA im Gegensatz zur horizontalen VA trotz Diplopie (bei $3-6^{cm}/m$) mittels langsamer Vergenz reduziert werden konnte [Howard & Rogers, 1995, S.392]. Vertikale HP- und $AP_{(USA)}$ -Werte fallen im Gegensatz zu horizontalen Phoriewerten oft ähnlich hoch aus. Daraus schloss man, dass es in der Vertikalen keine rasche (*rapid*) VA gibt [Schor & Ciuffreda, 1983, 191].

North & Henson fanden im Vergleich horizontaler mit vertikalen VA, vollständigere und größtenteils symmetrische Vergenzadaptationen bei prismatischer Induktion vertikaler Phorien. Nach 30-60s Okklusion war ein viel geringerer Rückgang der induzierten Phorie messbar, obwohl ebenfalls Prismen gemäß der halben Vergenzbreite in der gleichen Zeit (3,5min) adaptiert wurden [North & Henson, 1980, S.131].

Zusammenhang $FD_{(USA)}$ und Vergenzadaptationsfähigkeit

Laut Schor zeigen Menschen mit $FD_{(USA)}$ oft geringere Adaptationsfähigkeiten. Er schloss aus seinen Untersuchungen, dass eine $FD_{(USA)}$ ein "beabsichtigter" Fehler der Vergenzausrichtung ist. Durch die Fixationsdisparation kann ständig die schnelle Vergenz aktiviert werden [Schor & Ciuffreda, 1983, S.486]. Das heißt, sowohl die $FD_{(USA)}$, als auch die Änderung des Vergenztonus sind zwei alternative Mechanismen, um Fusion zu erlangen. Somit sei zu begründen, dass Menschen mit sehr guten Vergenzadaptationsfähigkeiten häufig keine oder nur sehr geringe $FD_{(USA)}$ s besäßen. Menschen mit defizitären Adaptationsmechanismen bilden eventuell eine $FD_{(USA)}$ aus, um die Fusion über die

schnelle Vergenz aufrechterhalten zu können. Die $FD_{(USA)}$ -Kurven zeigen laut Schor einen direkten Zusammenhang zwischen adäquater VA und dem Ausbleiben von Asthenopien. Je flacher und symmetrischer die Kurve, desto besser ist das Anpassungsvermögen und desto weniger geäußerte Beschwerden sind zu verzeichnen [Birnbäum, 1997, S.7].

North und Henson konnten in ihren Studien leider nicht klar bestätigen, dass Menschen mit $FD_{(USA)}$ auch immer schlechte Vergenzadaptationen zeigen. Ihre Probanden besaßen im Verhältnis zu Probanden ohne $FD_{(USA)}$ statistisch signifikant geringere VA -Werte. Trotzdem erwies sich die Korrelation zwischen der $FD_{(USA)}$ und der VA als relativ schwach. Es besaßen z.B. 3 Probanden mit einer normalen horizontalen VA in Ferne und Nähe eine $FD_{(USA)}$ [North & Henson, 1981, S.750]. Die Probandenzahl mit $FD_{(USA)}$ war jedoch statistisch gesehen auch zu gering, um eine gute Korrelation darzustellen.

Schor konnte später mittels Experimenten an $FD_{(USA)}$ -Kurven eine hohe negative Korrelation zwischen der Höhe der $FD_{(USA)}$ und der VA nachweisen. D.h. je höher die $FD_{(USA)}$ durch Prismen künstlich induziert wurde, desto geringer war die Vergenzadaptation [Schor, 1980, S.478].

Gelegentlich verlief die $FD_{(USA)}$ -Kurve jedoch trotz einer unsymmetrischen Vergenzadaptationsfähigkeit in beide Richtungen relativ gleichmäßig flach [Schor, 1980, S.481].

Ebenso kann eine durch Visualtraining (VT) verbesserte Vergenzadaptationsfähigkeit gelegentlich zwar die $AP_{(USA)}$ reduzieren, jedoch reduziert dies nicht in jedem Falle gleichzeitig eine hohe $FD_{(USA)}$. Aus diesen Gründen scheint die Ausbildung einer $FD_{(USA)}$ von weiteren Faktoren abhängig zu sein. Jamplosky hat schon 1956 erkannt, dass (zumindest bei Strabismen) zentrale Hemmungen die Vergenzadaptationsfähigkeit herabsetzten und die $FD_{(USA)}$ begünstigen können. Stimuli für Augenvergenzbewegungen sind in diesen Fällen nur auf periphere Netzhautregionen beschränkt. Da auch bei peripheren Fusionreizen höhere $FD_{(USA)}$ s sichtbar werden, bleiben vielleicht gerade deshalb, trotz verbesserter Adaptationsfähigkeit, bei zentralen Suppressionen hohe $FD_{(USA)}$ s bestehen. Schor ging deshalb später davon aus, dass $FD_{(USA)}$ s zum normalen Binokularsehen gehören können und nicht vordergründig für auftretende Symptome verantwortlich sind. Daher empfahl er, nur bei vorhandenen Beschwerden $FD_{(USA)}$ s zu korrigieren [Schor & Cuiffreda, 1983, S.495-98].

Die hauptsächliche Ursache für Beschwerden wurde von Schor aufgrund Carters Ergebnisse auf schlechte Prismenadaptationsfähigkeiten zurückgeführt. Wie oben beschrieben, reduziert eine schlechte Vergenzadaptationsfähigkeit nur bedingt die Vergenzakkommodation. Somit kommt es zu einem unverhältnismäßig hohen Anstieg von Akkommodation und Vergenz, der Sehstörungen und Asthenopien hervorrufen kann [Schor, 1980, S.498].

Korrektion und Therapien reduzierter Vergenzadaptationen

In ihrer 3. Studie ermittelten North & Henson 1992 die durchschnittlichen Adaptationszeiten binokular auffälliger Probanden mit Konvergenzinsuffizienz vor und nach einem 8wöchigen Visualtraining. Dabei entdeckten sie, dass sich im Nahbereich anomale Adaptationszeiten der KI-Probanden auf Normwerte für Ba-Adaptationen angleichen ließen (siehe Tab. 5.3-2).

Änderungen der Sehfunktionen in der Nähe nach 8 Wochen Visualtraining

Sehfunktionen	Maddox-Nahheterophorie	Nahkonvergenzpunkt	Ba- Vergenzbreite	Ba- Adaptation	Normwert Ba-Adaptation
Einheit	cm/m	cm	cm/m	cm/m nach 3,5 min	cm/m nach 3,5 min
Vor VT	4,9 exo	14,4	18,5	1,63	3,89 (StAbw = 0,53)
Nach VT	4,4 exo	7,0	34,3	3,87	

[Daten aus North & Henson, 1992, S.297]

Tabelle 5.3-2

6 von 7 Probanden berichteten, ihre Probleme seien ganz oder teilweise abgestellt. Die Nahphorie konnte durchschnittlich nur von $4,9^{cm/m}$ Bi auf $4,4^{cm/m}$ Bi reduziert werden. Dieses Ergebnis widerspricht Carters und auch Coopers Vermutung, eine Phorie sei mittels verbesserter Fusionsfähigkeit reduzierbar. Bei 3 zusätzlichen Probanden, deren Vergenzadaptation sich nicht wesentlich verbesserte, konnten Beschwerden nur durch eine nicht näher erläuterte prismatische Korrektur abgestellt werden [North & Henson, 1992, S.297].

North & Henson schlussfolgerten aus ihren vorherigen und neuen Ergebnissen, dass die Erhöhung der Adaptationsfähigkeit die Symptome reduzierte. Sie sei daher eine Bemessungsgrundlage für den Erfolg eines Trainings und für Prognosen von Beschwerden. Bleiben die Adaptationsmechanismen defizitär, so sollten in jedem Falle diese Patienten mit Prismen korrigiert werden.

Aus den Auswertungen verschiedener Studien geht daher hervor, dass VT die $FD_{(USA)}$ -Kurven durch verbessern der Vergenzadaptation abflachen lassen kann [Schor & Ciuffreda, 1983, S.500]. Durch schnellere und höhere Vergenzadaptation kann demnach die Fusionskraft verbessert werden. Bei nachhaltiger Verbesserung der Vergenzfähigkeiten kann sich jedoch auch in einzelnen Fällen die $FD_{(USA)}$ und gleichzeitig die $AP_{(USA)}$ reduzieren [Cooper, 1992, S.305]. Das Auftreten solcher $FD_{(USA)}$ -Reduktionen in der klinischen Praxis konnte von Dr. Michael Gallaway bestätigt werden [Gespräch mit Gallaway, 15. Mai 2002].

Es gibt aber ebenso Fälle in denen die Vergenzadaptation durch ein Training nicht verbessert werden konnte. In diesen Fällen werden Prismenkorrekturen empfohlen, da nicht die Gefahr bestünde, dass diese "adaptiert" würden. Sie können daher den fusionalen Vergenzbedarf (hauptsächlich Anteile der schnellen Vergenz) effektiv verringern (siehe Kap.5.2) [Carter, 1965, S.151; Schor, 1980, S.499, Cooper, 1992, S.304]

5.3.2 Haases Gegenargumente

Haase äußerte große Bedenken zur Aussagefähigkeit Versuchsaufbaus von Carter und zu einigen resultierenden Schlussfolgerungen [Haase, 1995, S.39-43]. Durch bekannte Nachteile in der Heterophoriebestimmung könne keine verlässliche Aussage zur Existenz der VA abgeleitet werden. Laut Haase wird in jedem Fall eine Dunkelruhestellung ermittelt. Sie ergibt nur in 20% der Heterophoriemessungen den wahren Phoriewert. Einige Messwerte weisen sogar entgegengesetzte Werte auf. Es ist nicht zu erwarten, dass gerade die äußerst kurze Aufdeckzeit bei der *Maddox Rod Flash* Technik (30s) wirklich relevante Messergebnisse liefert. Eventuell haben einige Probanden, die von Carter als or-

thophor eingestuft wurden, sogar enorme $AP_{(D)}$ s besessen. Diese könnten aufgrund der unnatürlichen Messsituation zu den widersprüchlichen Reaktionen beitragen. Desweiteren musste Carter bei den $FD_{(USA)}$ -Versuchen mit zentralen Fusionsreizen viel zu geringe $AP_{(D)}$ -Werte ermitteln, da der Abstand zwischen dem zentralen Fusionsobjekt und dem zentralen Testobjekt viel zu gering war. Er betrug 10,4', wohingegen der Abstand im Polatest mindesten 30' aufweist. Selbst mit modifizierten Testen kann man jedoch nicht von der wahren Größe einer $FD_{(D)}$ ausgehen, da es weiterer Tests wie z.B. Stereotesten bedarf, um den vollen Wert einer $FD_{(D)}$ zu ermitteln. Dieser wäre niemals nur allein aufgrund der Distanz der Testanteile zu bestimmen.

Nach Haase können die Erfolge dieser Adaptationsversuche nicht allein durch das Ausbleiben geäußerte Beschwerden ermessen werden. Viel mehr müsste man zusätzlich objektive Messungen zum sensomotorischen Status, wie z.B. Stereopsis (Verzögerungen, Sehgleichgewicht, Tiefensehschärfe) und Hemmungen durchführen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Haase hat sich in seinem Buch "Zur Fixationsdisparation" mit den Theorien der Vergenz- bzw. Prismenadaptation und den Studien zahlreicher Wissenschaftler (Carter, Schubert, etc.) ausgiebig beschäftigt, deren Inhalte zu Crones zusammengefassten Gesetzen der "Aufrechterhaltung von Heterophorien und Orthophorien" beitragen.

Er beschrieb seinen eigenen Korrektionsverlauf, um die "Gesetzmäßigkeiten" Crones zu widerlegen und seine Theorie des Aufdeckungsprozesses einer $AP_{(D)}$ mittels der MKH-Prismenkorrektur zu begründen [Haase, 1995, S.2-52].

Theorie des Aufdeckungsprozesses eines Muskeltonusses

Haase ließ seine eigene Esophorie einschließlich vertikalem Anteil voll auskorrigieren. Dabei stiegen die Phoriewerte von anfangs $3,0^{cm}/m$ allmählich, immer um diesen Ausgangsbetrag, in einem Zeitraum von 9 Jahren auf einen Wert von insgesamt ca. $27^{cm}/m$ Ba an. Der vertikale Anteil variierte nur leicht (zwischen $0,0 - 2,0^{cm}/m$ BoR). Haase stand für diesen Korrektionsversuch anfangs nur der Kreuztest zur Verfügung. Später, nach Entwicklung der Stereoteste, konnten die Phorieanteile in großzügigeren Schritten aufgedeckt werden.

Nach der Korrektur der aufgedeckten $AP_{(D)}$ -Anteile verschwanden regelmäßig Asthenopien (Migräne) bis erneut Muskeltonus nachgab und seine ursprüngliche Größe wieder messbar wurde. Nachdem $23^{cm}/m$ Ba ($1,0^{cm}/m$ BoR) korrigiert und die Brille zunehmend "unbequem" wurde, ließ er sich einer operativen Korrektur unterziehen. Die Operation ergab jedoch einen Restfehler von ca. $3^{cm}/m$ Ba. Nach weiterer Prismenwerterhöhungen blieb die Korrektur in Höhe von $10,0^{cm}/m$ Ba bei leicht variabler Höhe stabil. Haase demonstriert kurz vor seiner OP, dass der Zustand seiner Augen eindeutig eine Phorie blieb und sich während des Prismenanstiegs nicht in einen Strabismus wandelte, wie viele Augenärzte zu dieser Zeit vermutet hatten. Nach Absetzen der Brille zeigte sich Diplopie nur in den ersten 4 Tagen bei schlechten Sichtverhältnissen. Danach blieb Binokularsehen für einige Wochen nachweisbar. Nach Erreichen der stabilen Korrektur wurden die Fusionsbreiten gemessen. Sie entsprachen in der Ferne mit $7^{cm}/m$ Bi und $38^{cm}/m$ Ba der Norm. Trotzdem blieb nach dieser langen Korrektionszeit eine rechtsäugige Prävalenz von 60%, die laut Haase eine "tief eingependelte" Hemmung auslöste [Haase, 1995, S.18-21].

Haase begleitete mehrere Probanden mit ansteigenden prismatischen Werten. Zusammenfassend ergab sich aus seinen Untersuchungen folgendes [Haase, 1995, S.32-33]:

1. Es konnte immer ein stabiler Korrektionszustand erreicht werden. Einige Probanden erlangten diesen jedoch erst nach langen Zeitintervallen und mittels hohen Korrektionswerten (in einem Fall bis max. $38^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba).
2. Maximale subjektive und objektive Erfolge stellten sich erst nach stabiler Endkorrektion ein.
3. Messwertsteigerungen bis zur Notwendigkeit von Operationen ($> 10^{\text{cm}}/\text{m}$) sind fast ausschließlich bei Esophorikern zu finden (unter seinem Spezialklientel über 100 mal und nur 2 mal bei Exophorikern).
4. Stark ansteigende Phoriewerte ($> 10^{\text{cm}}/\text{m}$) findet man, in der Regel nur bei Esophorien, oft schon während der ersten Polatestsitzung.
5. Stark ansteigende Phorien treten nur bei 2,3% aller Heterophorien und bei 1% aller Brillenglasbestimmungen auf [hier bezieht sich Haase auf Günthert, 1980, S.6].
6. Seit Fertigstellung des Polatestes (1961) lassen sich endgültige Prismenwerte auch in schwierigen Fällen "latenter" $\text{FD}_{(\text{D})}$ s sogar oft schon nach der zweiten Sitzung finden.
7. Die Fusionsfähigkeit blieb in allen Korrektionsfällen erhalten. Die "Schielanfälligkeit" zeitweiliger oder konstanter Strabismen konnte in manchen Fällen im unkorrigierten Zustand für einige Zeit herabgesetzt oder beseitigt werden.
8. Prismen sind in keinem Falle nur "Krücken". Im Gegenteil, sie können die Fusionsfähigkeit fördern, wenn zuvor eine $\text{FD}_{(\text{D})}$ und Hemmungen vollständig beseitigt werden konnten.

Aufbau und Wirkungsweise der Muskeln

Haase studierte den Muskelaufbau der äußeren Augenmuskulatur anhand der medizinischen Untersuchungen von Schütz, Sachsenweger, Adler und Hasselbach. Hiernach haben die externen Augenmuskeln und der Ciliarkörper die Gemeinsamkeit einen Tonus aufbauen zu können. Nach Schütz können Muskeln zwei verschiedene Tonusarten aufweisen: einen kontraktiven und einen plastischen Tonus. Nach Haases Erkenntnissen muss es sich also um einen kontraktiven Muskeltonus handeln, wenn dieser sofort bei der ersten Messung aufgedeckt werden kann.

Der kontraktive Muskeltonus erfordert einen hohen Stoff- und Energiewechsel. Daher lassen sich asthenopische Beschwerden durch seine Korrektion abstellen. Tritt ein Phorieanteil erst nach wochen- oder monatelangem Prismetragen zu Tage, so handelt es sich um einen plastischen Tonus. Diese Form stellt einen passiven Zustand der externen Augenmuskeln dar. Er verbraucht keine Energie und verursacht somit keine Beschwerden, somit wird lediglich die Ruhelage des Augenmuskels verändert. [Haase, 1995, S.26].

Nach Hasselbach und Adler haben die quergestreiften Augenmuskeln neben den typischen schnellen und langsamen Zuckungsphasern auch eine besonders langsam kontrahierende und erschlaffende Faservariante. Sie kommt ausschließlich in den Muskelspindeln der äußeren Augenmuskeln vor. Diese kontrahiert nicht spontan, sondern nur bei wiederholter Reizung. Somit habe die Augenmuskulatur mit der Aufrechterhaltung eines bestimmten Grundtonus ähnliche Eigenschaften, wie die unwillkürlich arbeitende glatte Muskulatur der inneren Organe [Haase, 1995 28-30].

Die Augenmuskeln scheinen durch ihre hohe nervöse Versorgung im Bezug zu anderen Muskelgruppen (Verhältnis 7-1000) einen hohen Energieverbrauch zu haben. Dieser führt hauptsächlich in motorischen Zentren zu Ermüdungserscheinungen und somit zu asthenopischen Beschwerden [Haase, 1995, S.25].

Haases Rechercheergebnisse zu dem Thema VA

"Beweise für ein Gesetz der Aufrechterhaltung von Orthophorie haben alle diese Untersuchungen meines Erachtens nach nicht geliefert. Sie belegen eigentlich nur, dass sich bei fusionaler Belastung des Vergenzsystems durch Prismen sehr schnell ein eigenartiger kompensatorischer Tonus bildet, dessen Abbau länger als der Aufbau dauert und von dem offen geblieben ist, ob und inwieweit er anstrengt und wie lange er unter gleich bleibender prismatisch-fusionalen Belastung erhalten bleiben kann. Was sich dabei im Grunde im Organismus abspielt, wäre vorerst nur spekulativ – und in sehr verschiedener Weise deutbar. Vielleicht werden einmal vervollkommnete Hirn- und Muskelstrommessungen zusammen mit feineren Stoffwechselanalysen am lebenden Menschen mehr Klarheit bringen." [Haase, 1995, S.42]

Haases Recherchen bestätigten herkömmliche Korrektionsregeln:

1. Niemals Fusionsbreitenmessungen kurz vor der Heterophoriemessung vornehmen!
2. Heterophoriemessungen brauchen Zeit, um den kompensatorischen Tonus entspannen zu können!

Haase hat niemals Zwangsprismenmessungen durchgeführt, da sie seiner Meinung nach nur Sinn ergeben, wenn man diese Prismen monatelang tragen würde. Nur so könne man Folgen dieser Prismen beurteilen. Die Konsequenzen motorischer Ermüdung bzw. sensorischer Anpassung wie z.B. Stereoverzögerungen im Straßenverkehr wären jedoch nicht zu verantworten [Haase, 1995, S.43]

5.3.3 Eigene Schlussfolgerungen und Diskussion

Den vorgestellten amerikanischen und deutschen Studien und Modellen ist zu entnehmen, dass sich ein optimal funktionierendes visuelles System durch einen kompensatorischen Muskeltonus auf verschiedene Vergenzanforderungen einzustellen vermag. Dabei gibt es Parallelen des amerikanischen Modells der schnellen und der langsamen Vergenz mit dem Modell eines kontraktiven und plastischen Tonusaufbaus von Haase. Ihre Aussagen lassen vermuten, dass beide gleiche Mechanismen des Vergenzsystems beschreiben. Demnach scheinen sowohl die Vergenzadaptation, als auch der plastische Tonus, energiearm zu arbeiten. Beide können zeitweise die Augenruhestellung verändern. Wohingegen die schnelle Vergenz und ein kontraktiver Tonus durch permanente Nerveninnervationen der äußeren Augenmuskulatur Beschwerden hervorrufen können.

Ursachen und Wirkungen werden in einigen Zusammenhängen von unterschiedlichen Seiten beleuchtet. Laut Schors Modell ist eine $FD_{(USA)}$ ein beabsichtigter Fehler in der Vergenzausrichtung,

der durch die Disparation beider Netzhautbilder die schnelle Vergenz zur Fusion anregt. Nach deutscher Auffassung hingegen, kann ein Teil des kontraktiven Tonus (fusionale Vergenz oder Motorik), durch sensorische Fusion ($FD_{(D)}$), bis an die Grenze des Panumbereiches eingespart werden. Eventuell haben beide Theorien nebeneinander ihre Berechtigung.

Schors Behauptung $FD_{(USA)}$ s aktivieren die schnelle Vergenz und treten durch schlechte Vergenzadaptationserscheinungen auf, wurde jedoch auch von einigen amerikanischen Wissenschaftlern wie North & Henson aufgrund von Einzelfällen angezweifelt, da trotz sehr guter Vergenzadaptation $FD_{(USA)}$ s bestanden. Nach der MKH-Theorie existieren zusätzlich Phoriearten, die vollmotorisch kompensiert werden können, welche aber durch $FD_{(USA)}$ -Messungen und -Definitionen nicht differenziert werden. Dieser kontraktile Anteil kann relativ spontan am Kreuztest des Polatestes aufgedeckt werden. D.h. in diesen Fällen existieren schnelle Vergenzen auch ohne Ausbildung von $FD_{(D)}$ s.

Alle Zweifel an Schors Modell wurden jedoch an Einzelfällen belegt. Zudem treten auch vollmotorisch kompensierte Phorien verhältnismäßig selten auf. In der Mehrzahl der Fälle bestehen generell, sowohl im Adaptationsvermögen, als auch in der bizentralen Abbildung, Defizite.

Im Kap. 7 kann zudem nachgewiesen werden, dass bei 3 Orthophorikern spontan beim Erzeugen eines fusionalen Vergenzbedarfes eine $FD_{(D)}$ am Zeigertest induziert wurde. Es ist daher allen Widersprüchen zu trotz möglich, dass eine $FD_{(D)}$ zumindest in jungen hemmungsärmeren Stadien ($FD_{(D)}$ I) Fusion unterstützen könnte.

Desweiteren wurde von Carter behauptet, dass große Phorien durch schlechte Fusionsfähigkeiten entstehen können. North & Henson konnten diese These nicht unterstützen. Sie verbesserten durch VT die Fusionsfähigkeit (Vergenzbreite) und zusätzlich die Vergenzadaptation (Tonusbildung), jedoch veränderte sich daraufhin kaum die Nahexophorie. Nach deutscher Auffassung wird eine herabgesetzte Fusionsfähigkeit erst durch eine $AP_{(D)}$ hervorgerufen, die aufgrund sensorischer Anpassungen starke zentrale Hemmungen verursachen kann. Andernfalls müssten sich Phorien regelmäßig verringern nachdem bizentrale Abbildung mittels MKH-Prismen hergestellt wurde. Dies geschieht nur in äußerst seltenen Fällen meist aber bei Exophorien [Haase, 1995, S.16]. Haase berichtete, dass er die Fusionsfähigkeit in Fällen zeitweise auftretender Strabismen durch gegebene Prismen verbessern konnte, nachdem bizentrale, hemmungsfreie Abbildung erreicht werden konnte [Haase, 1995, S.33]. Danach konnten Brillen für längere Zeit problemlos ohne Diplopieerscheinungen abgesetzt werden.

Generell werden Phoriegrößen auch von VT kaum beeinflusst und trotzdem belegen zahlreiche amerikanische Studien, dass Asthenopien beseitigt werden konnten (siehe Kap. 4.1). Eventuell verringern sich trotzdem assoziierte Phorien an amerikanischen $FD_{(USA)}$ -Testen gelegentlich, weil das Vergenzsystem erst nach Stimulation der langsamen Vergenz, einen hohen Adaptationstonus aufbauen konnte. Korrigiert man jedoch prismatisch, so lässt man, solange die Brille getragen wird, Vergenzadaptation des Betrages der $AP_{(D)}$ nicht zu.

Aus keiner der aufgeführten Studien konnte bisher entnommen werden, ob ein Vergenzsystem wirklich seine Ruhestellung bei verbesserter Vergenzadaptation zu ändern vermag und somit dieser Tonus wünschenswert ist. Alle Messungen wurden unter sehr kurzen Zeitintervallen von einigen Sekunden erhoben. In dieser Zeit kann sich selbst nach den Erfahrungen amerikanischer Studien

weder unter Okklusion noch unter Dissoziation ein Tonus lösen. Die Versuche, Vergenzadaptationen mittels $FD_{(USA)}$ -Testen zu belegen, können ebenfalls keine konkreten Aussagen zulassen. Diese Teste sind nur Auswanderungsteste und daher durch die Panumbereiche peripherer oder zentraler Netzhautzellen sowie deren Abstand zueinander, je nach Fusionsreiz begrenzt. Stereoteste werden bei diesen Verfahren nicht benutzt. Daher geben sie keinerlei Auskunft über den genauen sensorischen Zustand einer assoziierten Phorie, vor bzw. nach der Vergenzadaptation.

Aus den Versuchen North & Hensons geht hervor, dass der größte Teil der Vergenzadaptationen mittlerer Prismestärke innerhalb von ca. 3,5min stattfinden soll. Es wäre daher von großem Interesse, ob der Polatest nach dieser Adaptationszeit in der Lage wäre, induzierte Phorien bei Orthophorikern aufzudecken. Desweiteren sollte in diesem Zusammenhang untersucht werden, inwiefern die erzwungenen Vergenzen den sensorischen Zustand des visuellen Systems beeinflussen. Im Kap. 5.2 wurde herausgearbeitet, dass der Polatest im Gegensatz zu $FD_{(USA)}$ -Testen, aufgrund seines Aufbaus beste Vorraussetzungen bietet, optimale Prismenkorrekturen zu ermitteln. Mit der deutschen Korrekturmethode hingegen ermöglicht man dem visuellen System, durch geringe Korrektorschritte und lange Verweildauer an den Testen, in seine optometrische Ruhestellung zu gehen. Aus diesem Grund kann nur vermutet werden, dass der größte Anteil der induzierten Phorie am Polatest nachweisbar sein müsste. Zu diesen Überlegungen wurde im Rahmen dieser Arbeit eine praktische Studie entwickelt, die das Thema der Vergenzadaptation an 3 orthophoren Probanden mittels der MKH erforschen sollte (Kapitel 7).

Differenzen zwischen AP und HP Messungen

Aus den Theorien Schors zur AC/A - CA/C -Interaktion können widersprüchliche Zusammenhänge bestehender Unterschiede zwischen assoziierten und dissoziierten Phoriemessungen abgeleitet werden. Man könnte annehmen, dass man weder mittels Heterophorietesten, noch mittels der MKH die "wahre" Größe einer Phorie (Muskelschwäche) ermitteln kann.

Während der Durchführung der MKH wirken durch die gewährleistete Fusion AC/A und CA/C Interaktionen, so dass eine Augenfehlstellung in Form einer $AP_{(D)}$ bei schlechten Vergenzadaptationsmechanismen extrem hoch ausfallen könnte, obwohl die "wahre" Größe viel geringer ist.

Bei Heterophoriemessungen misst man Ogles und Carters Dissoziations- und Okklusionsversuchen zufolge, nur einen Vergenztonus. Dieser kann je nach Adaptationsvermögen und Kopplungszuständen im visuellen System in Größe und Richtung unvorhersehbar ausfallen. Korrigiert man jedoch nach Schors Gesetzen den "wahren" (oft geringeren) Betrag der Phorie, so reduziert man, ähnlich wie bei der Vergenzadaptation, spontan die Interaktionen. In diesem Fall würde die eingesetzte Akkommodation den Akkommodationsanforderungen für die jeweilige Entfernung entsprechen, womit ein Gleichgewicht beider Integratoren hergesellt wäre.

Trotzdem scheinen diese Interaktionen nur eine untergeordnete Rolle bei der Durchführung der MKH zu spielen. Ursache hierfür könnte sein, dass die Phorie schrittweise korrigiert wird. Das heißt, an einer bestimmten Stelle wird genau das Prisma eingesetzt, dass der "wahren" Größe der Augenfehlstellung entspricht und somit die unangenehmen Kopplungen reduziert. Eventuell werden Kopplungseffekte von AC/A und CA/C zusätzlich minimiert, da die Testobjekte des Polatestes (außer beim Valenztest) keine hohen Ansprüche an den Akkommodationzustand der Augen stellen. Es

ist jedoch auch anzunehmen, dass gerade bei sehr undurchsichtigen Fällen besonders alter $FD_{(D)}S$ eine zu hoch ermittelte Korrektur durch die beschriebenen Interaktionen Akkommodationsstörungen hervorrufen kann. Beispiele solcher negativen Auswirkungen der AC/A - CA/C -Interaktion im Zusammenhang mit Überkorrekturen bzw. Korrekturen falscher Basislage wurden im Kap.5.4.8 angeführt.

Ursachen für entgegengesetzte Basislagen bei Heterophorie- und assoziierten Phoriemessungen

Heterophoriemessungen wie z.B. der *Covertest* oder der *Maddoxtest* sollten nach diesen Theorien wesentlich undurchsichtiger und wenig verlässlich sein. Dies wird durch die Praxis häufig bestätigt. Wenn z.B. ein Esophorer zum Ausgleich seiner Phorie ständig divergieren muss, so bauen die äußeren Augenmuskeln bei gutem Vergenzadaptationsvermögen einen Divergenztonus auf. In diesen Fällen würde man beim wechselseitigen *Covertest* nur eine sehr geringe Esophorie messen. Nach einer längeren Okklusionsphase müssten demnach größere Einstellbewegungen sichtbar werden. Fehlen Vergenzadaptation aufgrund von hohen $FD_{(D)}S$ oder Hemmungen, so misst man gleich eine sehr hohe Heterophorie.

Wird jedoch eine Augenfehlstellung durch extrem entgegengesetzte AC/A und CA/C -Verhältnisse mittels Vergenzadaptation (plastischem Muskeltonus) über den eigentlichen "wahren" Betrag hinaus kompensiert, so können sich beim *Covertest* eventuell sogar entgegengesetzte Basislagen (wie auch in einigen Fällen dieser Arbeit) ergeben. Dieser Muskeltonus sollte sich durch die Heterophoriemessung nur langsam reduzieren. Man darf vermuten, dass prismatische Korrekturen, die auf Grundlage dieser Messung vorgenommen werden, Beschwerden eher verstärken als abschwächen. In solchen Fällen ermittelt man also die richtige Basislage mit hoher Wahrscheinlichkeit durch assoziierte Phoriemessungen, da ein Tonus nach Carters Experimenten, am schnellsten im Binokularsehen, unter Anwesenheit peripherer Fusionsreize, gelöst werden kann.

Haase hat solche Tonusumschläge gerade bei Exophorien beobachten können. Nach "Einpendelvorgängen" bei exophoren Probanden ermittelte er am Ende der Korrektur sogar Esophorien [Haase, 1995, S.16].

Haase konnte aus seinen Untersuchungen schließen, dass in nur ca. 20% aller Fälle die Werte der Heterophorie und der assoziierten Phorie übereinstimmen. Diese 20% könnten laut dieser theoretischen Ansätze, Fälle schlechter Vergenzadaptation darstellen.

Da die meisten amerikanischen Optometristen ihre Messungen im Dunkeln durchführen, spielen natürlich auch die Dunkelakkommodation und alle weiteren von Haase beschriebenen Hell-Dunkel-Effekte eine bedeutende Rolle für auftretende Differenzen [Haase, 1980, S.140-144]. Nach den hier her ausgearbeiteten Theorien könnten jedoch zusätzlich ebenfalls hohe Unterschiede in AC/A und CA/C bei geringem Vergenzadaptationsvermögen, die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Phoriemessarten begründen.

Haases Auffassung zufolge würden sich jedoch die Vergenzadaptation (plastischer Muskeltonus) nach längerem Prismetragen (ähnlich wie bei einer Hyperopiekorrektur) lösen und erneut Beschwerden hervorrufen. Die Amerikaner interpretieren diesen Vorgang jedoch als Prismenadaptation oder als Vorgang zur Aufrechterhaltung der Heterophorie.

Es scheint schwierig, diese Prozesse klar voneinander zu trennen. Einerseits scheint es nur natürlich, dass sich ein plastischer Tonus bei Entlastung der Muskulatur lösen kann, andererseits ist es auch nicht auszuschließen, dass Prismenkorrekturen massiv in das Gleichgewicht der AC/A - CA/C -Kopplung eingreifen und somit ein erneutes korrektionsbedürftiges Ungleichgewicht hervorrufen könnten.

Notwendigkeit von Vergenzbreiten

Im orthophoren Zustand werden bei natürlichen Sehaufgaben hauptsächlich unterschiedliche Konvergenzstadien in verschiedenen Sehentfernungen benötigt. Divergenz bringt dabei eine konvergente Augenstellung maximal in parallele Ausrichtung (Wechseln Nähe-Ferne).

Jeder Entfernungswechsel muss die Tonizität der Augenmuskeln ändern, dabei helfen nach dem Modell Maddoxs, tonische Vergenz (Grundtonus), akkommodative Vergenz und nach Hofstetter proximale Vergenz [Cooper, 1992, S.300]. Trotzdem ist für klares binokulares Einfachsehen (je nach AC/A - CA/C Konstellationen) zusätzlich fusionale Vergenz nötig, um den benötigten Vergenzbetrag zu regulieren. Dies wird an folgenden 2 Beispielen deutlich.

Möglicherweise reagiert das Vergenzsystem zusätzlich auf vegetative Prozesse, die laut Birnbaum und Haase Einflüsse auf den Vergenzzustand haben können (siehe Kap. 5.5). Auch bei Sakkaden werden Vergenzreserven benötigt, da immer erst das Führauge die Fixation ergreift und danach das nichtdominante Auge den entstandenen Vergenzbetrag durch Fusion überwinden muss [Vorlesung Moest, CA SS 2001].

North & Henson fanden schnellere Konvergenzadaptationen in der Ferne und Mitchell und Ellerbrock schnellere Divergenzadaptationen in der Nähe. Diese Ergebnisse könnten andeuten, dass die Konvergenz in der Ferne (beim Blickwechsel Ferne-Nähe) durch schnellere Adaptationsvorgänge tonisch unterstützt wird und die Divergenz in der Nähe (Blickwechsel Nähe-Ferne).

Das Vergenzsystem zeigt jedoch in Ferne und Nähe fusionale Reserven, sowohl in Richtung Konvergenz, als auch in Richtung Divergenz. Aus diesem Grund kann vermutet werden, dass es zusätzlich zu den aufgeführten Ursachen andere physiologische Vorgänge gibt, die beide Vergenzrichtungen erfordern. Eventuell haben verschiedene natürliche aber auch krankhafte vegetative Prozesse eines Körpers Einfluss auf den Akkommodations- und somit auf den Vergenzzustand. Diese Thematik wird im Kap. 5.5 anhand von Theorien Birnbaums und Haases aufgearbeitet.

Besonderheiten vertikaler Vergenzen

Aus den amerikanischen Studien geht hervor, dass vertikale Adaptationsprozesse gleichmäßiger, intensiver und andauernder arbeiten, als horizontale. Eine Erklärung hierfür könnte der Umstand sein, dass vertikale Vergenzen unter natürlichen Bedingungen im Gegensatz zu horizontalen bei normalen Blicksprüngen weniger gefordert werden. Sie können aber z.B. beim Neigen des Kopfes zur Seite entstehen. Bei diesen vertikalen Vergenzen sollten Kopplungen von AC/A und CA/C keine direkte Rolle spielen. D.h. rasche Prismenadaptationen zum Abstellen der Vergenzakkommodation, die einen raschen Anstieg von Akkommodation und Vergenz unter *closed-loop* Bedingungen be-

wirken, sind hier physiologisch eher nicht von Bedeutung. Deshalb sind vertikale Fusionsbreiten auch im Normalfall symmetrisch und viel geringer ($2-3^{\text{cm/m}}$) als horizontale.

Wie sich auch aus eigenen *VT*-Erfahrungen zeigt, sind vertikale Vergenzen im Gegensatz zu horizontalen nicht kognitiv steuerbar. Wird prismatisch Diplopie innerhalb der vertikalen Fusionsbreite induziert (z.B. durch $3^{\text{cm/m}}$), so entstehen oft spontan Doppelbilder, die sich nur langsam, ohne beeinflussbare Mechanismen einander annähern. Würde man in gleicher Weise innerhalb der horizontalen Fusionsbreite prismatisch Diplopie erzeugen, so könnte diese mittels erlernter Feedbackmechanismen spontan abgestellt werden. Entsteht jedoch außerhalb der vertikalen Fusionsbreite Diplopie, so nähern sich die Doppelbilder ebenfalls langsam (teilweise erst nach 3-4min) an. Dies konnte nach Abreißen der horizontalen Fusion nicht beobachtet werden. Es ist daher anzunehmen, dass nach Auftreten eines anatomischen oder pathologischen vertikalen Muskelungleichgewichtes, ein Adaptationsmechanismus ausdauernder arbeiten muss, da es sich nur selten um einen kurzzeitig erzeugten fusionalen Vergenzbedarf handeln sollte.

Überkonvergenzen

Vaegan fand 1979 heraus dass bei 28-38% aller Exo-Fälle nach orthoptischem Training $FD_{(USA)}$ s entstehen können. Durch die erlernte Adaptationsfähigkeit entstehen daher paradoxe Verhältnisse zwischen $FD_{(USA)}$ und Heterophorie. Exzessives Adaptieren kann daher eine Heterophorie unter binokularen Umständen (assoziierte Phorie) überkompensieren [Schor & Cuiffreda, 1983, S.470]. Ein ähnliches Phänomen konnte auch schon Carter in einigen Esophoriefällen entdecken, die nach der Adaptation maximaler Ba-Werte mit diesen Prismen ihre ursprünglichen Heterophorie- und $FD_{(USA)}$ - Werte paradoxerweise sogar überstiegen, anstatt eine Exo- $FD_{(USA)}$ bzw. Exo-Heterophorie auszubilden [Carter, 1965, S.144]. Wie bereits erwähnt konnte auch Haase innerhalb der MKH beobachten, dass sich korrigierte Exophorien in Esophorien wandeln können [Haase, 1995, S.16].

Alpern, Carter aber auch North & Henson fanden heraus, dass das Vergenzsystem auf Konvergenzzwänge schneller, stärker und ausdauernder zu reagieren scheint, als auf Divergenzzwänge. Deshalb scheint es nicht verwunderlich, dass permanente Konvergenzübungen Phorien tonisch wandeln könnten. In diesen Zusammenhang passen ebenfalls die von Carter geschilderten Überkompensationen induzierter Exophorien. Sie scheinen eine verstärkte Reaktion des Vergenzsystems auf Konvergenzzwänge darzustellen. Man sollte daher, wie im Kap. 5.4.8 beschrieben, auch innerhalb der MKH sehr vorsichtig mit undurchsichtigen Ba-Korrekturen umgehen.

5.4 Interaktionen von Akkommodation und Vergenz

Im folgenden Kapitel sollen die Zusammenhänge zwischen akkommodativer Vergenz und Vergenzakkommodation in ihrer Notwendigkeit und in ihren Auswirkungen auf das Sehen dargestellt werden.

5.4.1 Der biologische Regelkreis

Akkommodation und Vergenz folgen dem Prinzip des biologischen Regelkreises. Sie werden nicht nur vom zentralen Nervensystem gesteuert (einseitiger Informationsfluss, Ausgangssignal hat keinen Einfluss auf Eingangssignal), sondern auch durch einen Ist-Soll-Wertvergleich geregelt, um sie aufeinander abzustimmen. Über Regelkreise kontrolliert der Körper permanent den eigenen Zustand, damit seine Funktionen weitestgehend unabhängig von äußeren Umwelteinflüssen gewährleistet sind. Nur so lässt sich z.B. innerhalb der amerikanischen Sehfunktionsmessung trotz vergenz- und akkommodationsbeeinflussender Gläser (sphärisch oder prismatisch), bis zu einem gewissen Grad einfaches und klares Sehen aufrechterhalten.

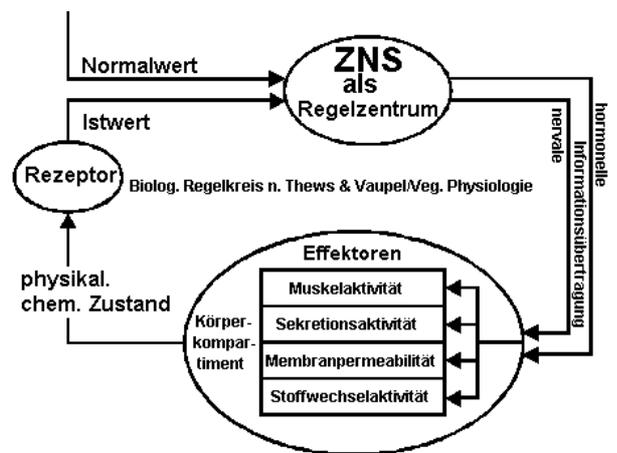


Abbildung 5.4-1: Der biologische Regelkreis

Ein Regelkreis beinhaltet fünf Elemente:

1. eine Regelstrecke (affarente Nervenbahn), an deren Eingang eine Störgröße liegt (Diplopie oder Unschärfe)
2. eine Regelgröße, die einen Istwert hat (scharf und einfach),
3. ein Messglied zum Messen des Istwertes (Netzhautrezeptoren),
4. einen Regler zum Vergleich des Ist- mit einem Sollwert (zentrales Nervensystem, niedrigere Nervenzentren) und
5. ein Stellglied (efferente Nerven an Augenmuskeln), das die Regelstrecke verändert.

Im Körper gibt es zwei Klassen von biologischen Regelkreisen, die eine mit negativer und die andere mit positiver Rückkopplung. Negativ gekoppelte Regelkreise -wie z.B. der Akkommodations- Vergenzregelkreis- versuchen, den normalen Wert einer physikalischen oder chemischen Größe wieder herzustellen (z.B. scharfes und einfaches Netzhautbild). Sie haben einen stabilisierenden Einfluss. Regelkreise mit positiver Rückkopplung verstärken die Änderung und haben eine destabilisierende Wirkung (z.B. der negative Lernprozess).

Stehen Effektoren -wie äußere und innere Augenmuskulatur (Akkommodation und Vergenz)- regulierend in Wechselbeziehung, so spricht man von einem geschlossenen Regelkreis (*closed loop*). Offene Regelkreise (*open loop*) liegen vor, wenn der Ist- Sollvergleich nicht mehr erfolgen kann, z.B. bei Ausschaltung der Akkommodation durch eine Lochblende oder bei Ausschluss der Vergenz durch die Okklusion eines Auges. Im nachfolgenden Abschnitt wird gezeigt, dass ein geschlossener Regelkreis zwischen Akkommodation und Vergenz immer einer stärkeren Anforderung der Effektoren bedarf als unter geöffneten Bedingungen [Internet, Veterinärmedizinische Uni Wien, Okt 2002].

5.4.2 Messmethoden

Herkömmliche AC/A und CA/C Messungen im geöffneten Regelkreis

Reflexakkommodation ruft automatisch auch unter *open loop* Bedingungen eine konstant gekoppelte akkommodative Vergenz (AC/A) hervor und umgekehrt. Diese Kopplung erleichtert den Augen zusammen mit der proximalen Vergenz, sich ohne größere Anstrengung auf ändernde Objektentfernungen einzustellen. Bestände dieser Mechanismus nicht, so müsste bei einer Objektentfernung von 0,4m und einer PD von 6cm zusätzlich zur tonischen eine fusionale Vergenz von $15^{cm}/m$ aufgebracht werden.

Der fest gekoppelte Konvergenzbetrag lässt sich durch Differenz-Messungen der Heterophorie mit und ohne -1,0 dpt binokularer Addition ermitteln. Dabei ist darauf zu achten, dass der Proband diese Akkommodation konstant hält. Die gefundene Differenz entspricht dem AC/A -Gradienten unter dissoziierten bzw. *open loop* - Bedingungen. Die Normspanne beträgt 2-6cm und der Normwert in amerikanischer Schreibweise $4/I$ (entspr.: 4cm). Da man bei dieser Messung nicht kontrollieren kann, ob die Akkommodation den vollen Betrag des Reizes aufbringt, spricht man auch vom *stimulus AC/A*. Misst man klinisch den genauen Betrag der Akkommodation, so erhält man den *responds AC/A*.

Bei konstanter Objektentfernung ändert sich umgekehrt auch der Akkommodationszustand, wenn man den fusionalen Vergenzbetrag erhöht. Misst man diesen Betrag unter *open loop* - Bedingungen, so benötigt man ein *blurr free* - Objekt, wie z.B. die *Gaussian (DOG) target*. Dieses Fusionsobjekt besitzt eine geringe räumliche Frequenz und fordert daher keine signifikante Reflexakkommodation. Schließlich wird jeweils mit und ohne 1 MA (entspricht $6^{cm}/m$ Prismen) der Akkommodationszustand mittels Skiaskopie gemessen. Die geringe Akkommodationsänderung von ca. 0,5dpt pro $6^{cm}/m$ ergibt die CA/C (Vergenzakkommodation). Diese zeigt an, wieviel Akkommodation an einen Vergenzaufwand von $6^{cm}/m$ bei einer 60iger Pupillendistanz in 1m Entfernung gekoppelt ist [Bimbaum, 1997, S.110].

AC/A Messmethode im geschlossenen Regelkreis

Wie bereits im Kap. 5.2.3 dargestellt wurde, können $FD_{(USA)}$ -Kurven, nach der von Ogle 1959 entwickelten Methode, Aufschluss über den Zusammenhang zwischen Vergenz und Akkommodation unter binokularen Bedingungen darstellen. Man ordnet jedem prismatischen Wert den jeweiligen sphärischen Wert zu, der die gleiche $FD_{(USA)}$ hervorruft. In den meisten Fällen ergeben diese abgeleiteten Kurven eine gerade Linie, die andeutet, dass der binokulare AC/A bei ansteigender bzw. reduzierter Akkommodation relativ konstant bleibt. Die assoziierte AC/A ist generell größer, korreliert aber trotzdem nur gering mit der dissoziierten AC/A . In einigen Fällen kann unter binokularen Bedingungen der Kurvenverlauf des Verhältnisses zwischen akkommodativer Vergenz und Akkommodation ungeradlinig sein und trotzdem eine Gerade im Monokularsehen ergeben. Ogle et al. vermuteten, dass Unterschiede innerhalb der Akkommodationsreaktionen zu diesen Differenzen beitragen [Ogle, 1967, S.110]. Schor hielt dies für äußerst unwahrscheinlich, da sich die Akkommodationsreaktion im Binokularsehen teilweise verdoppeln müsste, um die Differenzen herzustellen. Er

vermutete, nach den im Kap. 5.3.1 beschriebenen Experimenten Semmlows & Hungs, dass Vergenzakkommodation (CA/C) über die Kreuzverbindung zur AC/A den Anstieg der Akkommodation und somit den *stimulus* AC/A zur Folge hatte [Schor & Ciuffreda, 1983, S.503].

Wick hingegen fand Hinweise darauf, dass im Binokularsehen möglicherweise nicht die akkommodative Vergenz, sondern die proximale Vergenz ansteigen kann (von 2,53cm auf 4,22cm). Diese Erkenntnisse wurden von Ogle und Schor bei der assoziierten AC/A -Messung nicht berücksichtigt [Wick, 1985, S.10].

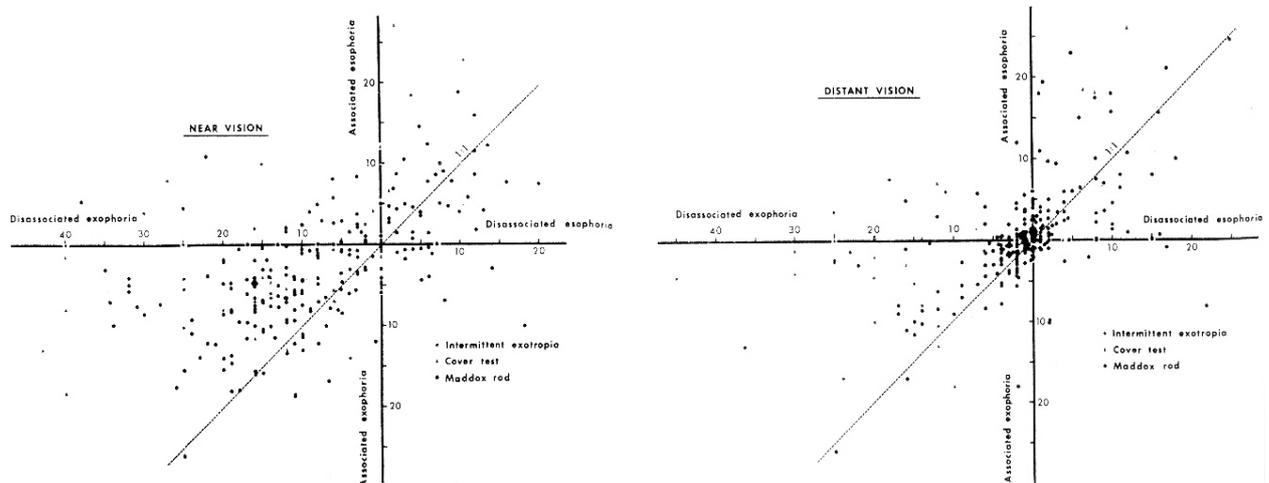


Abbildung 5.4-2: Vergleich Heterophorie – $AP_{(USA)}$ [Ogl, 1967, S. 108]

Alle diese Beobachtungen verdeutlichen, dass assoziierte Messungen in vielen Fällen eine stärker esophore Augenruhestellung ermitteln. Ogle hat dieses Phänomen bei der Mehrzahl von 200 untersuchten Probanden gefunden und graphisch festgehalten (Abb. 5.4-2). Alle Punkte oberhalb der Geraden zeigen hauptsächlich in der Nähe stärker esophore bzw. schwächer exophore $AP_{(USA)}$ s im Vergleich zu den HP-Werten an.

5.4.3 Bedingungen bei geschlossenem Regelkreis

Im Folgenden soll an zwei Beispielen die Interaktion der AC/A und CA/C verdeutlicht werden.

Beispiel 1

Besitzt jemand eine Nahesophorie von 6 cm/m , eine normale AC/A von $4/1$ (4cm) und eine CA/C von $0,5\text{dpt}/6 \text{ cm/m}$, so sorgt die negative Rückkopplung des Vergenzreglers dafür, dass die Nahesophorie durch Divergenz kompensiert wird. Daran ist automatisch eine Desakkommodation von ca. $-0,5\text{dpt}$ gekoppelt. Durch hervorgerufene Unschärfen reagiert der Regler der Akkommodation ebenfalls mit einer negativen Rückkopplung, die eine Reflexakkommodation von $0,5\text{dpt}$ initiiert. Diese erhöht wiederum aufgrund akkommodativer Konvergenz die Esophorie um 2 cm/m . An diesen Betrag ist erneut eine durch Desakkommodation hervorrufoende Divergenz gekoppelt. Beide Systeme beeinflussen sich also gegenseitig, bis das Objekt scharf und einfach wahrgenommen wird.

Beispiel 2

Diese Interaktionsprozesse treten ebenfalls auf, wenn während der amerikanischen Sehfunktionsmessung z.B. eine Addition von $-1,0\text{dpt}$ binokular vorgehalten wird. Die Addition bewirkt eine zusätzliche Akkommodation von $+1,0\text{dpt}$ an die eine akkommodative Konvergenz gekoppelt ist. Diese wiederum löst durch den Vergenzregler eine Divergenz aus, an die erneut Desakkommodation gekoppelt ist. Vom Akkommodationsregler wird Letztere durch zusätzliche Anspannung der Akkommodation reguliert, was schließlich die induzierte Esophorie erhöht [Schor, 1983b, S.9].

Diese Beispiele verdeutlichen, dass es unter binokularen Bedingungen immer zu erhöhten Anforderungen in der (Des-)Akkommodation und Vergenz kommt, sobald künstliche oder natürliche Faktoren sie aus ihrer Ruhestellung bringen (siehe auch Kapitel 5.5)

Schor entwickelte spezielle Formeln, Diagramme sowie Regelkreismodelle, um diese Interaktionen darzustellen. Abb. 5.4-3 zeigt die Interaktionen unter *closed loop* - Bedingungen. Dieser Regelkreis wurde ursprünglich 1980 von Semmlow und Hung entwickelt, Schor integrierte später den Einfluss der Prismenadaptation (*PA*), auf die im Kap. 5.3.1 ausführlicher eingegangen wird.

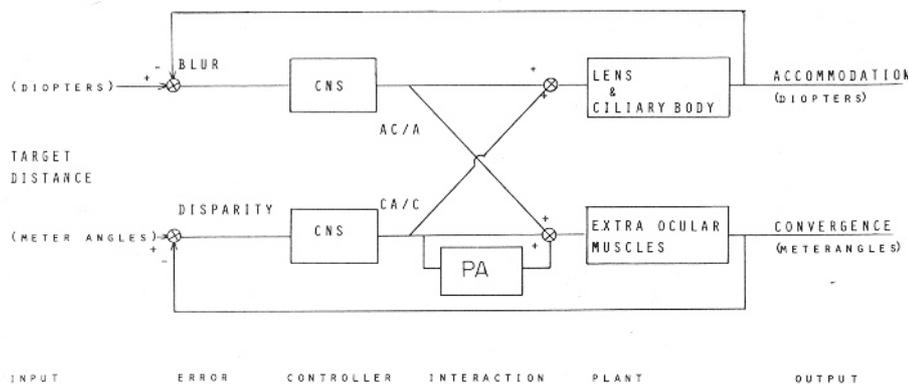


Abbildung 5.4-3: Akkommodation-Vergenz-Regelkreis [Schor & Ciuffreda, 1983, S. 507]

Der obere Bereich dieser Abbildung zeigt den Akkommodations-, der untere den Vergenzregelkreis. Das Ausgangssignal wird über das Fixationsobjekt (*target*) durch Unschärfe (*blur*) und durch den Vergenzbedarf (*disparity*) als Fehler (*error*) an das kontrollierende zentrale Nervensystem (*CNS*) geleitet. Aufgrund der Fehlermeldung "Istwert \neq Sollwert" werden die Effektoren [Ziliarkörper (*ciliary body*) und äußere Augenmuskulatur (*extra ocular muscles*)] veranlasst, die Fehlerausgangssignale durch Akkommodation und Vergenz zu reduzieren. Beide Systeme regulieren sich wechselseitig über die *AC/A* – *CA/C* - Kreuzverbindung (*cross link*). Die Vergenzadaptation reduziert den Vergenzfehler und über die *AC/A* – Verbindung außerdem die akkommodative Anforderung. Interaktionen können auf diese Weise reduziert werden [Schor & Ciuffreda, 1983, S.507]. Späteren Theorien Schors zufolge scheint auch die Akkommodationsadaptation in diese Prozesse einzugreifen. Zudem wurde in dem abgebildeten Modell der Einfluss proximaler Vergenz auf die Interaktionen noch nicht berücksichtigt. Wick ergänzte die Untersuchungen später durch die von ihm beobachteten proximalen (psychischen) Einflüsse (siehe Kap. 5.4.6).

Quantitative Berechnungen

Anhand der oben angeführten Beispiele soll hier die reelle Anforderung an Vergenz und Akkommodation berechnet werden, die durch Akkommodations- und Vergenzregler unter *closed loop* Bedingungen entsteht. Zum besseren Verständnis wurden die Variablen in den von Schor [Schor, 1983b, S.10] stammenden Formeln teilweise modifiziert.

Erläuterungen von Variablen der nachfolgenden Formeln

Variabel	Bedeutung
CD	reelle fusionale Vergenzanforderung, bei AC/A – CA/C-Interaktion
AD	Reeller Akkommodationszustand, bei AC/A – CA/C-Interaktion
Pn	Nah-Heterophorie (z.B. <i>Covertest</i> ergebnis oder Graefetest)
FCC (<i>fused cross cylinder</i>),	Kreuzzylindermessergebnis bei Testung des Simultankontrasts in der Nähe ¹ Wird von Schor <i>BXC</i> (<i>binocular cross cylinder</i>) genannt
Add	Zusätzlich zur Fernkorrektur gegebenes sphär. Glas
A_E	Kehrwert der Nahdistanz
Pr.	Prismenkorrektur
MEM	Dynamisches Skaiskopierergebnis (Unterakkommodation)

Tabelle 5.4-1

Anforderungen bei einer Nahheterophorie:

Fusional Convergence demand \triangleq fusionaler Vergenzanforderung (*CD*):

$$CD = Pn / [1 - AC/A \times CA/C]$$

Formel 5.4-1: Berechnung der heterophoriebedingten Vergenzanforderung

Total Accommodative demand \triangleq totale Akkommodationsanforderung (*AD*):

$$AD = CD \times CA/C + A_E - Add$$

Formel 5.4-2: Berechnung der resultierenden Akkommodationsanforderung

Zum Bsp. 1:

$$CD = 6_{\text{cm/m}} / [1 - (4/1_{\text{cm}} \times 0,5/6_{1/\text{cm}})]$$

$$CD = 9_{\text{cm/m}} - \text{Esophorie}$$

$$AD = 9_{\text{cm/m}} \times 0,5/6_{1/\text{cm}} + 2,5_{\text{dpt}}$$

$$AD = 3,25_{\text{dpt}}$$

In diesem Beispiel muss durch den zusätzlichen Divergenzbetrag bei einer Objektentfernung von 40cm, anstelle von 2,5dpt zusätzlich 0,75dpt akkommodiert und anstelle der 6^{cm}/m zusätzlich 3^{cm}/m divergiert werden.

¹ Dieser Wert entspricht der Akkommodationsruhelage in einer bestimmten Nahdistanz, die durch Add bzw. Phorie beeinflusst wird, man testet sie mittels eines Kreuzzylinder-Simultankontrasttestes in der Nähe [Diepes, 1975, S.277]

Anforderungen bei Akkommodationsruhestellungsfehler durch Addition:

$$AD = [FCC / (1 - AC/A \times CA/C)] + A_E - Add$$

Formel 5.4-3: Berechnung der Akko.anforderung bei gegebener Addition

$$CD = (AD - A_E + Add) \times AC/A + P_N$$

Formel 5.4-4: Berechnung der resultierenden Vergenzanforderung

Zum Bsp. 2:

$$AD = [1,0_{\text{dpt}} / (1 - 4/1_{\text{cm}} \times 0,5/ 6_{1/\text{cm}})] + 2,5_{\text{dpt}} - (-1_{\text{dpt}})$$

$$\underline{AD = 5_{\text{dpt}}}$$

$$CD = (5_{\text{dpt}} - 2,5_{\text{dpt}} + -1,0_{\text{dpt}}) \times 4/1_{\text{cm}} + 0_{\text{cm/m}}$$

$$\underline{CD = 6_{\text{cm/m}}}$$

Das zweite Beispiel zeigt, dass bei Orthophorie in 40cm Nahabstand, eine Addition von -1,0dpt anstelle von 3,5dpt, reell eine Akkommodation von insgesamt 5dpt erfordert und dabei 6^{cm}/m Divergenz aufgebracht werden muss.

Die Gleichungen verdeutlichen, dass die Anforderungen an Akkommodation und Vergenz immer höher sind, als Fixationsentfernung und HP es voraussagen würden. In Fällen stark reziproker Relationen zwischen AC/A und CA/C gehen die Nenner der Gleichungen 1 und 3 gegen null. Die Anforderungen für Akkommodation oder Vergenz fallen dann extrem hoch aus. In diesem Fall nimmt die Innervation für die Antwort des jeweiligen Systems unendlich hohe Werte an oder erreicht einen Grad der Sättigung. Binokulares Einfachsehen bzw. scharfes Sehen kann dann nicht mehr über die Regelkreise hergestellt werden. Das deutlich reziproke Verhältnis von AC/A und CA/C tritt immer dann auf, wenn eines der ermittelten Verhältnisse extrem hoch ausfällt. Im Beispiel 1 würde z.B. eine AC/A von 8/1 (8cm) eine Akkommodation von 3,75dpt und eine Vergenz von 18^{cm}/m erfordern, im Beispiel 2 dagegen eine Akkommodation von 6,5dpt und eine Divergenz von 24^{cm}/m.

Prismen und Additionen haben auf diese Interaktionen in falscher Richtung einen verstärkenden, in richtiger einen regulierenden Einfluss. Würde man im ersten Beispiel 6^{cm}/m Ba oder +0,75dpt Add. geben, so würden sich beide Systeme wieder im Gleichgewicht befinden.

Allgemeine Formelzusammenhänge

Folgende Formeln stellen den Einfluss von Additionen, Prismenkorrekturen sowie Unterakkommodation (*MEM*- Ergebnis) dar. Bei gegebenem AC/A und CA/C kann man auch umgekehrt Korrektionswerte für Additionen, Prismenkorrekturen oder entsprechende Kombinationen ableiten:

$$AD = \frac{FCC - [Add + MEM + Pr. \times CA/C]}{1 - (AC/A \times CA/C)}$$

$$CD = \frac{P_n - [Pr. + (Add + MEM) \times AC/A]}{1 - (AC/A \times CA/C)}$$

Formel 5.4-5: Akko.anforderung bei Pr., Add. und *MEM*

Formel 5.4-6: Verg.anforderung bei Pr., Add. und *MEM*

Der Wert CD nimmt für Esophorien positive und für Exophorien negative Beträge an. Der Wert für AD wird dagegen für Esophorien und Exophorien positiv bleiben, es sei denn, bei einer Exophorie muss über die Fernakkommodation hinaus desakkommodiert werden, um die Leseprobe binokular einfach und scharf sehen zu können (in der Praxis eher unwahrscheinlich).

Graphische Analyse der AC/A- und CA/C-Kopplung

Diese graphische Darstellung der Interaktion wurde von Schor und Narayan 1982 entwickelt. Die gestrichelten Linien der Abbildung 5.4-2 kennzeichnen den Akkommodations- (2,5dpt) und Vergenzstimulus ($15\text{cm}/\text{m}$ bei PD von 6cm und 0,4m Entfernung). Die Nahesophorie von $6\text{cm}/\text{m}$ ist mittels eines 'x' vom Schnittpunkt Akko./Vergenzstimulus horizontal abgetragen. Anders als bei der klassischen graphischen Analyse (Hofstetter, 1945), wurde hier die AC/A-Linie nicht durch die Phorie, sondern durch den Nahreferenzpunkt gezeichnet. Die CA/C-Linie verläuft durch die $AP_{(USA)}$ und demonstriert die Akkommodationsänderung beim Aufbringen der fusionalen Vergenz zur Überwindung der assoziierten Phorie in 40cm. Der horizontale Vektor steht für die Vergenzanforderung (Cd) und der vertikale für die zusätzliche Akkommodationsanforderung zuzüglich +2,5dpt (Ad -2,5dpt). Das obere Diagramm zeigt die Anforderungen bei einer normalen AC/A von 4/1 und das untere bei einer auffällig hohen AC/A von 8/1.

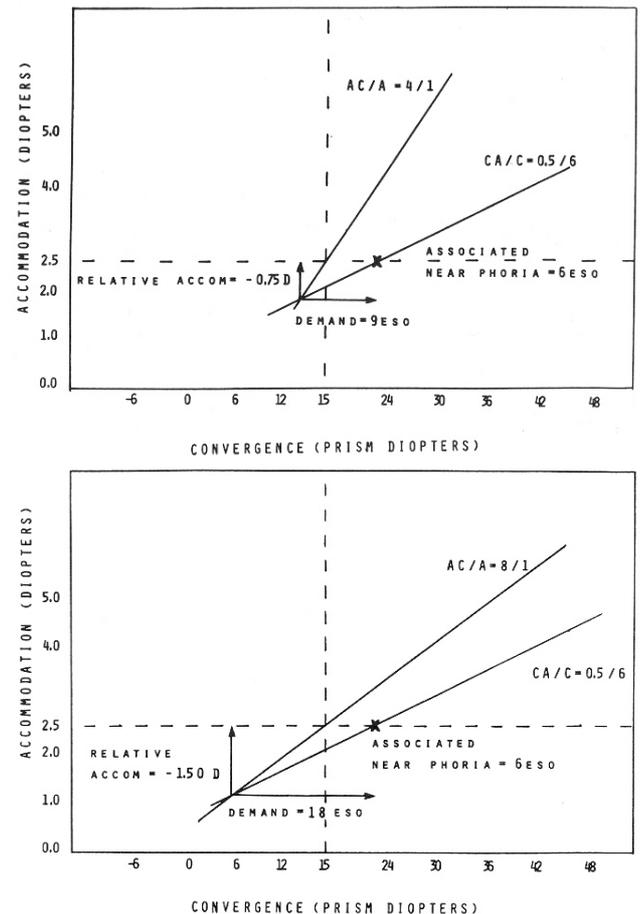


Abbildung 5.4-2: AC/A-CA/C – Graphikanalyse

[Schor, 1982, S.781-782]

5.4.4 Vergenz- und Akkommodations-Adaptationsfähigkeit

Amerikanische Optometristen klassifizieren Auffälligkeiten wie in Kap. 3.1.5 dargestellt, hauptsächlich nach der Größe des AC/A-Verhältnisses, weil ein von der Norm abweichendes Verhältnis oft entweder in der Ferne oder in der Nähe visuelle Probleme hervorruft, die dann in dieser Entfernung bevorzugt behandelt werden. Im Folgenden soll dargestellt werden, inwiefern die Adaptationsfähigkeit beider Systeme auf diese optometrischen Befunde Einfluss nimmt.

Vergenz- und Akkommodationssystem können geforderte Anforderungen zum binokular scharfen Einfachsehen mittels zweier Komponenten überwinden: einer schnell reagierenden Reflexmotorik (Reflexakkommodation und schnelle Vergenz) und eines sich erst allmählich aufbauenden Muskeltonus (Akkommodationstonus und langsame Vergenz). Schor nannte die Fähigkeit, einen Tonus zu bilden, Adaptationsfähigkeit (*adaptability*). Der jeweilige Tonus reduziert den nervösen Energiebedarf

des beanspruchten Systems. Die AC/A und CA/C werden hauptsächlich von der Reflexmotorik hervorgerufen und kaum bzw. gar nicht von dem dazugehörigen tonischen Anteil. Das bedeutet, wenn die Akkommodation dazu neigt, schnell einen hohen Tonus aufzubauen, so fällt die akkommodative Vergenz (AC/A) gering aus. Häufig ist in diesen Fällen die Vergenzadaptation gering (siehe Tab. 5.4-3, Spalte 2; Zeile 4 und 5). In diesem Fall entstehen besonders geringe AC/A -Verhältnisse ($<4/1$) sprich Vergenzinsuffizienzen. Umgekehrt wird die Vergenzakkommodation (CA/C) hauptsächlich von der schnellen Vergenz ausgelöst. Sie ist besonders gering, wenn ein hoher Vergenztonus bzw. eine hohe Vergenzadaptation existiert und umgekehrt. Sie wird auffällig niedrig wenn wiederum die Akkommodationsadaptation zu gering ist (siehe Tab. 5.4-3 Zeile 6; Spalte 4).

Vergenzadaptation	Akkommodationsadaptation			
	hoch	moderat	niedrig	
hoch	4	6	8	AC/A
moderat	3	5	7	
niedrig	2	4	6	
hoch	0,5	0,25	0,0	CA/C
moderat	1,0	0,75	0,5	
niedrig	1,5	1,25	1,0	

Tabelle 5.4-3: Vorhersehbare AC/A – CA/C Relationen im Bezug zur Adaptationsfähigkeit [Schor, 1988, S.465]

AC/A und CA/C stehen über Kreuzverbindungen (*cross links*) in Wechselbeziehung. Daher kann Vergenzadaptation nicht nur durch Prismen, sondern auch über akkommodative Vergenz mittels sphärischer Gläser ausgelöst werden. Umgekehrt lässt sich ein Akkommodationstonus durch den Einsatz sphärischer Gläser oder über Vergenzakkommodation (Prismen) verursachen. Extremwerte der CA/C oder AC/A entstehen immer dann, wenn die Adaptationsfähigkeit nur eines der beiden Systeme besonders hoch ausfällt (siehe Tab. 5.4-3). In diesen Fällen kann es zu Sehstörungen und Asthenopien kommen [Schor, 1988, S.465].

5.4.5 Kann das AC/A -Verhältnis verändert werden?

In der amerikanischen Optometrie herrscht die konventionelle Meinung, dass die AC/A eine konstante Größe ist [Schor & Ciuffreda, 1983, S.125]. Wissenschaftler wie Manas, Ogle, Schor & Ciuffreda haben diese Aussage mittels verschiedener Experimente kritisch hinterfragt, um mögliche Behandlungsstrategien zu optimieren.

In vielen dieser Experimente wurde der Unterschied zwischen *stimulus* AC/A (Annahme, dass Akkommodationsänderung dem Reiz entspricht) und *response* AC/A (genaues Messen der Akkommodationsantwort) nicht beachtet, ebenso wenig die Zeitverzögerung, mit der die Desakkommodation eintritt. Messwertschwankungen des *stimulus* AC/A liegen bei ca. $1,5^{cm}/m$ bei 1dpt (1,5cm).

Flom (1960) beachtete alle genannten Kriterien und konnte keine größeren durchschnittlichen *response* AC/A -Schwankungen als 0,25cm messen [Schor & Ciuffreda, 1983, S.127].

Alter

Fry (1959) und Breinin & Chin (1973) verglichen die *response* AC/A von Presbyopen mit Präpresbyopen und fanden bis zum Alter von 40 Jahren einen leichten und danach einen starken Anstieg der *response* AC/A , wohingegen die *stimulus* AC/A nahezu konstant blieb [Schor & Ciuffreda, 1983, S.132]. D.h. weniger real aufgebrachte Akkommodation konnte bei gleichem Reiz eine ähnlich hohe Vergenz auslösen. Trotzdem findet man in vielen Fällen eine höhere Nahexophorie bei Presbyopen ($\emptyset 9^{cm}/m$) [Wick, 1985, S.11]. Eventuell würde sie jedoch ohne den Anstieg der *response* AC/A höher ausfallen und Asthenopien hervorrufen.

Visualtraining

Flom hat in einer weiteren Studie (1960) untersucht, inwiefern Visualtraining (*VT*) die *stimulus* und *response AC/A* verändert. Hätte *VT* einen nachhaltig großen Effekt auf die *AC/A*, so könnten viele binokulare Probleme beseitigt werden. Er fand nach einem achtwöchigen Konvergenztraining bei binokular unauffälligen Studenten einen leichten Anstieg der *response AC/A* von 0,66cm (*stimulus AC/A*: 0,32cm), der noch ein Jahr nach Abbruch der Therapie nachweisbar war.

Schor stellte fest, dass die *response AC/A* aber auch die *CA/C* jeweils nach einem 4-minütigen Konvergenz- bzw. Akkommodationstraining durch die Schwächung der Adaptationsfähigkeit beeinflusst werden konnte. Bei einem Probanden konnte eine hohe Akkommodationsadaptation (Tonusbildung) durch eine 4minütige Akkommodationsübung mittels eines schnell wechselnden Minusglases (2dpt bei 0,75Hz) reduziert ("ermüdet") werden. Dabei stieg die *AC/A* von 2 auf 4cm und die *CA/C* sank von 1,35 auf 0,9dpt/MA. Ebenso konnte eine hohe Vergenzadaptationsfähigkeit durch 4minütige prismatische Konvergenzstimuli ($6^{\text{cm}}/\text{m}$ bei 0,75Hz) geschwächt werden. Dabei stieg die *response CA/C* von 0,2 auf 0,6dpt/MA und die *response AC/A* sank von 8 auf 4cm [Schor 1988, S.467-471]. Leider wurde nicht erwähnt, wie lange die Veränderungen andauerten.

Optische Korrekturen

Bei einem Experiment, in dem unterkorrigierte Myope eine Woche lang die volle Korrektur trugen, konnten Flom et al. mit der Reduktion der induzierten Nahesophorie eine geringere *stimulus AC/A* bei Esophoren (1cm) als bei Exophoren (0,3cm) messen. Die *response AC/A* reduzierte sich allerdings in diesen Fällen nicht signifikant. Man vermutete, dass sich die positive relative Akkommodation (*PRA*) verringerte, weil sich die konditionierte fusionale Vergenz (Vergenztonus) anstelle der akkommodativen reduzierte [Schor & Ciuffreda, 1983, S.137].

Weitere Einflüsse

Es konnte nachgewiesen werden, dass Strabismusoperationen und Medikamente und Drogen einen Einfluss auf die *stimulus AC/A* haben.

Operationen beeinflussen die Vergenzreaktion zwar mechanisch, sie verändern jedoch nicht die neuralen Kreuzverbindungen zwischen Akkommodation und *AC/A* [Schor & Ciuffreda, 1983, S.140].

Barbiturate, Alkohol und Anticholinesterase senken die *AC/A* künstlich. Die ersten beiden Vertreter durch Blockaden der Vergenzregler im zentralen Nervensystem und letzteres durch die Erhöhung der Ziliarkörperfunktion. Amphetamine erhöhen die *AC/A* durch Vergenzstimulation und Zyklopendolate durch Schwächung der Ziliarkörperfunktion [Ogle, 1967, S.195 – 220].

5.4.6 Abgrenzung der proximalen Vergenz von der *stimulus AC/A*

Wick beschäftigte sich ausgiebig mit dem Zusammenhang zwischen *AC/A*- *CA/C* Interaktionen und der proximalen Vergenz (*PV*). Er fand heraus, dass unter assoziierten Messungen durch vorhandenes Stereosehen (besseres Abschätzen der Entfernung) die proximale Vergenz signifikant größer ausfällt als unter dissoziierten Verhältnissen und gegenüber der akkommodativen Vergenz stärker

zur Nahvergenz beiträgt. Daher integrierte er die proximale Vergenz und später auch die proximale Akkommodation in Schors Interaktionsschema (siehe Abb.5.4-5). Diese Relation zwischen AC/A und PV unterstützt die Nahfusion bei fortschreitender Presbyopie, wenn trotz erhöhter $response\ AC/A$, kaum noch Akkommodationsvermögen vorhanden ist. Proximale Vergenz reduziert neben

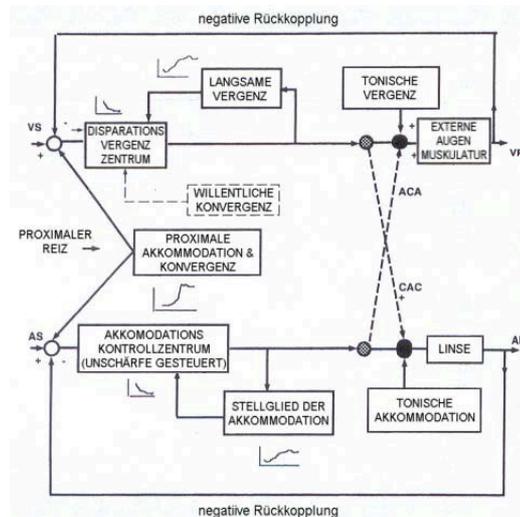


Abbildung 5.4-5: Proximale Vergenz im AC/A-CA/C – Regelkreis

[Cooper, 1992, S. 302]

der Vergenzadaptation die hohen Vergenz- und Akkommodationsanforderungen bei AC/A - CA/C Interaktionen im geschlossenen Regelkreis, indem sie die fusionale Vergenz stärker als unter dissoziierten Umständen ersetzt. Aus diesem Grund könnten unter assoziierten Bedingungen häufiger esophore Abweichungen bzgl. dissoziierter Messergebnisse auftreten. Durch Addition der assoziierten Messungen der PV sowie der assoziierten AC/A (nach Hebbard 40% größer als dissoziierte AC/A) konnte in vielen Fällen die assoziierte Nahphorie vorhergesagt werden. Die mitunter auftretende Differenz könnte nach Wick durch Vergenzadaptationserscheinungen unter binokularen Bedingungen hervorgerufen werden (siehe Kap. 5.3.1).

Proximale Vergenz kann kalkuliert werden, wenn man weitere Anteile der Vergenz (akkommodative und fusionale) von der Vergenzanforderung subtrahiert.

$$PV = PD \times 2,5dpt - h + H$$

Formel 5.4-7: Berechnung der proximalen Vergenz

Erläuterung der Variablen	
PV	Proximale Vergenz
PD	Pupillendistanz
$PD \times 2,5dpt$	Vergenzbetrag in 40cm
h	Nahheterophorie durch +2,5dpt
H	Fernheterophorie [exo(-), eso(+)]

Rechnet man mit der dissoziierten Phorie, so ergibt sich die dissoziierte PV , mit der assoziierten Phorie die assoziierte PV [Wick, 1985, S.1-18].

Wick und Londen (1987) empfahlen eindringlich, anstelle traditioneller, dissoziierter graphischer Analysen, eher assoziierte Messergebnisse, wie z.B. $FD_{(USA)}$ -Kurven, $AP_{(USA)}$ -, assoziierte AC/A -, proximale Vergenz- und CA/C Werte, in graphischen Auswertungen zu betrachten. Dies seien wesentliche Voraussetzungen, um binokulare Relationen zu verstehen und sie in der Korrektur bzw. Therapie zu berücksichtigen [Birnbaum, 1993, S.114].

5.4.7 AC/A- und CA/C- spezifisches Visualtraining

Nach den oben beschriebenen Erfolgen Schors in der Trainierbarkeit der *AC/A* und *CA/C*, könnte man versuchen, *VT* derart aufzubauen, dass problematische Interaktionen zwischen beiden Systemen reduziert werden. Hierzu bedarf es einer Langzeitstudie, um den nachhaltigen Erfolg dieser Strategie auf die *response AC/A* zu überprüfen. Bei 2 Exophoriefällen, die im Rahmen dieser Diplomarbeit betreut wurden, bewirkte *VT* generell enorme Verbesserungen der Symptome und Sehfunktionen. Gleichzeitig erhöhte sich die *stimulus AC/A*, wodurch wiederum eine Nahesophorie hervorgerufen wurde. Dieses Ergebnis stellte sich trotz genauer Einhaltung der Regeln und Anforderungen des am *PCO* praktizierten *VTs* ein. (siehe Kap. 6.2.5). Der beschriebene Verlauf wäre bei optimierter Strategie möglicherweise vermeidbar gewesen. Studien, aber auch mündliche Überlieferungen belegen, dass Konvergenzadaptationen nach absolviertem Konvergenz-*VT* häufig (ca. 30%) Exophorien in Nahesophorien wandeln [Wick, 1985, S, 14, Gallaway mdl. Überl., 31.10.02].

Schlechte Vergenzadaptation (bei Insuffizienzen) lässt *AC/A* abfallen und *CA/C* ansteigen. Man müsste also den Akkommodationstonus durch schnelles Wechseln sphärischer Gläser ermüden und die Vergenzadaptation durch langes Vorhalten von trainierenden Prismen erhöhen, um die Relation anzugleichen. Bei zu hoher *AC/A* (bei Vergenzexzess) müsste man sphärische Gläser lange vorhalten und mittels schneller Vergenzwechsel die Vergenzadaptation ermüden. Scheiman & Wick empfehlen ähnliche Strategien, wobei sie bei hohen *CA/C*- Konditionen akkommodationsbedingte Störungen des Binokularsehens vermuten. In solchen Fällen empfehlen sie schnelle, hohe Akkommodationsänderungen und nur geringe Vergenzübungen. Bei hohen Heterophorien ist ihrer Meinung nach eine gestörte Vergenzadaptation der Grund für Probleme. Aus diesem Grund empfehlen sie ein *jump vergence* Training (schneller Wechsel der Gläser) mit hohen Prismenwerten und nur wenig Akkommodationstraining [Scheiman & Wick, 1994, S.462].

Bislang wurden diese Theorien jedoch noch nicht in allgemeinen amerikanischen Trainingsstrategien berücksichtigt (auch nicht in den *VT*-Übungsplänen des *PCO*). Hier werden Adaptationen und Flexibilitäten immer in allen Systemen gleichmäßig trainiert.

5.4.8 Schlussfolgerungen

Die in diesem Kapitel erarbeiteten Zusammenhänge lassen darauf schließen, dass neben den deutschen Theorien zur Ursache von Asthenopien und Sehstörungen (Muskelungleichgewicht) auch ein gestörtes Zusammenspiel von Akkommodation und Vergenz einen großen Einfluss auf Symptome der Betroffenen haben können.

Es wäre interessant, herauszufinden, ob gestörte *AC/A-CA/C*-Relationen Phorien erzeugen oder ob sie möglicherweise nur aufgrund von *FD*-bedingten Hemmungen entstehen können. Es bleibt jedoch zu vermuten, dass Hemmungen nicht in jedem Fall eine Begründung für bestehende Symptome liefern können. Deshalb sollte die Evaluation der Akkommodation unbedingt in das deutsche Modell integriert werden.

Aus diesen Zusammenhängen wird auch deutlich, dass nicht in jedem Fall nur ein Prisma Probleme optimal löst. Bei einer ausschließlich in der Nähe bestehenden Esophorie, können schon mit geringen positiven Additionen, auf eine ästhetischere Weise, Probleme beseitigt werden.

Existieren diese Interaktionen, wie sie Schor experimentell nachgestellt hat, so hätte man einen wichtigen Ansatz der binokularen Zusammenhänge im visuellen System offen gelegt. Nur durch die Interaktion dieser zwei Systeme können z.B. Hyperopien oder aber auch Augenfehlstellungen vom visuellen System bis zu bestimmten Grenzen reguliert und folgende Korrekturen angenommen werden. Bestehen jedoch extrem reziproke Größenverhältnisse zwischen AC/A und CA/C , wie sie in Kap. (5.4) beschrieben wurden, so kann es eventuell zu viel größeren Vergenz- und Akkommodationszuständen unter assoziierten Umständen kommen, als man es ohne dieses Hintergrundwissen erwarten würde. In diesen Fällen kann laut Schors Modell nur eine Vergenzadaptation ein gegenseitiges Hochschaukeln der Anpassungsmechanismen verhindern. Bestehen jedoch verringerte Vergenzadaptationsfähigkeiten, so kommt es, trotz exakter Einhaltung der Zentrierung optischer Korrekturen, bei einigen Menschen zu Unverträglichkeiten.

Die Praxis zeigt, dass sich gerade prismatische Korrekturen älterer $FD_{(D)}$ s am Polatest aufgrund von Hemmungen undurchsichtig gestalten können. Hier ist besondere Vorsicht geboten. Korrigiert man die Phorien zu hoch so setzen ebenfalls ungewünschte Kopplungsmechanismen im natürlichen Sehen ein, welche erhöhte Anstrengungsbeschwerden zur Folge haben können! Innerhalb der praktischen Studie dieser Arbeit traten zwei Fälle auf, wo trotz Einhaltung aller Regeln der MKH, gegebene Prismenkorrekturen durch permanentes Verschwommensehen in der Ferne nicht vertragen wurden (bei $1,5 - 5^{cm/m}$ Ba). Diese MKH-Korrekturen mussten in einem Fall abgeschwächt und in dem anderen sogar in der Basislage umgekehrt werden (siehe Kap. 6.3.2) Die Vergenzbreitenmessungen waren zwar zu gering, ließen jedoch zumindest in einem Fall, nicht auf die beschriebenen Probleme schließen.

Nach den Modifikationen an der Korrektur konnten die Symptome abgestellt werden. Es wäre interessant, zu ermitteln, ob man derartige Akkommodationszustandsänderungen nach der Vollkorrektur mittels dynamischer Skiaskopie (*MEM*) feststellen kann. Sie dürften nämlich im Monokularsehen nur bedingt auftauchen, da hier der geöffnete Regelkreis die Kopplung außer Kraft setzt, und ein Akkommodationstonus sich nach solch kurzer Zeit relativ schnell lösen sollte. Eventuell könnte jedoch eine dauerhaft getragene "falsche" Prismenkorrektur in Fällen geringer Vergenzadaptationsfähigkeit refraktive Abweichungen durch dauerhafte Änderungen im Tonus der Akkommodation hervorrufen (siehe zum Thema Akkommodationstonus auch Kap. 5.5.2).

5.5 Physiologie der Entstehung von Phorien im Zusammenhang mit Nahpunktstress - Modellen

5.5.1 Einführung

Traditionelle Modelle der amerikanischen Optometrie sehen Asthenopien und Sehstörungen als Folge von Fehlsichtigkeiten oder Anomalien im Vergenz- und Akkommodationssystem, die durch erbliche oder zufällig biologische Variationen, anatomische sowie physiologische Einflüsse hervorgerufen werden. Diese Modelle, denen auch Scheiman & Wick's Integrative Analyse zuzuordnen ist, identifizieren, korrigieren und therapieren defizitäre visuelle Funktionen.

Einige Optometristen gehen jedoch einen Schritt weiter und suchen vorbeugend den Ursprung von Fehlsichtigkeiten und anderen möglichen visuellen Defiziten. Neben den oben aufgeführten Ursachen scheinen hierfür zusätzliche Einflüsse, wie z.B. Entwicklungsstörungen, exzessive Naharbeit (Nahpunktstress) und psychologische Faktoren eine nicht unbedeutende Rolle zu spielen. Diese Philosophie ist fundamentaler Lehrsatz der Verhaltensoroptometrie (*behavioural optometry*) und eng mit der Arbeit der *OEP* verbunden.

Die *OEP* (*Optometric Extension Program Foundation*) wurde 1928 in den USA gegründet und ist eine nichtkommerziell arbeitende Organisation, die ihre Ziele darin definiert, Informationen über das Sehen für Optometristen wie Betroffene zu sammeln und weiterzuverbreiten.

Verhaltensoroptometristen arbeiten hauptsächlich in der Rehabilitation und Prävention von Sehstörungen auf Gebieten wie z.B. Lese-Rechtschreibschwäche, Rehabilitation nach Cerebralem Trauma, hohe Sehanforderung am Arbeitsplatz, bei Sport, und in der Freizeit [OEP:www.org-website].

Sie korrigieren nicht in jedem Fall eine Fehlsichtigkeit oder Phorie, sondern versuchen vielmehr durch Sehhygiene (Herstellen optimaler Sehbedingungen), spezielles Training sowie Verschreibung von geringen Pluswerten für die Nähe, Ursachen abzustellen bzw. schon bestehende Auswirkungen zu reduzieren.

Es gibt 5 wesentliche Theorien, auf die sich die Verhaltensoroptometrie stützt, dabei sind die ersten zwei die wesentlichsten Naharbeitstheorien:

1. **Die "Use-Abuse" Theorie** → Modell zur Entstehung von Myopien
2. **Skeffingtons Nahpunktstress-Modell** → Theorie induzierter Überkonvergenzen
3. **Cannons Fight or Flight Konzept** → Theorie der Stressphysiologie
4. **Harmons Theorie** → Zusammenhang zwischen Sehen, Körperhaltung und Raumwahrnehmung
5. **Birnbaums Modell** → Auswirkung sympathischer und parasympathischer Erregung

Alle diese Theorien sind ausführlich im Zusammenhang mit traditionellen amerikanischen Theorien in Birnbaums Buch "*Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders*" beschrieben. Das Birnbaum Modell soll im groben Zusammenhang mit den übrigen Theorien im vorliegenden Kapitel speziell beleuchtet werden, da es eventuell eine Erklärung für vorübergehende Vergenzänderun-

gen im visuellen System liefern könnte. Nach Birnbaums Theorie könnten Phoriemessergebnisse eventuell nur momentane Innervationszustände der äußeren Augenmuskulatur wiedergeben. Alle folgenden Modelle der Verhaltensoroptometrie sind in [Birnbaum, 1997, S.3-86] ausführlich dargestellt worden.

5.5.2 Nahpunktstress – Modelle

Die "Use-Abuse"- Theorie

Die "Use-Abuse"- Theorie ist eine der Hauptnahpunktstress-Theorien und bezieht sich speziell auf die Myopieentwicklung. Nach dieser Theorie stellt die Myopie einen Missbrauch (*abuse*) des visuellen Systems dar, um die Augen für exzessive Naharbeit nutzen (*use*) zu können. Das heißt, Myopie entwickelt sich als eine Art Adaptation an Naharbeit.

Innerhalb der "Use- Abuse"- Theorie sind neben Einflüssen der individuellen Genetik, der Ernährung, Psyche und der Persönlichkeit, hauptsächlich die mechanischen Einflüsse exzessiver Akkommodation und Konvergenz während der Naharbeit Ursachen für die Myopie. Zudem wird behauptet, dass sich Myopien, entgegen herkömmlicher Lehrmeinung, auch noch im Erwachsenenalter entwickeln können.

Ebenholz fand 1983 heraus, dass sich der Akkommodationstonus (TA)¹ nach Naharbeit erhöht. Dieser Effekt kann bis zu mehreren Stunden nach nur kurzer Zeitspanne angesprochener Akkommodation andauern. Er schlug vor, dass der TA vielleicht ein Vorzeichen einer sich entwickelnden Myopie sein könnte. Auch Ehrlich und Press (1987) konnten diesen Effekt beobachten und vermuteten, dass TA die Reflexakkommodation reduziert und daher einen adaptiven Prozess zur Einsparung nervöser Energie darstellt. Besonders bei Individuen mit progressiver Myopie steigt der TA nach langer Lesezeit mit geistiger Anstrengung an, wenn der Ausgangswert gering war. Die Ursache hierfür liegt in der Unfähigkeit, dem Akkommodationskrampf entgegenzuwirken. Nach Birnbaum wird die Akkommodation durch das parasympathische Nervensystem aktiviert, simultan wirkt das sympathische Nervensystem bei zunehmender Anstrengung mit Desakkommodation entgegen. Fehlt dieser Gegenspieler, steigt die TA enorm [S.16].

Young behauptet, dass sich Myopie in zwei Stadien entwickelt [S.17]:

1. Pseudomyopie durch Ziliarkörperspasmus nach Naharbeit

Dieses Stadium ist sehr leicht durch Training umzukehren.

2. Strukturelle Myopie durch Ausdehnung des Augapfels

Häufiger Ziliarkörperspasmus führt durch Dehnung und Schwächung des Augengewebes sowie durch daraus entstehende Druckunterschiede zwischen den Augenkammern (Vitreusdruckanstieg) zum Augenwachstum. Dieser Zustand ist nur noch bedingt abzustellen.

¹ Begriff für Akkomodations-Ruhezustand im sehreizfreien abgedunkelten Raum

Green vermutete 1980, dass Konvergenz durch die Arbeit der äußeren schrägen Augenmuskulatur den Vitreusdruck in der hinteren Augenkammer ansteigen lässt, und daher die Konvergenz eventuell eher als die Akkommodation zum Augenwachstum führen kann [S.18].

Skeffingtons Nahpunktstress-Modell

Skeffington behauptete, dass die Physiologie unserer Sehprozesse nicht dafür ausgelegt sei, permanente Nahaufgaben zu lösen. Das visuelle System hat sich durch die Evolution aus biologischen Bedürfnissen heraus entwickelt. Naharbeit fordert das Sehen in einer Weise für die es nicht konzipiert wurde, da solche speziellen Bedingungen in der Natur nicht gegeben sind. Bereits bestehende visuelle Mechanismen werden daher zweckentfremdend benutzt, was zu Stress innerhalb des Organismus führt. Dieser Stress verursacht hauptsächlich komplexe Störungen im Zusammenspiel der Akkommodation und Konvergenz, die zu Adaptationsformen wie der Myopie oder anderen Störungen führen können [S.33].

Warum die durch unsere moderne Gesellschaft auferlegte Naharbeit biologisch unakzeptabel ist:

1. Naharbeit erfordert lang anhaltende Unbeweglichkeit (*immobilisation*), während unser Körper darauf ausgerichtet ist, sich ständig zu bewegen.
2. Naharbeit geht mit einem hohen Anspruch an den Intellekt einher, da ständig die Information abstrakter Zeichen verarbeitet werden muss.
3. Im Gegensatz zur Dreidimensionalität unseres biologischen Lebensraumes ist das Arbeiten in der Nähe mit einer künstlichen Zweidimensionalität verbunden.

Skeffington sieht den Sehvorgang als ein Zusammenspiel 4 verschiedener Kreise [S.34]:

1. *Antigravity System*

Es betrifft die Balance und Position des Menschen im Raum. Es liefert die Basis für die Orientierung und räumliche Lokalisation.

2. *Centering*

Von der eigenen Position im Raum ausgehende Selektion einer Region der Aufmerksamkeit für Informationsverarbeitung → Konvergenz notwendig

3. *Identification*

Hier wird der Wahrnehmung Bedeutung hinzugefügt, das heißt, hier muss aufgelöst und unterschieden werden → Akkommodation notwendig

4. *Speech-Auditory:*

Analyse und Kommunikation des Wahrgenommenen

Skeffington behauptet, dass während des Lesens durch Stressreaktionen des visuellen Systems auf anhaltende Konzentration, Unbeweglichkeit und geistige Anstrengung, sich der Centeringprozess (die Vergenz), vor den Identifikationsprozess (Akkommodation) schiebt (d.h. zu den Augen hin). Es entsteht also, einfach ausgedrückt, bei anhaltender Naharbeit eine Esophorie. Um Unschärfen oder

Diplopie zu vermeiden entwickelt das visuelle System unterschiedliche Ausweichmechanismen, die in die Interaktion zwischen Akkommodation und Vergenz eingreifen [S.35].

Jedes Individuum hat zwei verschiedenen Möglichkeiten auf Nahpunktstress zu reagieren, entweder es vermeidet Naharbeit oder es kämpft gegen Stresssymptome an (Cannons "*Fight or Flight*"- Konzept). Die Entwicklung einer Myopie ist eine Möglichkeit des Organismus auf "*Fight*" zu reagieren. Myopie stellt im unkorrigierten Erstzustand eine Art Gleichgewicht zwischen Akkommodations- und Vergenzreaktionen während der Naharbeit her.

Exophorie und Hyperopie sind nach Skeffingtons Modell Reserven, die den Mechanismus der Akkommodation und Vergenz vor der Innervation des autonomen und skeletalen (somatischen) Nervensystems schützen.

Das Schlüsselement für das Skeffington Model ist das Verschreiben von geringen Additionen für die Nähe, die prinzipiell eine geringe Myopie simulieren und somit das Gleichgewicht zwischen Akkommodation und Vergenz für Nahaufgaben künstlich herstellen.

Warum sich Konvergenz vor die Akkommodation schiebt:

Die Vergenz reagiert stärker und schneller als die Akkommodation, da sie durch die Skelettmuskeln mittels des zentralen Nervensystems aktiviert wird. Akkommodation wird durch das autonome Nervensystem innerviert und reagiert deshalb langsamer. Die Akkommodation ist ein primitiver Mechanismus, der sich entwickelte, um nahe Objekte kurzzeitig auflösen zu können. Sie ist jedoch nicht dafür konzipiert worden, hohen Anforderungen der Nahaufgaben unserer Gesellschaft zu entsprechen und daher schneller ermüdbar.

Howell (1990) unterstützte diese These, da er herausfand, dass Ziliarkörpermuskeln eher ermüden, als die externen Augenmuskeln. Die Akkommodation muss beim Lesen relativ konstant gehalten werden, wohingegen die Augenmuskeln zumindest von rechts nach links permanent wechselnd angesprochen werden. Durch diesen, wenn auch eingeschränkten, Bewegungsprozess ermüdet sie daher weniger schnell [S.37].

Harmons Theorie

Harmon (1958) erforschte als Lehrer und Kinesiologe hauptsächlich bei Kindern die Auswirkung einer falschen Körperhaltung auf das Sehen und die räumliche Wahrnehmung. Da Augen sich in Bezug zum Kopf bewegen, der Kopf in Bezug zum Körper und der Körper in Bezug zu Objekten im Raum, kann nicht allein die Netzhaut ein Objekt exakt im Raum orten. Kinesthetische Informationen von Körper, Kopf und Nacken müssen mit Informationen der Augenposition übereinstimmen, so dass sich die Einordnung des visuell wahrgenommenen Objektes mit der eigentlichen Position deckt und über Bewegung und Tastsinn bestätigt werden kann. Die Augenpositionsinformationen ergeben sich aus der Kontrolle efferenter Signale der äußeren Augenmuskulatur und von Signalen propriozeptiver Zellen dieser Augenmuskeln.

Von den retinalen Nervenbündeln münden 20% der Fasern nicht in den *corpus geniculatum laterale*, sondern in den *colliculus superiores*. Ihre Informationen dienen primitiven photostatischen Reflexen für Körperhaltung und Raumorientierung. Wird irgendeine Aufgabe ausgeführt, so muss der Körper, um sie mit minimalem Einsatz kontrollieren zu können, zunächst im Gleichgewicht sein. Hat

man schlechte Angewohnheiten in der Körperhaltung, so entstehen auch im visuellen System Spannungen und physiologische Gegenreaktionen, die zu Fehlsichtigkeiten, Anisotropien und Astigmatismen führen können [S.73-86].

Cannons "Fight or Flight"- Konzept

Cannons beschriebene "Fight or Flight" ist eine Reaktion des Körpers, die denselben auf drohende Gefahren vorbereitet. Dabei erhöhen sich die Herzfrequenz, der Blutdruck, die Blutzufuhr zu Muskeln und Herz, der Adrenalinhalt und die Sauerstoffaufnahme durch die Erweiterung der Bronchien. Im visuellen System bewirken sympathische Innervationen zusätzlich Desakkommodation, Pupillenerweiterungen und die Aktivierung des Lidhebers. Diese Reaktionen scheinen evolutionsbedingt das Sehen bei Angriffsgefahr zu optimieren. Daher konnten Angreifer, die meist aus der Ferne drohten, in Erregungszuständen aufgrund scharfer Netzhautbilder, größerer Gesichtsfelder und erhöhter Netzhautbeleuchtung schneller erspäht werden [S.37].

Birnbaums Modell der sympathischen Innervierung [S.37- 39]

Birnbaum sieht Nahpunktstress im Zusammenhang mit generellen Abläufen bei Stressreaktionen. Er nimmt an, dass sich während der Naharbeit die Konvergenz vor die Akkommodation schiebt, da neuroendokrine Mechanismen aktiviert werden, die allgemeinen Stressreaktionen unterliegen. Das Lesen an sich ist ein hoch kognitiver Prozess, der in Kombination mit hoher geistiger Anforderung und Konzentration sympathische Innervationen beansprucht.

Naharbeit erfordert physiologischen Einsatz zur ständigen Bereitschaft, ähnlich der *Fight or Flight* Situation, die von Cannon beschrieben wurde, jedoch auf etwas geringerem Niveau. Man nennt diesen Zustand im amerikanischen auch "*physiologic arousal*" (physiologisches Erwachen bzw. Erregung).

Verschiedene Wissenschaftler, wie z.B. Kahnemann (1973), Hess et al.(1964) und Nell (1988) etc., haben "*physiologic arousal*" bei Naharbeit nachweisen können, egal ob sie Freizeitlektüre oder kognitive Informationsverarbeitung umfasste.

Wird durch die Innervation des sympathischen NS während des Leseprozesses automatisch die Desakkommodation aktiviert, so ist erhöhte Akkommodationsinnervation erforderlich, um das zu Lesende konstant scharf zu sehen. Die erhöhte Akkommodationsinnervation wird von akkommodativer Konvergenz begleitet (*AC/A-Kopplung*). Dieser Prozess führt nach Birnbaum zu einer Überkonvergenz (Esophorie).

Gilmartin et al. etablierte 1986 die Existenz einer sympathischen Innervation des Ziliarkörpers, die zuvor lange umstritten war. Dabei scheint die Funktion der sympathischen Innervation der Akkommodation darin zu bestehen, einen vorhandenen Akkommodationstonus bei Gefahr blitzschnell abzubauen. Der Vorteil einer sympathischen Innervation besteht nach Mountcastle (1974) darin, dass sie eine "*all at once*" (alles auf einmal) Reaktion darstellt, die alle betroffenen Strukturen zusammen ansprechen kann, um eine Aktion zu erleichtern. Das parasympathische und zentrale Nervensystem hingegen, sprechen jeweils nur getrennte Einheiten an.

Malstrom et al. (1980) fand eine Desakkommodation von 0,25–0,75dpt bei Probanden, die während des Lesens mentale Aufgaben lösen mussten. Dabei zeigte die Desakkommodation eine kontinuierliche Zunahme während der geistigen Aktivität.

Kruger (1975–1980) benutzte kleine Schriftgrößen und mentale Aufgaben, die sich auf diese Schrift bezogen, z.B. addieren von Zahlen. Er fand heraus, dass die Probanden bei geistiger Konzentration einen Anstieg an Akkommodation zeigten.

Birnbaum erklärt an diesem widersprüchlichen Punkt, dass Krügers Testaufbau eher der Leseanforderung unserer Gesellschaft entspräche. Wissenschaftler, die Desakkommodation nachgewiesen hatten, benutzten große Schrift und mentale Aufgaben, die sich nicht auf die Schrift bezogen. Aus diesem Grund scheint es wahrscheinlicher, dass bei Naharbeit, die mit kognitiven Prozessen verbunden ist, das parasympathische Nervensystem das sympathische überrundet, indem es die Akkommodation anspannt, um der Fernakkommodation entgegenzuwirken.

Zusammenfassend wird beschrieben, dass sympathische und parasympathische Reaktionen des vegetativen Nervensystems bei Naharbeit eine wesentliche Rolle in den physiologischen Veränderungen zwischen Akkommodation und Vergenz spielen. Der Effekt des sympathischen Nervensystems bestünde darin, den Link zwischen der Kopplung von Akkommodation und Vergenz zu verändern, so dass sich das *AC/A*-Verhältnis erhöht (zu viel akkommodative Vergenz = Konvergenz vor Akkommodation). Die parasympathische Innervation hingegen erhöhe den bei der "Use-Abuse"-Theorie beschriebenen Anstieg des Akkommodationstonusses durch Naharbeit. Diese Veränderung unterliegt großen individuellen Unterschieden da variable Konstitutionen und Neigungen zu Anfälligkeiten gegeben sind [S.37-39].

1.5.3 Psychologische Einflüsse auf Nahpunktstress

Während Skeffington sympathische Nervenstimulationen ausschließlich auf die Sehanforderung selbst bezog, vermuten Birnbaum und Forrest, dass die Psyche bzw. die Einstellung des Individuums ebenfalls Stress hervorrufen können und somit einen großen Einfluss auf innervationsbedingte Veränderungen in Sehprozessen bei Naharbeit besitzen.

Selye (1956) behauptet, dass der Körper Stress immer mit den gleichen endokrinen Abläufen kompensiert, egal ob eine Tätigkeit selbst oder aber die Psyche Stressreaktionen hervorgerufen hat.

Miller und Takahama (1987) fanden bei Probanden einen herabgesetzten Akkommodationstonus, nachdem diese emotionalem Stress ausgesetzt wurden.

Forrest hat sich 1988 eingehend mit dem Einfluss der Psyche auf Sehprozesse beschäftigt.

Er fand einen engen Zusammenhang zwischen Stressreaktionen und der Intensität, mit der sich Probanden einer Nahaufgabe zuwandten. Wendet sich ein Individuum einer Aufgabe mit maximaler Konzentration und starkem Erfolgsantrieb zu, um eine Aufgabe so schnell wie möglich zu lösen, so investiert es viel mehr geistige Energie und der Körper zeigt vermehrt sympathisch innervierte Stressreaktionen.

Dabei scheint eine zentral-periphere Organisation des Sehens während der Naharbeit ein Hauptfaktor dieser Reaktionen zu sein. Menschen, die diese hohe Konzentration bei Naharbeiten aufweisen, scheinen stark "fokkussiert" (zentral) zu lesen, d.h. sie blenden die Peripherie aus, um sich nicht ablenken zu lassen. Gerade analytische und logisch denkende Menschen tendieren dazu,

so zentral zu arbeiten. Diese Herangehensweise erfordert jedoch wesentlich mehr Aufmerksamkeits-Energie und folglich aktivieren sich auch stärkere Stressantworten des Körpers. Nicht nur die Einstellung zu einer bestimmten Aufgabe bestimmt Stressantworten des Körpers, sondern ebenso die generelle Lebenseinstellung. Menschen, die sich dem Leben ausgesetzt fühlen, ohne es wirklich beeinflussen und kontrollieren zu können, die sich verwundbar und hilflos fühlen und oft Selbstzweifel haben, Menschen, die sich gegen das Leben stellen anstatt es in Harmonie zu führen, erfahren in hohem Maße Stress. Forrest geht jedoch noch einen Schritt weiter. Er behauptet, dass die Art und Weise wie jemand eine Nahaufgabe löst, oft die generelle Lebenseinstellung bestimmt. Das Akzeptieren einer Aufgabe macht sie weniger anstrengend, jedoch sich ihrer zu erfreuen bedeutet den geringsten Energieeinsatz [S.41].

Birnbaum führt alle genannten Thesen von Skeffington und Forrest zusammen. Er behauptet, unsere moderne Gesellschaft bestünde hauptsächlich aus Wettkämpfen, in denen auch das Lesen als "Überlebenszweck" dient. Lesen findet häufig unter beruflichem oder schulischem Leistungsdruck statt, daher stünde der menschliche Körper permanent unter einem hohen Niveau sympathischer Erregung. Aus diesem Grund sieht er zwei Hauptursachen, die zu Skeffingtons Modell räumlicher Verschiebung der Vergenz vor die Akkommodation führen [S.41]:

- 1. sympathische Erregung durch aufgabenbezogene Faktoren, die sich auf das Lesen selbst beziehen** (Immobilisation, Anforderungen an Konzentration)
- 2. sympathische Innervation durch den psychologischen Status eines Individuums** (wahrnehmungsmäßige Ausprägung, Einstellung und Intensität, emotionaler Status und Fähigkeit, Stress abzubauen)

Die sympathische Aktivierung fördert die Desakkommodation, die parasympathische Aktivierung führt zu einer erhöhten Innervation der Akkommodation, die wiederum zu einem Anstieg des Akkommodationstonus, aber auch zur Überkonvergenz führen kann.

5.5.4 Überkonvergenzinduzierte visuelle Defizite

Klinische Beweise für Überkonvergenzen

Überkonvergenzen kann man nicht immer als Nahsophorien mittels dissoziierter oder assoziierter Messtechniken nachweisen. Trotzdem haben verschiedene Wissenschaftler dieses Phänomen sowohl bei Exophorikern, als auch Esophorikern beobachten können. Forrest (1969, 1980), Ehrlich (1987), Vaegan (1979) und Stenhouse-Stewart (1945) fanden erhöhte Esophorien nach kurzen Leseperioden.

Die Abbildung 5.5-1 zeigt eine Veränderung der Augenstellung in Richtung Konvergenz bei einer Cheiroskopie². Bei dieser Übung wurde mit der rechten oberen Ecke beginnend das Quadrat gezeichnet, danach die Diagonalen und zum Schluss der Kreis. Man sieht deutlich, dass die Konvergenz bei fortschreitendem Verlauf der Übung zunahm. Diese Veränderungen zeigen sich sehr häufig bei Esophorikern und Exophorikern. Exophore Veränderungen der Vergenz konnten in

² Bei der Cheiroskopie sieht nur ein Auge ein abzuzeichnendes Bild, während das andere Auge das Abzeichnen beobachtet. Das abgezeichnete Bild zeigt Suppressionen oder aber auch Instabilitäten in der Vergenz an.

äußerst seltenen Fällen nur bei Exotropien beobachtet werden. In 18 von 100 Fällen konnte Birnbaum eine durchschnittliche Konvergenzverstärkung von $5^{\text{cm}}/\text{m}$ messen, nachdem er die Graefe-Nahphoriemessung mehrmals hintereinander durchführte.

In einigen Fällen maß er sogar Veränderungen von $12^{\text{cm}}/\text{m}$. Dieses Ergebnis konnte Christenson (1990) bei 22% von 50 Optometriestudenten bestätigen. Birnbaum vermutete, dass durch die Belastung der wiederholten Messungen das Nervensystem physiologisch in Erregung versetzt wurde und sich daher das Vergenzsystem ähnlich einer Lesesituation in Richtung Konvergenz veränderte.

Diese These würde erklären, warum Carters durchschnittliche $FD_{(USA)}$ -Kurve gleichfalls eine Überkonvergenztendenz zeigte (siehe Kapt. 5.3.1). An

dieser Stelle sei erwähnt, dass auch im Rahmen der Diplomarbeit die Probanden häufig über enorme Anstrengung während der MKH klagten. Stressreaktionen könnten hier durch lange Testdauer, durch Erwartungsdruck bei schwer zu beurteilenden Testen und durch unbequeme Messbrillen hervorgerufen werden. Aus diesem Grunde könnten Messergebnis-Schwankungen während einer Messung, wie auch Haase sie beschreibt, durch sympathische Erregung und parasymphatische Gegensteuerung hervorgerufen werden [S.44-63].

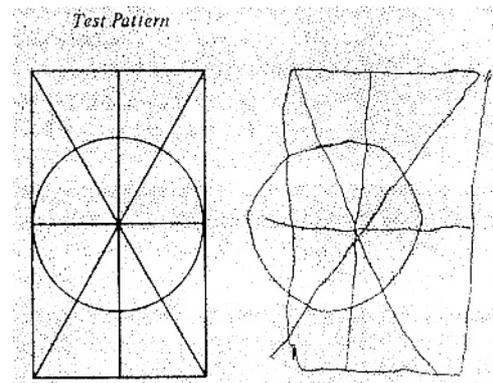


Abb. 5.5-1: Überkonvergenzerscheinung während einer Cheiroskopie

[Birnbaum, 1993, S. 43]

Myopien

Myopien sind die effektivste Form der Kompensation von Nahpunktstress und laut Cannons *Fight or Flight* Konzept die häufigste Antwort des Organismus auf *Fight*.

Erfolgt sympathisch innervierte Desakkommodation, muss nur sehr wenig Reflexakkommodation aufgewandt werden, um ein klares Netzhautbild zu erlangen. An diese Akkommodation ist demzufolge auch weniger akkommodative Konvergenz gekoppelt und eine Überkonvergenz kann erfolgreich reduziert werden.

Oft klagen Menschen vor der Myopieentwicklung vermehrt über Anstrengungsbeschwerden, die sich mit der Progression reduzieren bis die vorhandene Fehlsichtigkeit korrigiert wird. Myopien entwickeln sich immer dann, wenn der Fernvisus für den Menschen nicht existentiell ist. Ist hingegen der Fernvisus von größter Bedeutung für das Individuum, so entwickeln sich oft weniger effiziente alternative Adaptationswege, wie z.B. Akkommodationsinsuffizienz, Konvergenzinsuffizienz, Anisometropie oder Astigmatismus.

Kurzsichtige Menschen tendieren gerade in Anfangsstadien ihrer Fehlsichtigkeit dazu, höhere Nahesophorien bzw. niedrigere Nahexophorien und geringe PRA -Werte (positive relative Akkommodation) zu zeigen, als Emmetrope. Die PRA -Messung zeigt an, inwieweit das visuelle System in der Lage ist die Akkommodation vor die Vergenz zu schieben bzw. wieviel fusionale Divergenz bei zunehmender Akkommodation aufgebracht werden kann. Reduzierte Werte der PRA sind daher auch in anderen Konditionen ein frühes Anzeichen vorhandenen Nahpunktstresses [S.62-64].

Hyperopien

Skeffington zufolge ist eine Hyperopie von 0,5dpt bis 0,75dpt nicht nur der häufigste refraktive Status, sondern auch der idealste, um allen endogenen und exogenen Faktoren, die das Vergenzsystem beeinflussen, entgegenzuwirken. Daher betrachtet er eine Hyperopie als natürlichen Schutzmechanismus. Steigt in diesem Fall nach anhaltender Naharbeit der Akkommodationstonus um einen geringen Betrag, so ändert sich der refraktive Zustand zeitweilig in Richtung Emmetropie, solange dieser die eigentliche Hyperopie nicht übersteigt. Emmetropie ist demzufolge nach Skeffington nur ein Zwischenstadium in der Entwicklung einer Myopie. In diesem Zustand hat man bereits Reserven eingebüßt und seinen "Arbeitsfreiraum" aufgegeben.

Birnbaum vermutet, dass sich höhere Hyperopien im Kindesalter entwickeln. Sie seien laut Cannons *Fight or Flight* Konzept eine Antwort des visuellen Systems auf *Flight*.

In dieser Entwicklungsstufe wird das Akkommodations-Vergenzsystem geprägt. Stellt sich während der Entwicklung beider Systeme eine ungenügende Flexibilität ein, so scheint ein Adaptationsweg die Hemmung der Akkommodation zu sein, um Überkonvergenzen zu reduzieren. Dabei setzt der Emmetropisierungsprozess aus und es entstehen nachteilig hohe Hyperopien.

Wenn nun eine geringe Hyperopie ein wünschenswerter Zustand des visuellen Systems darstellt, könnte man argumentieren, jeden Myopen lieber etwas zu stark zu korrigieren. Skeffington lehnt diese Korrektionsregel jedoch strikt ab. Man stelle zwar künstlich eine akkommodative Hyperopie her, jedoch besäße dieser Zustand höchstwahrscheinlich nicht die natürliche Flexibilität zwischen Akkommodation und Vergenz, da sich ansonsten gar keine Myopie ausgebildet hätte. Aus diesem Grund würde man mit Minusüberkorrekturen nur zusätzlichen Stress auf das visuelle System auslösen, anstatt es zu entlasten [S.62].

Akkommodationsinsuffizienz (AI) und Konvergenzinsuffizienz (KI)

Ein weiterer Weg des visuellen Systems, sich vor Überkonvergenzen zu schützen, besteht in der Hemmung von Konvergenz oder Akkommodation. Daher findet man bei Menschen, die über Beschwerden bei Naharbeit klagen, häufig relativ niedrige Konvergenzbreiten (z.B. bei der KI) oder niedrige Akkommodationsamplituden (z.B. bei der AI).

Der Nebelpunkt in der Vergenzbreitenmessung gibt an, inwiefern die Vergenzebene vor oder hinter die Fixationsebene künstlich verlagert werden kann, ohne dass die Akkommodation der Vergenz folgt (Verschwommensehen). Ist bereits Überkonvergenz durch ausdauernde Naharbeit hervorgerufen worden, so ergeben sich hohe Nebelpunkte bei Konvergenzbreitenmessungen und niedrige bei Divergenzbreitenmessungen. Werden Ba-Prismen erhöht, so dienen sie zunächst zur Herstellung des Gleichgewichts zwischen Konvergenz und Akkommodation. Weitere Ba-Prismen zeigen dann an, inwiefern das Vergenzsystem in der Lage ist, sich vor die Akkommodationsebene zu verschieben. Der Bi-Nebelpunkt wird häufig niedrig sein, da die erforderliche fusionale Divergenz bereits aufgebraucht ist, um den Zustand der Überkonvergenz zu kompensieren.

Diese Messwerte findet man häufig bei Konvergenzinsuffizienz. Sie wird traditionell diagnostiziert, wenn eine hohe Nahexophorie vorliegt und zusätzlich Konvergenzvermögen und Nahkonvergenzpunkt eingeschränkt sind [S.59].

Bei einer Akkommodationsinsuffizienz findet man zu geringe *PRA*-Werte und zu geringe Akkommodationsamplituden. Im Gegensatz zu traditionellen Auffassungen glaubt Birnbaum nicht, dass eine AI immer eine Schwäche oder Fehlentwicklung des Akkommodationssystems darstellt. Sie sei in der Mehrzahl der Fälle eine Auswirkung des Nahpunktstresses und stelle eine Zweckerfüllende Hemmung der Akkommodationsfunktion dar. Somit kann verhindert werden, dass zu viel Akkommodation angesprochen wird. Mit dieser Einschränkung könne das visuelle System Überkonvergenz durch geringere akkommodative Konvergenz verhindern.

KI und AI treten sehr oft gemeinsam auf. Birnbaum vermutet, dass beide Zustände ineffiziente Adaptationsformen sind, die je nach Grad der Beanspruchung aufeinander folgen. Man sollte daher eher den Terminus Akkommodations-Vergenzfehlfunktion (*accommodation-vergence dysfunktion*) verwenden, anstatt von getrennten Konditionen auszugehen. Auch in der Integrativen Analyse Scheiman und Wicks werden diese beiden Konditionen mittels Visual Training (*VT*) ähnlich behandelt. Es wird daher dieselbe Trainingsanleitung verwendet [S.57-61].

Beide Zustände (AI und KI) lassen sich durch Training sehr effizient abstellen. Den Optometristen Daum, Cooper und Vagaen zufolge lassen sich Nahkonvergenzpunkte und Konvergenzbreiten schon innerhalb weniger Übungsstunden signifikant verbessern.

Bei 5% aller KI-Fälle gibt es jedoch Schwierigkeiten, das Konvergenzvermögen zu verbessern. Hier scheint wirklich ein organischer Grund die Konvergenz einzuschränken. Birnbaum machte die Erfahrung, dass diese pathologischen Fälle leicht von funktionellen unterschieden werden können. Organische KI zeigt oft normale Akkommodationsamplituden. Es besteht keine Überkonvergenz und die Exophorie wird durch geringe Pluslinsen störend erhöht. In vielen funktionellen KI-Fällen hingegen optimieren geringe Pluswerte den Nahkonvergenzpunkt und die Konvergenzbreite sehr schnell.

Exophorien

Neben den Beweisen zur Existenz von Überkonvergenzen gibt es Studien, die einen Anstieg exophorer Werte am Ende eines Arbeitstages am PC nachweisen konnten. Yeka et al. (1987) fand einen Anstieg der Exophorie mittels dissoziierender und assoziierender Teste sowie Fixationsdisparationsteste.

Skeffington und Manas liefern auch für diese Phänomene Antworten. Eine Exophorie ist genau wie die Hyperopie ein Schutzmechanismus vor Überkonvergenzen. Im Verlauf der Naharbeit reduziert sich die Exophorie langsam, bis sich ein emmetroper Zustand herstellt. Erfolgt über diesen Zustand hinaus Konvergenz, so könnte Diplopie eintreten. Daher ist das visuelle System bestrebt, diesen exophoren Zustand zu speichern. Bei einigen Individuen kann daher extreme Naharbeit einen übermäßigen Aufbau einer Exophorie hervorrufen. Die Exophorie selbst kann dann bei anderen visuellen Anforderungen durch die Erzeugung von Hemmungen und zeitweiligen Diplopien beeinträchtigend wirken.

Skeffington beschreibt eine Nahexophorie von $5^{\text{cm}}/\text{m}$ und eine Fernexophorie von $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ als wünschenswerten Normwert.

In der Tat hat Haines (1941) bei 500 asymptomatischen, visuell effizienten Probanden eine durchschnittliche Nahexophorie dieser Größenordnung gefunden.

Orthophorie ist demnach kein wünschenswerter statischer Zustand, sondern ein Stadium im dynamischen Wechsel zwischen Exophorie und Esophorie. Nahesophorien hingegen werden als Alarm-signal interpretiert. In diesem Stadium ist das visuelle System nicht mehr in der Lage, sympathischen Innervationen entgegenzuwirken. Daher zeigen sich in diesem Zustand vermehrt Asthenopien [S.44].

Mechanismen zum Aufbau einer exophoren Reserve

Um z.B. eine Exophorie aufzubauen, stehen dem visuellen System zwei Mechanismen zur Verfügung:

1. Vergenzadaptation
2. Veränderungen in dem Verhältnis zwischen Vergenz und Akkommodation

Innerhalb von Experimenten Schors setzte man Probanden unter binokularen Bedingungen Minusgläser vor. Die Probanden mußten dadurch für die Sehaufgabe verstärkt akkommodieren. Dabei erhöhte sich die akkommodative Konvergenz, die durch fusionale Divergenz kompensiert werden mußte. Dieser Zustand glich Skeffingtons Modell der Überkonvergenz. Als die Minusgläser entfernt wurden, konnte eine höhere Exophorie unter dissoziierten Bedingungen gemessen werden. Das heißt, Vergenzadaptation (fusionale Divergenz) bewirkte den Aufbau einer Exophorie. Im Kapitel 5.3 wurden Mechanismen der Vergenzadaptation ausführlich beschrieben.

Entgegen der herkömmlichen Lehrmeinung, die das AC/A -Verhältnis als konstante, nicht veränderbare Größe deklariert, fand Schor 1986 Beweise, dass sich das AC/A -Verhältnis beeinflussen läßt, wenn der Stimulus für diese Veränderungen nur groß genug ist. Veränderungen in der AC/A konnten bei Korrekturen von Fehlsichtigkeiten (Flom, 1962), bei Presbyopien und innerhalb des Wachstums (Schor, 1983), nach Miotikabehandlungen³ akkommodativer Esotropien (Birnbaum, 1963) und nach Visualtraining (Manas, 1958) nachgewiesen werden. Daher scheint die AC/A und CA/C Interaktion flexibler zu sein als vermutet und ebenfalls in der Ausbildung von Nahexophorien einen Beitrag zu leisten [S.46].

Schors Modell des geschlossenen Regelkreises zwischen AC/A und CA/C besagt, dass der fusionale und akkommodative Bedarf unter assoziierten Bedingungen durch die Interaktion von AC/A und CA/C häufig höher ist, als unter dissoziierten Bedingungen (siehe Kap.5.4.3). Daher sind Überkonvergenzen unter assoziierten Umständen möglich, auch wenn sie durch Heterophoriemessungen nicht ermittelt werden können [S.45].

Birnbaum fiel dieser Widerspruch zwischen Messergebnissen der assoziierten und dissoziierten Phorie deutlich auf. In einigen Fällen fand er Exophorien unter dissoziierenden Messmethoden und ermittelte trotzdem Esifixationsdisparationen unter assoziierten Bedingungen, obwohl in den meißten Fällen die Konvergenzreserven eingeschränkt waren.

Das traditionelle Reserve-Anforderungsmodell von Sheard und Percival, nach dem eine Exophorie fusionalen Anspruch an das Vergenzsystem aufzeigt, hat im Modell Skeffingtons keine Bedeutung.

³ Miotika sind Medikamente, die die Pupille verengen, die Akkommodation erhöhen und somit akkommodative Konvergenz bewirken. Der Einsatz dieser Medikamente kann AC/A -Verhältnisse verringern [Griffin, 1988, S.164].

Er sieht Exophorien als eine Art adaptive Antwort auf Überkonvergenzen. Sie fangen den Konvergenzanstieg durch Divergenzreserven auf, um Sehstörungen vorzubeugen und sind daher nur ein Innervationszustand zwischen Akkommodation und Vergenz.

Exotropien

Myopie und Exotropien scheinen alternative Adaptationsprozesse auf Nahpunktstress zu sein. Bei der Myopie wird auf den Fernvisus verzichtet, um in der Nähe Defizite abzustellen. Exotrope hingegen verzichten auf die Nähe, um in der Ferne den Visus beizubehalten. Jampolsky (1964) beschreibt, dass er in mehreren Fällen beobachten konnte, wie Exophorien sich langsam in Exotropien wandelten. Erst zeigte sich eine Exotropie in der Ferne und später in der Nähe. Es entwickeln sich jedoch selten Exotropien aus KI-Fällen. Obwohl der Ursprung von Exotropien im Skeffingtonmodell nicht sicher nachzuvollziehen ist, zeigen sich auch in diesen Fällen Überkonvergenzen in Form von Nahesophorien, zu geringen Nahexophorien und zu niedriger *PRA*-Werte (Divergenzexzess). Scheiman und Wick bestätigen, dass Divergenzexzessfälle häufig unerwartet normale Konvergenzbreiten zeigen [Scheiman & Wick, 1994, S.287]. Oft wandeln sich diese Fälle nach Visualtraining in Esophorien mit zu geringen Divergenzreserven. Auch Haase berichtet über hohe Exophorien, die mit prismatischer Korrektur ihre Werte verringerten und sich sogar in einigen Fällen in Esophorien wandelten [Haase, Zur FD, S.16].

Exotropien entwickeln sich nach Birnbaum eventuell im Kleinstkindalter, wenn ein Baby hauptsächlich nahen Entfernungen ausgesetzt und das Konvergenz-Akkommodationsverhältnis noch schwach ausgebildet ist.

Anisometropie und Astigmatismus

Myope Anisometropie und *astigmatismus inversus* sind Adaptationsformen des visuellen Systems, die akkommodative Vergenz und somit Überkonvergenz reduzieren, ohne dabei den Fernvisus in hohem Maße aufgeben zu müssen.

In myoper Anisometropie wird das weniger myope Auge für die Ferne genutzt und das stärker myope für die Nähe. Im Gegensatz zu reinen Myopen besitzen Betroffene mit Astigmatismus gleicher Stärke, oft einen besseren Fernvisus, da eine Bildlinie oft näher an der Netzhaut liegt bzw. durch Akkommodation auf selbige gebracht werden kann. Zudem kann für die Nähe die Akkommodation effizient durch die Verlagerung der vertikalen Bildlinie auf die Netzhaut reduziert werden. Ein *astigmatismus inversus* geht oft einer progressiven Myopie voraus und kann durch Nutzung geringer Pluswerte für Naharbeiten in Anfangsstadien erfolgreich reduziert werden [S.64].

Der Adaptationspfad

Der Pfad, den ein Individuum einschlägt, um Überkonvergenz vorzubeugen, ist abhängig von der Notwendigkeit zur Adaptation, von Umweltfaktoren, erblicher Vorbelastung, dem Grad der Plastizität des visuellen Systems, der Psyche und der Persönlichkeit.

Der effizienteste Weg, Überkonvergenzen vorzubeugen ist die Entwicklung einer Myopie, da sie durch Einsparung akkommodativer Konvergenz bei geringeren Akkommodationsanforderungen die

Akkommodation und Vergenz wieder auf eine Ebene führt, d.h. ein Gleichgewicht herstellt. Dieser Adaptation können geringe Additionen von bis zu 0,5dpt vorbeugen, da sie eine Myopie simulieren. Die Entwicklung einer Exophorie in der Nähe oder einer Akkommodationsinsuffizienz sind zwei weniger effektive Adaptationsmechanismen, da sie die binokularen Funktionen beeinträchtigen, Suppressionen hervorrufen und Asthenopien oder Sehstörungen auslösen können. Die meisten Individuen zeigen Kombinationen aus verschiedenen visuellen Fehlfunktionen. Das bedeutet, dass bereits mehrere adaptive Wege "erkundet" wurden, um das beste Gleichgewicht zwischen Akkommodation und Vergenz herzustellen bzw. zu konservieren.

Nach der Art dieses Bestrebens lassen sich prinzipiell 3 verschiedene Typen differenzieren:

1. Individuen, die eine große Flexibilität zwischen Akkommodation und Vergenz zeigen und ohne Anstrengungen lesen können, haben oft normale optometrische Werte und sind frei von Symptomen.
2. Individuen mit geringer Flexibilität zwischen Akkommodation und Vergenz, die viel lesen und sich sehr gut auf gestellte Aufgaben konzentrieren können, klagen häufiger über Anstrengungen bei Naharbeiten und haben eingeschränkte optometrische Werte.
3. Andere Individuen, mit gleichen optometrischen Auffälligkeiten vermeiden Naharbeit und klagen daher nicht über Symptome [S.55].

Klinische Anzeichen für Nahpunktstress [S.46-48]:

1. Ineffizienz und Anstrengung oder Asthenopien bei Naharbeit
2. Ablehnung von Naharbeit
3. Myopieprogression
4. auffällige Phorie-, Akkommodations-, und Vergenzergebnisse
5. Esophorie, oder Orthophorie bzw. zu geringe oder zu hohe Exophorie (kleiner oder größer als $4-6^{cm/m}$)
6. Überkonvergenz bei lang anhaltender Naharbeit
7. Myopie oder Emmetropie als Zeichen einer Absorption der Hyperopiereserve
8. zu hohe Hyperopie
9. zu geringe *PRA* Werte (binokular kann wenig Minus angenommen werden)
10. zu geringe Distanz bei Nahaufgaben, um Peripherie auszublenden oder um der Überkonvergenz nachzukommen
11. Suppressionen
12. geringe Vergenzbreiten

Birnbaum empfiehlt, ähnlich Haases Vorstellungen, visuelle Defizite immer zu behandeln, auch dann wenn sie keine Beschwerden hervorrufen. Nur ein Vermeiden von Naharbeiten kann Symptome bei defizitären Sehfunktionen reduzieren. Sind Individuen jedoch durch die Ausbildung oder den Beruf zu häufiger oder intensiver Naharbeit gezwungen, so sind sie anderen gegenüber im Nachteil und können Asthenopien und Sehstörungen entwickeln [S.57].

5.5.5 Haases Hypothese über Impulskopplung okularer Einstellmechanismen

Birnbaums interessanter Ansatz, die Vermutung nämlich, dass sich Stressfaktoren auf die Akkommodation und Vergenz beeinträchtigend auswirken können, soll in diesem Abschnitt mit Haases Rechercheergebnissen genauerer Innervationsabläufe im visuellen System untermauert werden.

Zur Innervation okularer Einstellmechanismen wirken das zentrale und das vegetative Nervensystem direkt und indirekt.

Die akkommodationsbewirkende glatte Muskulatur des Ziliarkörpers wird direkt vegetativ über das Verhältnis des Sympathikus und Parasympathikus innerviert.

Der zentral versorgte Vergenzapparat scheint jedoch auch zentrale Impulse zur Akkommodation zu senden. Diese zentralen Impulse können aber nur über den Umweg vegetativer Bahnen eingreifen, da z.B. trotz medikamentöser Lähmung der Akkommodation Mikropsie eintreten kann, wenn man vergebens willentlich versucht, nahe gelegene Objekte scharf zu sehen. Haase vermutet aus diesem Grund, dass zentrale Signale zur Akkommodationsinnervation ankommen, sie aber durch den blockierten Parasympathikus "stecken" bleiben. Er stellt die Hypothese auf, dass auch die Akkommodation eines zentralen Reizes bedarf, der das vorliegende vegetative Potential beeinflusst.

Das Vergenzsystem ist dagegen weitgehend zentral, d.h. willentlich beeinflussbar, selbst wenn der Parasympathikus blockiert wurde. Trotzdem folgt es zusätzlich in gewissem Grad allen vegetativen Impulsen des Akkommodationssystems, die in das Vergenzsystem steuernd eingreifen.

Folglich können im Vergenzsystem motorisch zentrale Impulse durch vegetative überlagert werden. Laut Haase hat man an quergestreiften Muskeln außer motorischen und sensiblen Nervenfasern auch sympathische Fasern gefunden. Es wird vermutet, dass diese sympathische Innervation in den Augenmuskeln einen gewissen Grundtonus (plastischer Anteil) herstellt.

Haase nimmt an, dass Vergenzschwankungen bei der Dunkelruhestellung vegetativ beeinflussbar sind. In der Hellruhestellung hingegen würden vegetative Schwankungen durch das Konvergenzzentrum im Gehirn stabilisiert, welches eine Leuchtdichte größer als 0,01 asb zur Steuerung der Vergenz benötigt. Da diese These nicht bewiesen ist, schlägt er vor, die Hell- und Dunkelruhestellungen unter Einfluss von Drogen, die den Parasympathikus und Sympathikus lähmen, wiederholt zu testen. Man könne somit Einflüsse vegetativer und zentraler Innervationen auf die Vergenz offen legen.

Haase geht davon aus, dass sich zumindest Hell-Dunkelruhestellungsrelationen durch Potentialverschiebungen innerhalb des vegetativen Nervensystems ergeben könnten, wenn die äußeren Augenmuskeln auch durch den Parasympathikus beeinflusst würden.

Er recherchierte ebenfalls, dass Augen, neben der Funktion des Sehens, vegetativ innervierte innersekretorische Vorgänge auslösen und regulieren, wie. z.B. Wasserhaushalt, Blutdruck, Kohlehydratstoffwechsel und Keimdrüsentätigkeit. Diese Reaktionen werden durch Lichtreizungen vegetativer Kerngebiete in Ganglienzellschichten der Netzhaut ausgelöst, die über vegetative Fasern des Sehnervs an vegetative Nervenkerne des Zwischenhirns und an die Hypophyse weitergeleitet werden.

Becher nannte diese Reizleitung '*heliotropes Bewirkungssystem*'. Diese Reizleitung kann sympathische und parasympathische Potentiale verschieben und hat Einfluss auf den vegetativen Gesamtzustand. Durch diese Zusammenhänge könnte Schlaf ausgelöst werden. Auf Grund grob anomaler Reizeinwirkungen kann es sogar zu neurovegetativen Störungen kommen. Daher sei auch nicht auszuschließen, dass rückwirkend wiederum Nerven-Muskelsysteme selbst, wenn auch nicht immer zweckmäßig, durch notwendige vegetative innere Prozesse beeinflusst werden könnten [Haase, 1980, S.74-77].

5.5.6 Eigene Schlussfolgerungen

Obwohl an dieser Stelle nicht sämtliche Details zur Innervation der Einstellmechanismen dargestellt werden konnten, ist nach allen zusammengetragenen Erkenntnissen von Haase und Birnbaum offensichtlich, dass das visuelle System von vegetativen Prozessen beeinflusst werden kann.

In der Kontrollgruppe des praktischen Teils dieser Diplomarbeit kam es in einigen Fällen, ohne Einwirkungen optischer Korrekturen oder Visualtrainings, zu bemerkenswerten Messwertschwankungen, allein durch gravierende Änderungen der Lebensumstände (z.B. Prüfungsphase vs. Ferien) und der resultierenden Tageskondition. Alle angeführten Argumente sollten daher beweisen, dass sich der vegetative Zustand eines Menschen enorm auf die Sehfunktionen auswirken kann. Es ist aus diesen Gründen nicht auszuschließen, dass die Größe einer Phorie von Stressfaktoren aus der Umwelt abhängig sein kann und je nach Konstitution größeren Schwankungen unterliegt.

6. Auswertung einer praktischen Studie zum Erfolg von Prismenkorrekturen und VT

6.1 Vorstellen der Ziele

Im Kapitel 6 wird der Aufbau, der Verlauf und die Ergebnisse der praktischen MKH-Korrektionsstudie (Prismen-Studie) und Visualtrainingsstudie (VT-Studie) im einzelnen erläutert. Die Untersuchungs- und Behandlungsstrategie sollte folgende Fragen im Sinne eines Vergleiches des deutschen und amerikanischen Managementsystems beantworten:

- Wie groß war der Erfolg, die *Compliance* und der Komfort für die jeweilige Maßnahme zum Abstellen von Beschwerden?
- Wurden bei allen Probanden mit Asthenopien und $AP_{(D)}$ auch Auffälligkeiten im Sinne der Integrativen Analyse gefunden?
- Hatten die abgegebenen MKH-Korrekturen nach deutschen und amerikanischen Kriterien Erfolg?
- Kann VT nach getragener Prismenkorrektur dazu beitragen, diese, ohne erneut Beschwerden hervorzurufen, abzulegen?
- Hat VT einen Einfluss auf den am Polatest ermittelten sensorischen Status?
- Welche Messerwertschwankungen können am Polatest und bei Sehfunktionsmessungen auftreten?
- Werden bestimmte Sehfunktionen in dem vorgegebenen zeitlichen Rahmen nur von einer bestimmten Behandlungsmethode optimal angesprochen?
- Welche Zusammenhänge gibt es zwischen defizitären Sehfunktionen bzw. der zugehörigen Diagnose und dem sensorischen Status laut MKH?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen $FD_{(USA)}$ -Kurven und der $FD_{(D)}$?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen Größe und Richtung der $AP_{(USA)}$ und der $AP_{(D)}$?

Dieser Fragenkatalog soll Antworten darauf liefern, ob die sensomotorischen Defizite und Störungen in den Sehfunktionen einen gemeinsamen Ursprung vermuten lassen können.

Da die Studie nur sehr wenige Teilnehmer hatte, wird lediglich erwartet, dass sich Tendenzen abzeichnen können, die dann mit kontrollierten Langzeitstudien weiter verfolgt und untermauert werden müssen.

6.2 Aufbau der praktischen Studie

6.2.1 Allgemeiner Ablauf

Im Rahmen der praktischen Untersuchungen wurden 20 Probanden ausgewählt, die an Asthenopien leiden und eine $AP_{(D)}$ (Winkelfehlsichtigkeit) besaßen. Weitere Bedingungen zur Aufnahme waren an folgende Kriterien geknüpft:

Aufnahmekriterien	Ausschlusskriterien
Alter: 7-35 Jahre	Presbyopie
Visus mit getragener Korrektur $R/L \geq 0,8$	In Vergangenheit oder jetzt prismatisch vollkorrigiert
4wöchige sphärozyklindrische Vollkorrektur vor Beginn der Untersuchungen, wenn Visus $< 0,8$ oder Unterkorrektur $> \pm 0,75$ dpt	bestehende Augenerkrankungen oder Einnahme von Medikamenten, welche die Vergenz, Akkommodation oder die visuelle Wahrnehmung beeinflussen
Bereitschaft zu 4 Augenuntersuchungen von jeweils ca. 1, 5 h	Augenoperationen in der Vergangenheit Strabismus
Augenarztkonsultation bei Auffälligkeiten während der Untersuchung (z.B. Strabismus)	Amblyopie
gute Kooperation	Anisometropie $> 1,5$ dpt
gute "Compliance" (Kontinuierliches Tragen der Prismenkorrektur, regelmäßiges Trainieren für VT)	manifeste Nystagmus In Vergangenheit Visualtraining (orthoptisches Training) $AP_{(D)} > 10$ cm/m

Tabelle 6.2-1

Die Mehrheit der Probanden umfasste Studenten der Fachrichtung Augenoptik/ Optometrie. Einige wenige stammten aus dem persönlichen Umfeld der Untersuchenden.

Bei allen Probanden erfolgte eine detaillierte Anamnese siehe Kap.6.2.2/ 4/ 6. Danach wurden sie nach amerikanischen Standards geprüft und nach mindestens 3 dazwischen liegenden Tagen mittels der MKH evaluiert und vermessen. Diese Reihenfolge ist beabsichtigt, weil man innerhalb der deutschen Optometrie davon ausgeht, dass sensorische Anpassungszustände der $FD_{(D)}$ während der Durchführung der MKH rückgestellt werden können. In diesen Fällen würden sich Sehfunktionen, selbst bei nur kurzzeitiger Herstellung bizentraler Abbildung sowie einem Abbau von Hemmungen, spontan und für nicht vorhersehbare Zeit verbessern [IVBV-Infos, 12/2002, S.8]. Die MKH könnte demnach die amerikanische Evaluierung beeinflussen bzw. sogar schönen. Die Testung von Sehfunktionen wiederum beansprucht das visuelle System enorm, so dass erfahrungsgemäß Hemmungen entstehen können, die ihrerseits eine Durchführung der MKH erschweren. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, dass starke Vergenzanforderungen z.B. bei Konvergenzbreitenmessungen, den Aufbau eines Muskeltonusses (Vergenzadaptation) fördern. Dieser würde wiederum das Messergebnis der MKH verfälschen. Derartige Vergenzadaptation lösen sich unter Fusion in der Regel nach wenigen Minuten auf. Sie können bei Diplopieerscheinungen einige Stunden bestehen bleiben, sind jedoch nach 3 Tagen nicht mehr zu erwarten. (siehe Kap.5.3.1)

Von allen Probanden wurden 10 für einen Zeitraum von 2 Monaten mit MKH-Vollkorrekturen versorgt und anschließend zur Verträglichkeit bzw. zur *Compliance* der Korrektur befragt. Nach einer erneuten amerikanischen Messung wurde mindestens 3 Tage später eine Nachkontrolle am Polatest durchgeführt.

Um die Ergebnisse abzusichern und dabei zu beweisen, dass sich die Messungen ohne gegenseitige Beeinflussung reproduzieren lassen, wurde eine Kontrollgruppe von 10 Personen mit gleichen Kriterien ebenfalls zweimal untersucht. In dieser Gruppe kam während der 2monatigen Kontrollzeit weder die deutsche noch die amerikanische Behandlung zur Anwendung.

Vor und nach der 2monatigen Korrektions- bzw. Kontrollphase wurde die jeweilige Diagnose für den Zustand des nichtstrabismischen Binokularsehens gestellt, d.h. nach amerikanischen Kriterien: die Kondition laut Integrativer Analyse und nach deutschen Kriterien: der Status laut MKH. Desweiteren wurden alle Probanden mittels einer detaillierten Anamnese vor und nach den 2 Monaten zum Auftreten von Beschwerden und Sehstörungen befragt.

Von allen Prismenprobanden wurden 4 besonders interessante Fälle herausgesucht, deren Beschwerden sich innerhalb der 2 Monate nur bedingt verringern ließen bzw. die noch immer Defizite laut MKH oder Integrativer Analyse zeigten.

Das vorrangige Ziel aller Kandidatinnen bestand darin, die Sehfunktionen und sensorischen Zustände durch eine Kombination aus Prismen und *VT* bzw. ausschließlich durchs Training weiter zu optimieren. Als zweite Herausforderung war angestrebt, dass die Probandinnen nach dem Training permanent oder zumindest größtenteils ohne Prismen auskommen können, um entweder gar keine Korrektur zu benötigen oder Kontaktlinsen tragen zu können. Den Probanden wurde aus Gründen der *Compliance* freigestellt, ihre Prismenbrille während des Trainings weiter zu tragen.

Am Ende der Therapie (nach 12-17 wöchentlichen Sitzungen) wurde erneut eine Abschlussanamnese zur Bewertung der Therapiemethode und des Erfolgs, aus Sicht der Probanden, durchgeführt. Anschließend sind alle Probandinnen ein weiteres Mal nach dem bereits bekannten Schema mittels amerikanischer Tests und MKH nachuntersucht und diagnostiziert worden.

6.2.2 Eingangsuntersuchungen

Anamnese

Die Anamnese erfolgte nach typisch amerikanischem Muster. Es wurden vor allem auftretende Asthenopien und Sehstörungen detailliert abgefragt, die mit Defiziten im Binokularsehen in Zusammenhang gebracht werden.

Neben persönlichen Daten, wurden Informationen zu Beruf oder Studium und hauptsächlich Alltagsaktivitäten (Computerarbeiten, Lesen, Autofahren) aufgenommen.

Die Befragung der Probanden konzentrierte sich dann auf vergangene bzw. derzeitige optometrische Versorgungen (Kontaktlinsen, Brille, Prismen, Sehschule oder Augenpflaster) sowie auf Zeit-

punkt, Art, Umfang und Ursachen von etwaigen Augenerkrankungen, Kopfverletzungen oder Augenoperationen.

Im nächsten Abschnitt waren die Kandidaten aufgefordert, relevante Erkrankungen (Schilddrüse, Muskeln, Multiple Sklerose, Bluthochdruck, Diabetes, Glaukom) und verordnete Medikamente (Produktname, Menge bzw. Dosierung) anzugeben.

Wie im amerikanischen System üblich, wurden auch Fragen zum sozialen Hintergrund gestellt, z.B. ob und in welchem Maße jemand raucht, übermäßig Alkohol genießt, verschiedene Drogen zu sich nimmt und ob Fahrzeuge geführt werden etc.

Der letzte Besuch beim Hausarzt und beim Augenarzt waren samt Grund und Ergebnis ebenfalls Inhalt der Erhebung. Schließlich folgten Angaben zu typischen allgemeinen Erkrankungen bzw. Augenerkrankungen in der Familie, wie z. B. Glaukom, Multiple Sklerose, Strabismus, Krebs, Diabetes etc., da selbige die genetische Prädisposition des Probanden offen legen können.

Die getragene Korrektur wurde notiert und folgende Beschwerden und Sehstörungen abgefragt:

Welche der folgenden Beschwerden haben Sie:

- | | | | |
|---|------------|---------------|-------------------|
| • Schwierigkeiten beim Lesen oder Schreiben: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| • Auffälligkeiten in der Feinmotorik: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| - z.B. Kaffee eingießen etc., allgemeine Ungeschicklichkeiten | | | |
| • Herausforderungen in der Grobmotorik: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| - z.B. Ballspiele, Autofahren (Einparken) | | | |
| • Anstrengungsbeschwerden: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| - z.B. Kopfschmerzen, Augenschmerzen | | | |
| - Konzentrationsprobleme nach konzentrierter Arbeit: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| - z.B. Unruhe, Überaktivität, Müdigkeit | | | |
| • erhöhte Blendempfindlichkeit: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| • oft rote und müde oder tränende Augen: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |

Sehstörungen wie:

- | | | | |
|---|------------|---------------|-------------------|
| • Schwierigkeiten, Entfernungen einzuschätzen: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| • Kaum räumliches (dreidimensionales) Sehen:
(kaum Effekt in 3D Kinos) | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| • Schwierigkeiten, Geschwindigkeiten einzuschätzen: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| • Sehen mit beiden Augen nicht besser als nur mit einem Auge: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| • Doppeltsehen: | ja: | ,nein: | ,manchmal: |
| • Schwierigkeiten, nach Entfernungswechsel scharf zu sehen:
(beim Fokussieren von Nähe zur Ferne und /oder umgekehrt) | ja: | ,nein: | ,manchmal: |

Die am stärksten beeinträchtigenden Probleme wurden genauer hinterfragt. Dabei sind auch Symptome aufgenommen worden, die vorher nicht gelistet waren. Diesbezüglich wurde nach Zeitpunkt des Beschwerdebeginns, Häufigkeit und Stärke (gering, mittel, stark) gefragt. Darüber hinaus war von Interesse, zu welcher Tageszeit bzw. in welchem Zusammenhang die Symptome erscheinen, in welcher Region Schmerzen auftreten und wie lange diese gewöhnlich bestehen. Schließlich ging es darum, wie die Probleme abgestellt werden können und welche Anzeichen regelmäßig in Zusammenhang mit den genannten Beschwerden auftreten. Mit diesen detaillierten Angaben konnten die Schwierigkeiten besser in die amerikanische Standarduntersuchung einbezogen werden.

Amerikanische Standarduntersuchung

Die Amerikanische Standarduntersuchung enthielt alle Teste, die in einer typischen Evaluierung nichtstrabismischen Binokularsehens relevant sind und in Kap.3.1.2 bereits beschrieben wurden. Außerdem sind die in Kap.5.2.2 analysierten FD-Teste für die Ferne (*Woolf Card*) und für die Nähe (*Wesson Card*) durchgeführt worden

Die Reihenfolge der Teste wurde bewusst nach dem vorliegenden Muster festgelegt, damit die Messungen sich gegenseitig so wenig wie möglich beeinflussen. Darüber hinaus sollte auf diese Weise eine schnelle Abfolge der Untersuchungen gewährleistet werden.

Trotz zunehmend routinierterer Handhabung dauerte eine Untersuchung im Schnitt 1h.

Folgende 34 Messwerte wurden wie folgt aufgenommen:

Amerikanische Standardteste		
1	Visus mit getragener Korrektur in 4,6 m	18 Akkommodationsbreite (vom Auge wegführende)
2	Visus mit getragener Korrektur in 40 cm	19 Nahkonvergenzpunkt (mit Akkommodationsobjekt)
3	Augenfolgebewegungen	20 Konvergenzbreite Ferne (Nebel-,Abreiß-,Wiederv.pkt)
4	Sakkaden	21 Divergenzbreite Ferne
5	Covertest Ferne mit getragener Korrektur	22 Konvergenzbreite Nähe
6	Covertest Nähe mit getragener Korrektur	23 Divergenzbreite Nähe
7	Pupillendistanz	24 FCC (Binokularer Kreuzzylinder)
8	subjektive Refraktion	25 NRA (negative relative Akkommodation)
9	Visus mit neuer Korrektur in 4,6 m	26 PRA (positive relative Akkommodation)
10	Visus mit neuer Korrektur in 40 cm	27 MAF (monok. Akkommodationsdynamik mit $\pm 2,0$ dpt)
11	MEM-Skiaskopie	28 BAF (binok. Akkommodationsdynamik mit $\pm 2,0$ dpt)
12	Covertest Ferne mit neuer Korrektur	29 VF (Vergenzdynamik mit Prismen: 3cm/m Bi/ 12cm/m Ba)
13	Covertest (CT) Nähe mit neuer Korrektur	30 Worth 4 Dot Test
14	CT mit -1,0 dpt (AC/A-Gradient)	31 FD(USA)-Kurve Ferne (<i>Woolf card</i>)
15	(Randot Stereotest in FN-Stellung)	32 AP(USA) Ferne
16	Konturen	33 FD(USA)-Kurve Nähe (<i>Wesson Card</i>)
17	Random Dot	34 AP(USA)- Nähe

Tabelle 6.2-2

Im Schnitt dauerte die reine Binokularuntersuchung am *The Eye Institut (TIE)* des *Pennsylvania College of Optometry (PCO)* maximal 30min. Für die praktischen Untersuchungen war es jedoch nötig, die wichtigsten Teste in ihrer Vollständigkeit zu präsentieren, weil zu diesem Zeitpunkt noch Ungewissheit darüber bestand, welche Sehfunktionen von Prismen beeinflusst werden können. Zudem wurden die Testergebnisse besonders sorgfältig ermittelt, um Messfehler weitestgehend auszuschließen.

Der Visus musste vor und nach der Korrektur bestimmt werden, damit mögliche Binokularprobleme durch unterkorrektionsbedingte Unschärfen aufgedeckt werden konnten. Augenbewegungen, *Covertest*, *AA*, *MEM* und Stereoteste belasten das Vergenz- und Akkommodationsssystem kaum, daher wurden diese Teste zur Ermittlung objektiver Messwerte zuerst durchgeführt. Danach folgten *NPC* und Vergenzbreiten, die zwar jeweils die Vergenz stark beeinflussten, jedoch wichtige Ergebnisse zur Diagnosefindung lieferten. Zur leichten Entspannung des visuellen Systems sollte dann die *FCC*-Messung dienen, bevor *NRA*, *PRA*, *BAF* und *MAF* die Akkommodation direkt und die Vergenz (außer *MAF*) indirekt ansprechen.

Die Testung der Vergenzdynamik erfolgte am Schluss des typisch amerikanischen Untersuchungsablaufes. Danach wurden 5-10min Pause zur Entspannung eingelegt und schließlich die *FD*-Kurven, aus denen *AP_(USA)*-Werte für Ferne und Nähe hervorgehen, horizontal wie auch vertikal ermittelt.

Bei diesen Messungen sind dem Probanden abwechselnd 3, 6, 10, 12 und 15cm/m Prismen Basis außen und innen für maximal 15s vorgesetzt worden, bis sich der Seheindruck stabilisierte und der Proband Angaben zur Auswanderung machen konnte. Dazwischen wurden die Messwerte notiert, um das Vergenzsystem kurzzeitig zu entlasten und anhaltende Vergenzadaptationen (Ausgangs $FD_{(USA)}$ -Wert verändert sich) zu vermeiden.

Anschließend wurde der Test in Uhrzeigerrichtung 90° gedreht und vertikale Messungen nach dem bereits erwähnten Muster in 0,5, 1, 2, 3 und $4^{cm}/m$ Schritten ausgeführt. Die Durchführung eines $FD_{(USA)}$ -Testes dauert im Schnitt 5min und stellt für das Vergenzsystem gleichfalls eine große Belastung dar. Die Messung wurde ans Ende aller Messungen gestellt. Diese Reihenfolge sollte gewährleisten, dass Ergebnisse der Routineteste so wenig wie möglich beeinflusst werden, um die Diagnose nicht unnötig zu erschweren. Von Interesse war darüber hinaus, wie das Vergenzsystem nach all diesen Belastungen auf die Messungen reagiert. Es war anzunehmen, dass stark beeinträchtigte visuelle Systeme am Ende der Testung besonders auffällig würden.

Der dargestellte Versuchsablauf sollte möglichst objektive Messergebnisse sichern, wobei im Nachhinein zwei Argumente für eine geringfügige Veränderung gesprochen hätten. Der Worth-4-Dot Test hätte gleich nach den Stereotesten durchgeführt werden sollen, da fast alle Teilnehmer am Ende dieser langen Untersuchungsreihe in der Ferne Hemmungen zeigten. Bei isolierter Testung erschien die Wahrnehmung oft stabiler. Aus diesem Grund lieferte dieser Test keine nützlichen Hinweise. Er war bei nahezu allen Probanden vor und nach der Korrektionszeit auffällig. Des Weiteren hätte man die Divergenzbreiten vor den Konvergenzbreiten messen sollen, weil nach Erkenntnissen der Literaturrecherche Konvergenz sehr viel schneller als Divergenz einen nachhaltigen Tonus aufbaut. Aus diesem Grunde könnten in einigen Fällen Divergenzbreiten etwas zu gering ausgefallen sein. Bei Zwischentestungen, in denen erst die Divergenz-, dann die Konvergenz- und zum Schluss erneut die Divergenzbreite bestimmt wurde, konnten jedoch nur Abweichungen bis maximal 1cm/m gemessen werden.

Polatestuntersuchung

Die Durchführung der MKH erfolgte in einem 5,8m langen Raum. Da der $FD_{(USA)}$ -Test für die Ferne von den meisten Probanden nur in 4,6m Entfernung einschätzbar war, die MKH jedoch unter hohen Anforderungen an den Visus ablaufen sollte, wurden zwei verschieden lange Räume ausgewählt. Die Differenz der Fernrefraktion beträgt aufgrund der Raumlängenunterschiedes von 1,2m ca. 0,05dpt. Aus diesem Grund waren kaum Abweichungen in der Refraktion zu erwarten, es sei denn, der Proband lag zwischen zwei Werten der Messglasabstufung. Bevor nach den Regeln der MKH prismatisch korrigiert wurde, erfolgte erneut eine subjektive Refraktion, um der längeren Testentfernung gerecht zu werden. So konnten zusätzliche Refraktionsschwankungen erfasst und eine bestmögliche Abbildungsqualität auf der Netzhaut garantiert werden. Neben dem monokularen Visus wurde anschließend erneut der binokulare Visus ermittelt. Es folgte ein Durchlauf am Polatest ohne Prismen, um den Status der $FD_{(D)}$ I in die Diagnose einzubeziehen. Ferner wurde die relative Stereotiefe vor und nach der binokularen Refraktion bestimmt.

Nach den Regeln der MKH erschweren all diese Messungen den Tonusabbau am Kreuztest, aufgrund von Fusion. Der gewählte Testablauf ermöglichte jedoch, den vorhandenen sensorischen Zustand vor der MKH (binokularer Visus, Hemmungen, Stereosehen) zu evaluieren und eine $FD_{(D)}$ I zu diagnostizieren. Nur so konnten spontane und nachhaltige Auswirkungen der Vollkorrekturen beurteilt werden.

Hierauf wurden nacheinander Kreuztest, Zeigertest, doppelter Zeigertest, Hakentest, Stereotest, Valenztest, D5 und Random-Dot Stufentest und schließlich der Cowentest durchgeführt und je nach Funktionsweise des Testes korrigiert. Bei einigen Probanden musste anstelle des Valenztestes auf den V11-Test ausgewichen werden, weil aufgrund eingeschränkter Panumbereiche eine nicht korrigierbare Diplopie bestand. Bei der Mehrheit der Teilnehmer ließen sich die Untersuchungen um den Random-Dot Handtest erweitern. Das gesamte Spektrum dieser Tests wurde zwei- bis dreimal wiederholt bis alle Anteile der $AP_{(D)}$ für die Ferne bestmöglich korrigiert waren.

Die nachfolgende Prüfung in der Nähe erfolgte ebenso nach den Regeln der MKH, allerdings in einer Entfernung von 40cm. Abschließend musste jeder Proband die Fernteste mit den gegebenen Prismen erneut beurteilen. Sobald sich die Stereoteste in der Ferne verschlechterten, wurden die Nahwerte wieder entfernt. Nachdem die Probanden die Verträglichkeit der Fern- bzw. Nahprismen anhand einer Leseprobe bestätigen konnten (es gab keine Unverträglichkeiten), wurden die gegebenen Prismenwerte als Korrektionswerte festgelegt.

Während der MKH sind alle Aussagen der Probanden vor und nach jeder Testkorrektur schriftlich festgehalten worden, um später Rückschlüsse auf Veränderungen des binokularen Status und nachfolgende Korrektionschritte treffen zu können.

Nachdem zunächst der binokulare Visus mit der Korrektur bestimmt wurde, waren die Probanden aufgefordert die Verträglichkeit der Prismen zu beurteilen. Hierzu mussten sie mit den Prismen aus dem Fenster schauen und sich im Raum bzw. Gang des Hochschulgebäudes bewegen.

Einige der Teilnehmer konnten sich von vornherein nicht vorstellen, Prismenkorrekturen zu tragen. Einige wenige jedoch entschieden sich erst nach der MKH gegen die Korrektur. Hierbei spielten ästhetische Gesichtspunkte eine große Rolle. Da aber eine gute *Compliance* gewährleistet sein musste, um Aussagen über den Korrekturerfolg treffen zu können, erhielten nur motivierte Probanden Prismenkorrekturen.

6.2.3 Prismenkorrektur

Alle 10 Probanden bezogen ihre Prismenkorrekturen über das Brillenanpassungslabor des Studiengangs Augenoptik/ Optometrie der TFH-Berlin. Die Gläser sind von der Firma Zeiss zur Unterstützung der Studie kostenlos angefertigt worden. Die Brillenfassungen wurden von den Probanden selbst gestellt, wobei nicht mit Augenoptik/ Optometrie vertraute Probanden vor dem Kauf bezüglich der Auswahl von Form und Größe eingehend beraten worden sind. Hierbei ging es darum, bereits im Vorfeld die zu erwartende Glasranddicke minimieren zu können und bestmöglichen Komfort zu garantieren.

Die Glaszentrierung und Prismenstärkeberechnungen des Glasdurchmessers bzw. der Randdicken erfolgten mit dem Zeissgerät Video Infrac[®]. Hier konnte das Programm Winfrac die Fassungsform, die Durchblickspunkte, die Vorneigung bzw. die rechtwinklige Ausrichtung der Fassung in Bezug

zur Richtung der Videoaufnahme berücksichtigen, um eine bestmögliche Verträglichkeit der Prismenkorrektion zu gewährleisten. Ferner wurden Angaben zum Mittenabstand, zur Reihenfolge der Korrektionsgläser in der Messbrille und zum HSA, bis zum stärksten sphärischen Korrektionsglas, in die Berechnung der Prismenstärke bzw. sphärozyklindrischen Stärke einbezogen. Mit dieser individuellen Glasberechnung bei gleichzeitiger Vorgabe der Zentrierung sind einerseits PMZ, Formelfall oder Zwischenformen berücksichtigt und andererseits bestmögliche Voraussetzungen für die Anpassung der Prismenkorrektion geschaffen worden.

Es wurden nur Brillen abgegeben, die nach der Einarbeitung der Gläser und Endanpassung der Brille, in den Durchblickspunkten bei Nullblicksrichtung auf 0,25dpt Genauigkeit die gewünschte, in der Refraktion ermittelte, binokularprismatische Wirkung zeigten.

Nach der anatomischen Endanpassung der Brille erfolgte sofort eine Einrastsetzung. Dabei wurden den Probanden mit der gegebenen Korrektur hauptsächlich Stereoteste präsentiert. Dieses Vorgehen sollte bizentrales Sehen stimulieren und gleichzeitig eine bestmögliche Verträglichkeit Korrektur gewährleisten.

Alle Probanden wurden angehalten, die Brille für einen Korrektionszeitraum von 2 Monaten permanent zu tragen.

6.2.4 Abschlussuntersuchungen, Prismenkorrektion und Kontrollprobanden

Erst nach mindestens 8 Wochen Korrektions- bzw. Kontrollzeit wurden die Probanden erneut untersucht und nach Erfolg der Korrektur bzw. Verlauf der Kontrollzeit befragt.

Nur eine der 10 Teilnehmerinnen musste die Korrektionszeit 4 Wochen früher abbrechen, weil die Korrektur zu starker psychischer Belastung führte. Der Status wurde aufgrund der geringen Probandenzahl trotzdem nach gleichen Kriterien überprüft.

Abschlussbefragung der Prismenprobanden

In der Abschlussbefragung sind allen Probanden die folgenden Fragen zum Verlauf der Korrektionszeit vorgelegt worden:

- 1. Wie war die spontane Verträglichkeit der Prismenbrille?**
- 2. Wie verlief die Eingewöhnungszeit?**
- 3. Wie konsequent haben Sie die Brille getragen?** (Bitte angeben, wie oft und wie lange nicht!)
- 4. Hatten Sie Beschwerden, die Sie auf das Tragen der Prismenbrille zurückführen?**
- 5. Stören Sie bestimmte Effekte, die nur im Zusammenhang mit der Prismenbrille auftreten ?**
- 6. Welche positiven Erlebnisse bzw. Erfahrungen haben Sie mit der Brille gemacht?**
- 7. Haben sich bei Ihnen bestimmte Gewohnheiten beim Lesen oder anderen Tätigkeiten geändert?** (z.B. Dauer bestimmter Tätigkeiten, die Konzentration erfordern oder generelle Lebensgewohnheiten)
- 8. Hat sich für Sie aufgrund der Brille Ihre Lebensqualität verändert? Wenn ja, beschreiben Sie bitte in wie fern?**
- 9. Haben Sie eine Änderung der räumlichen Wahrnehmung feststellen können?**
- 10. Können Sie bewegte Objekte mit der Prismenkorrektur besser verfolgen?** (z.B. Straßenschilder aus einem fahrenden Auto lesen oder ähnliches)
- 11. Treten Sehschärfenschwankungen auf?**
- 12. Haben Sie Probleme, beim Wechsel von Nähe zur Ferne oder umgekehrt, scharf zu sehen?**

Dann wurden, nach dem gleichen Schema wie in der Anamnese, unverändert auftretende Beschwerden statistisch erfasst.

Anschließend listeten die Probanden alle, während der Kontrollzeit bemerkten Verbesserungen auf und beschrieben in diesem Zusammenhang auch Zeitpunkt, Häufigkeit und Stärke (gering, mittel, stark) der Veränderungen. Außerdem sollten sie bemessen, welchen Einfluss die Verbesserungen auf Lebensgewohnheiten ausübten und inwieweit damit weitere Veränderungen der Lebensqualität einhergingen. Gegen Ende der Abschlussbefragung wurde jeder Proband aufgefordert, darüber Auskunft zu geben, ob er die Brille auch in Zukunft tragen wird und diese Entscheidung zu begründen. Nach Auswertung des *VT*- Behandlungsverlaufes sind die letztere Fragestellung neben den Fragen 1-8 besonders hilfreich für die Entwicklung eines Typprofils, dem eine der möglichen Korrektions- bzw. Behandlungsstrategien beste Aussichten auf *Compliance* und somit auch auf Erfolg verspricht (siehe Kap. 8).

Abschließend war von Interesse, ob zwischenzeitlich ein Augenarzt konsultiert wurde, welche Gründe vorlagen und welche Augenerkrankungen, allgemeine Erkrankungen oder Kopfverletzungen möglicherweise eingetreten sind.

Abschlussbefragung der Kontrollprobanden

Während der Befragung der Kontrollprobanden wurden die Fragen 1-8 ausgelassen und nur die Fragen 9-12 gestellt, um sicherzustellen, dass die Reduzierung der Beschwerden und Sehstörungen der Korrektionsprobanden tatsächlich auf die Korrekturen und nicht auf allgemeine Schwankungen des binokularen Zustands, wie sie die Kontrollgruppe offen legen sollte, zurückzuführen ist. Abgesehen von den genannten Abweichungen stimmten die Fragebögen der beiden Gruppen inhaltlich überein. Falls Verbesserungen aufgetreten waren, sollten die Probanden ihre Vermutungen hinsichtlich möglicher Ursachen darlegen.

Amerikanische Nachuntersuchung

Alle Probanden wurden in Art und Reihenfolge der Teste, identisch der Eingangsuntersuchung hinsichtlich ihrer Sehfunktionen kontrolliert. Dabei behielten sie ihre Prismenbrille während der gesamten Zeit auf. Die monokulare Refraktion wurde in der Kontrollgruppe lediglich zur Beurteilung von Veränderungen in der Refraktion überprüft, innerhalb weiterer Teste aber nicht mehr berücksichtigt. Begründen lässt sich dieses Vorgehen damit, dass einerseits während der Messungen keine großen Änderungen auftraten und andererseits der momentane Zustand des Binokularsehens zu prüfen war.

Bei dieser Abschlussuntersuchung sollte ermittelt werden, inwiefern die gegebene Prismenbrille Sehfunktionen optimieren bzw. Typ und Verlauf der $FD_{(USA)}$ -Kurven beeinflussten konnte.

Die Ergebnisse der Kontrollgruppe dienten zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit amerikanischer Testergebnisse. Sie könnten allerdings von Messfehlern und Schwankungen aufgrund der individuellen Tagesform der Probanden beeinträchtigt werden. Der Vergleich von Messwertschwankungen zwischen Korrektions- und Kontrollgruppe wird zur Objektivierung der Beurteilung von Prismenkorrektionsfolgen benötigt. Ohne diesen Vergleich ist nicht auszuschließen, dass z.B. alleiniges Wiederholen der Teste einen Lerneffekt hervorrufen könnte, der ebenfalls zu einer Verbesserung der Sehfunktionen führt.

Polatestnachuntersuchung

Für alle Probanden war die Polatestnachuntersuchung im Ablauf identisch mit der Erstuntersuchung. Vorher jedoch erfolgte bei allen Korrektionsprobanden ein Durchlauf sämtlicher im Polatest enthaltenen Teste mit der getragenen Prismenkorrektion. Hier sollten sowohl der momentane Status (Hemmungen, Unruhen von Testanteilen, Refraktions- und Stereosehgleichgewicht, Stereogrenzwinkel sowie relative Stereotiefe) als auch der Korrektionszustand (Voll-, Über- oder Unterkorrektion) bestimmt werden.

Nach der subjektiven Refraktion wurde die MKH ohne Prismenbrille durchgeführt. Ein kurzer Durchlauf sollte auch hier den sensomotorische Zustand ohne Prismen prüfen und die Diagnose einer $FD_{(D)}$ I mitberücksichtigen. Anschließend wurden die Teste wie üblich korrigiert. Der Vergleich der Prismenmenge, die während der Eingangsuntersuchung und zur Nachkontrolle an den einzelnen Testen gegeben wurden, sollte Veränderungen des binokularen Status aufzeigen und zugleich offen legen, ob sich weiterer Tonus gelöst hatte oder sensorische Rückstellungsprozesse nachweisbar waren.

Auch bei dieser Untersuchung dient die wiederholte prismatische Korrektion der Kontrollprobanden einer Einschätzung der Reproduzierbarkeit der MKH-Messergebnisse über einen Zeitraum von 2 Monaten (in einer Ausnahme 8 Monate).

6.2.5 Visualtraining (VT)

Voruntersuchung

Alle 4 Visualtrainingsprobanden trugen mindestens 2 Monate lang ihre Prismenkorrektion. Der Zeitraum bis zum Beginn des Trainings war individuell unterschiedlich und umfasste 1-5 Monate. In dieser Zeit haben 3 von 4 Probanden ihre Korrektion relativ kontinuierlich getragen, eine weitere Probandin nur, wenn sich Anstrengungsbeschwerden zeigten. Vor Beginn des Trainings wurden alle Probandinnen nach bestehenden Beschwerden und Sehstörungen befragt, eine ausführliche Anamnese war aufgrund der Erstuntersuchung für die Prismenkorrektion bereits vorhanden. Die zur amerikanischen Diagnose wesentlichen Teste wurden vor Trainingsbeginn erneut, aber - um die Probanden zu schonen - in geringerem Umfang durchgeführt. Aufgenommen wurde der Visus für Ferne und Nähe, Augenbewegungen, *MEM*, *Covertest* Ferne und Nähe, Nahkonvergenzpunkt, Worth 4 Dot Test, Akkommodationsamplituden, Vergenzbreiten Ferne und Nähe sowie dynamische Vergenz- (*VF*) und Akkommodationsteste (*BAF* und *MAF*).

Alle Probanden wurden mit ihren gegebenen Prismenkorrekturen am Polatest ein weiteres Mal mittels eines einfachen Durchlaufs ohne Korrektionsschritte daraufhin untersucht, ob sich Änderungen im sensorischen Status, wie z.B. Hemmungen, Unruhen, Verzögerungen, Auffälligkeiten bestimmter $FD_{(D)}$ -Teste, Stereogrenzwinkel, relative Stereotiefe und Vorhandensein eines Stereosehgleichgewichts, in der Zwischenzeit ereignet hatten. Auf eine genaue Korrektion wurde verzichtet, um

nicht erneut bizentrale Abbildung prismatisch zu provozieren und damit den Trainingseffekt besser beurteilen zu können. Es wurden keine großen Veränderungen erwartet, da alle Probanden seit der Nachkontrolle prismatisch unterkorrigiert waren und weitere Prismenverstärkungen nicht vorgenommen werden konnten. Diese Vermutung bestätigte sich in allen Fällen. Keine der Probandinnen zeigte Stereosehgleichgewicht.

Ablauf des Visualtrainings

Folgende Konditionen wurden laut amerikanischer Diagnose therapiert:

- Akkommodationsexzess
- Konvergenzinsuffizienz

Eine Probandin hatte eine Konvergenzinsuffizienz, 2 hatten nur einen Akkommodationsexzess und eine weitere wies beide Zustände auf.

An dieser Stelle ist es leider nicht möglich, die Trainingsabläufe aller Probanden darzustellen. Sie unterscheiden sich jedoch nur unwesentlich. Bei einem Training nichtstrabismischer Defizite werden grundsätzlich und immer gleichzeitig sowohl Akkommodationsübungen als auch Vergenzübungen durchgeführt. Dabei sind diejenigen Funktionen verstärkt gefordert, die überwiegend Defizite aufweisen. Alle anderen Mechanismen werden immer kontrollierend mittrainiert. Besteht ein Konvergenzproblem, sind zunächst Konvergenz- und später auch Divergenzreserven aufzubauen. Ebenso üben die Probanden mit einem Akkommodationsexzess zunächst Akkommodation zu entspannen, zum Schluss der Therapie wird jedoch Akkommodation immer in beide Richtungen und in gleichem Maße angesprochen.

Abhängig vom binokularen Zustand im Einzelnen werden für all diese Konditionen in der Regel 12–24 Trainingseinheiten à 45min pro Woche veranschlagt. Die 4 Probanden schlossen ihr Training nach 12-17 wöchentlichen Sitzungen ab, die sich jedoch durch Urlaub, Krankheit und andere Ausfälle über einen Zeitraum bis zu 6 Monaten ausweiteten.

Jeder Proband war angehalten, 5 Tage in der Woche jeweils 20min zu Hause zu trainieren. Hierfür wurde Trainingsmaterial zu Verfügung gestellt. In den wöchentlichen Auswertungen, wurden die Ergebnisse der "Hausaufgaben" demonstriert und Probleme bzw. Erfolge besprochen. Im zweiten Teil wurden zunächst neue Trainingsschritte erläutert und danach probeweise ausgeführt. Die täglichen Übungen sind möglichst so aufgeteilt worden, dass immer gleichzeitig Vergenz, Akkommodation, Sakkaden und Augenfolgebewegungen beansprucht wurden. Ein wesentlicher Unterschied dieses Trainingsablaufes zu dem von der *OEP* favorisierten *VT* besteht darin, dass es sich hauptsächlich auf visuelle Funktionen beschränkt und kaum Elemente der Wahrnehmung (*perception*) einbezieht. Die Wahrnehmung würde bei Defiziten gesondert evaluiert und trainiert werden und ist nicht Bestandteil eines Trainings defizitären nichtstrabismischen Binokularsehens nach dem System von Scheiman und Wick.

Trainingsbeispiel

Nachfolgend soll am Beispiel einer Konvergenzinsuffizienz der Ablauf des Trainings kurz dargestellt werden. Die genaue Durchführung und Analyse jeder Übung würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Hierzu wird auf folgende Quellen verwiesen: [Scheiman & Wick, 1994, S.107-217; Birnbaum, 1993, S.281-380; Koch, SS2002, S.129-229; Griffin, 1988, S.281-344].

Phase 1:

Voraussetzungen: in der ersten Phase muss ein Vertrauens- und Arbeitsverhältnis mit Probanden erarbeitet werden. Dabei geht es vor allem darum, bekannte Feedbackmechanismen zu vermitteln. Diese stehen während der Therapie für die Erläuterung und Durchführung der Übungen unterstützend zur Verfügung. Feedbackmechanismen sind z.B. Unschärfen, Diplopie, Hemmungen, *Luster*¹, *SILO*-Effekte, Kinästhesie und *Float*². Der Proband lernt während des Trainings, diese Effekte zu beurteilen und auszunutzen [Scheiman & Wick, 1994, S.113]. Z.B. hilft der *SILO*-Effekt (*Small In/ Large Out*) einigen Probanden durch Makropsie- und Mikropsieerscheinungen wahrzunehmen, ob sie gerade konvergieren oder divergieren [siehe hierzu Koch, SS2002, S.110]. Bei der Kinästhesie soll der Proband beschreiben, wie sich Konvergenz bzw. Divergenz oder Akkommodation bzw. Desakkommodation anfühlt (kinästhetische Wahrnehmung).

Bei diesem Training ist entscheidend, dass der Proband immer versteht, wozu er jede Übung ausführt. Einerseits geht es dabei um das Erzielen einer guten Motivation, zum anderen aber gleichzeitig um die Möglichkeit, später die erlernten Übungen im natürlichen Sehen umsetzen zu können.

In der ersten Phase wird bei der Durchführung der Trainingsschritte zunächst Wert auf Quantität (Erreichen der Vergenz- und Akkommodationsamplituden), dafür weniger auf Qualität und Geschwindigkeit gelegt.

Vergenztraining: Im Vergenztraining wird im Falle einer Konvergenzinsuffizienz dem Probanden zunächst vermittelt, willentlich über eine Distanz von 5cm – 6m, zu konvergieren. Hierzu stehen verschiedene Übungen zur Verfügung. Im Rahmen dieser Studie spielte diesbezüglich zunächst die *Brockstring* (Brockstring) und *Bug on String* (Käfer auf der Schnur) eine wichtige Rolle. (siehe Abb.6.2-3). Diese Übungen trainieren Augensprungbewegungen und darüber hinaus auch Augenfolgewegungen, Überdies werden Hemmungen abgebaut. Am Ende beider Übungen kann der Proband ohne Hinzunahme einer Schnur willentlich konvergieren.

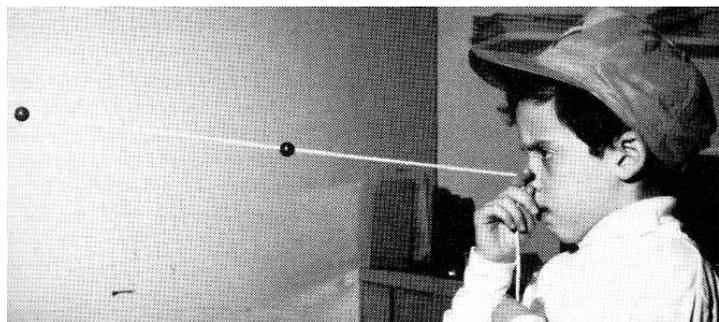


Abbildung: 6.2-3: Brockschnur [Scheiman & Wick, 1994 S. 189]

¹ *Luster*: zwei Objekte verschiedener Farben (Rot/ Grün) scheinen unter Fusion zu schimmern.

² *Float*: Objekte scheinen näher zu kommen oder sich zu entfernen

Zusätzlich wurde die Konvergenzbreite mit Vektogrammen (Trennung der Seheindrücke durch Polarisation) und Trananglyphen (Trennung durch Rot/ Grün-Filter) über Konvergenzhalteübungen normalisiert. Diese Übungen werden *smooth vergence training* genannt, weil die Vergenz gleichmäßig und lang anhaltend angesprochen wird, aber keine abrupten Änderungen des Vergenzanspruchs forciert werden. Das Vergenztraining wird zunächst mit relativ großen, nicht ins Detail gehenden Objekten durchgeführt, um die Fusion am Anfang zu erleichtern. Werden 30cm/m Konvergenz auf 40cm Nahabstand erreicht, so erfolgt das Training mit stärker detaillierten Objekten, um zentralere Netzhautbereiche anzusprechen. Somit wird die Übungen graduell im Niveau angehoben.

Akkommodationstraining: Hier lernt der Proband, die Akkommodation willentlich zu steuern und dabei wahrzunehmen, ob sie sich gerade in Spannung oder Entspannung befindet. Das Ziel ist, bei auftretenden Problemen zu Beginn die Akkommodationsamplituden und später die Akkommodationsdynamik zu normalisieren. Übungen, die diese Funktionen ansprechen, sind: *Lenssorting* (monokulares Sortieren von Gläsern verschiedener Wirkungen) und *Loose lens rock* (abwechselndes Ansprechen der monokularen Akkommodation und Desakkommodation mittels eines *Flippers*³, siehe Abb.6.2-4)".

Zunächst werden diese Trainingsschritte mit geringen sphärischen Werten ausgeführt (+0,50dpt bis -0,5dpt), die dann schrittweise, je nach Progression des Trainingsverlaufes, angehoben werden. Binokulare Akkommodationsübungen, wie z.B. *Binocular accommodativ rock* (*Loose lens rock* nur binokular), werden erst dann ausgeführt, wenn der Proband monokular 12 aufeinander folgende Male, jeweils durch ein Plus- und Minusglas der Stärke +2,0/-2,0dpt, ein Objekt der Visusstufe 0,7 in 40cm Abstand klar auflösen kann.

Eine weitere, die Ferne einbeziehende Übung ist die *Far-near hart chart*. Hier wird ein identischer Buchstabenblock in 3m und in 40cm Abstand abwechselnd laut vorgelesen. Dabei werden neben der Akkommodation auch horizontale und Nah-Fern-Sakkaden trainiert.

Die Abb. 6.2-4 zeigt die Übung *Binokular accommodativ rock*, die von der Probandin zusätzlich mit einer Suppressionskontrolle angewendet wird. Hierzu trägt sie unter dem vorgehaltenen Flipper eine Polarisationsbrille. Da ebenfalls Teile des Textes durch eine spezielle Folie polarisiert werden, würde die Probandin bei auftretender Suppression die sonst durchscheinenden dunklen Streifen nur schwarz sehen und den Text darunter nicht erkennen können.



Abb.: 6.2-4: Flipper: mit Suppressionskontrolle

[Scheiman & Wick, 1994, S. 168]

³ *Flipper*: ist ein Gläserhalter, an dem ein gleiches Paar Plusgläser auf der einen Seite eines Griffes und ein Paar Minusgläser auf der gegenüberliegenden Seite mit ca. 60 mm Mittenabstand befestigt sind. Die Gläser werden durch einfaches "Flippen" (Drehen) vor beiden oder nur einem Augen gewechselt.

Augenbewegungen: Neben der Brockschnur und der Hart Chart, wurden Augenfolgebewegungs- und Sakkadentraining z.B. in der Übung *letter tracing* angesprochen. Hier muss der Proband aus einer Reihe abstrakter Wörter die Buchstaben des Alphabets der Reihenfolge nach möglichst ohne Hilfsmittel in weniger als einer Minute erfassen und dabei das Ende des Abschnittes erreicht haben.

Ende: Der Übergang in die Trainingphase 2 erfolgt, wenn der Proband in der Lage ist, willentlich zu konvergieren und in 40cm Nahabstand 30cm/m Ba an Konvergenz aufzubringen sowie binokular 12 Runden pro Minute ein Objekt durch einen +2,0/-2,0dpt Flipper bei einem Visusanspruch von V=0,7 klar und einfach zu sehen.

Phase 2:

In dieser Phase wird neben Quantität vor allem Wert auf die Qualität (Überwachung von Hemmungen) und auf die Geschwindigkeit in der Durchführung der Übungen gelegt. Jetzt werden ebenfalls die Divergenzbreiten normalisiert. Beim Konvergenztraining sind zusätzlich dynamische Aspekte des Sehens angesprochen. Dieses Training wird auch *jump vergence training* genannt. Man lässt den Probanden sprunghaft

einen festgelegten Konvergenzbetrag aufbringen. Hierzu kann man innerhalb der Trainingseinheit abwechselnd ein Auge auf- und zudecken oder den Probanden auf-

fordern, kurz aus dem Fenster oder auf Vektogramme mit unterschiedlichen Konvergenzanforderungen zu schauen (siehe Abb.:6.2-5). Zum Ende dieser Trainingsphase können zusätzlich Prismen unterschiedlicher Stärke bzw. Flipper mit geringen sphärischen Werten vorgehalten werden. Der Proband wird danach angehalten das Tempo der Vergenzsprünge graduell zu erhöhen.

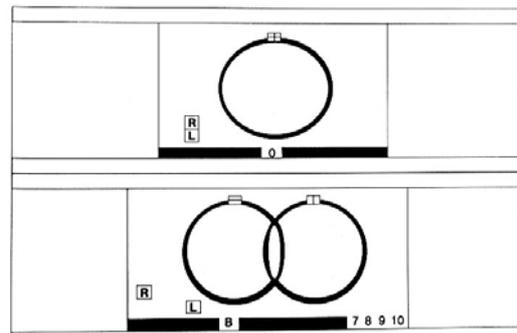


Abb.: 6.2-5: Vektogramme mit verschiedenem Vergenzanspruch

[Scheiman & Wick, 1994, S. 143]

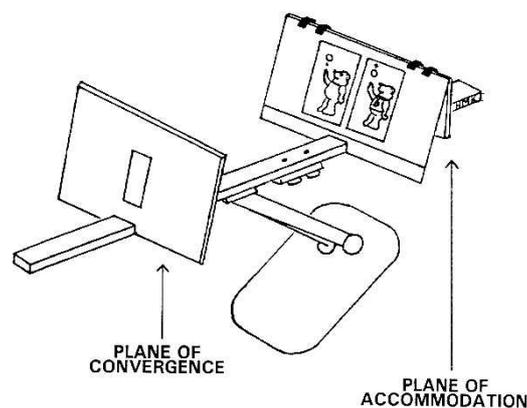


Abb.: 6.2-6: Aperture Rule

[Scheiman & Wick, 1994, S.181]

In dieser Phase können darüber hinaus Übungen im freien Raum, ohne Hilfe von Polarisation oder Rot/ Grün Filter, ausgeführt werden. Diese Sehaufgaben ähneln eher dem natürlichen, freien Sehen. Sie stellen aber auch mehr Anspruch an die Fusionsfähigkeiten des Probanden, weil die Fusion,

trotz Diplopieerscheinungen in der Umwelt, angesprochen werden muss. In dieser Studie wurden hierzu der *Aperture Rule (AR)* und *Eccentric Circles (EC)* verwendet. Der *AR* ist ein Instrument, in dem zwei Bildeindrücke durch eine Blende getrennt werden. Als Fusionsobjekte dienen 12 austauschbare Karten, die schrittweise ansteigende Vergenzansprüche bis zu 30cm/m Ba und 17,5^{cm}/m Bi enthalten. Die Abb.6.2-6 zeigt die Akkommodations- und Vergenzebene bei dieser Übung.

Bei den *Eccentric circles* handelt es sich um zwei Ringe, in die jeweils ein weiterer exzentrischer Ring versetzt wurde (siehe Abb.6.2-7). Die Ringe werden im freien Raum in 40cm Entfernung fusioniert. Dabei entsteht je nach Disparationsrichtung ein räumlicher Scheindruck nach vorn oder hinten. Die Akkommodation kann dabei durch das zentral angeordnete Wort *Clear* kontrolliert werden.

Zum Ende der 2. Phase wird ebenfalls die Dynamik der Divergenz trainiert.

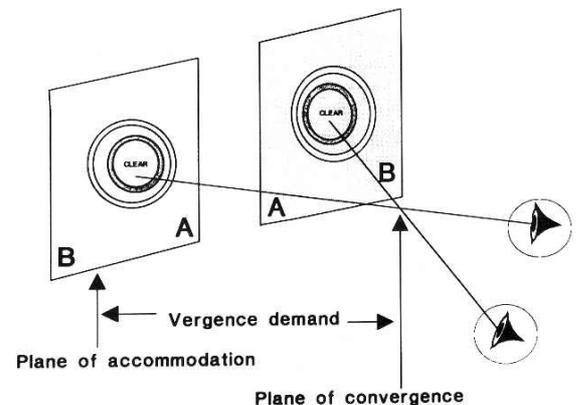


Abbildung: 6.2-7: *Eccentric Circles*

[Scheiman & Wick, 1994, S. 184]

Ende: Die 2. Phase ist beendet, wenn die Karte 12 durch Konvergenz und die Karte 6 mittels Divergenz des *Aperture Rule* fusioniert bzw. die in 40cm Abstand befindlichen *Eccentric Circles* bei Divergenz 6cm und bei Konvergenz 12cm auseinander gehalten und mittels Vergenzsprüngen spontan fusioniert werden können.

Phase 3:

In der 3. Phase lernt der Proband, zwischen Konvergenz und Divergenz sprunghaft zu wechseln. Zusätzlich werden in die Vergenzübungen Änderungen der akkommodativen Anforderungen integriert, indem z.B. binokulare Flipper bis zu einer Stärke von $\pm 1,5$ dpt zusammen mit Vektogrammen, *Arpartur Rule* oder *Eccentric Circles* angewendet werden.

Im weiteren Verlauf des Trainings werden in Vergenzübungen Sakkaden und Augenfolgebewegungen eingebracht. (z.B. rotierende Brockschnur). Hat der Proband verstanden, all diese Funktionen zu verbinden, so wird er angehalten, die Übungen in höherer Geschwindigkeit zu absolvieren, um die Abläufe zu automatisieren.

Ende: Das Training endet, wenn die *Eccentric circles* in ca. 5cm Abstand zueinander und in 40cm Abstand vom Probanden unter Konvergenz- und Divergenzbedingungen rotiert werden können und ihm bei konstanter Fusion klar und einfach erscheinen.

Dieser Ablauf ist typisch für jenes Training, das Scheiman und Wick entwickelt haben. Zusätzlich zu den hier aufgeführten Übungen wurde das Computerprogramm *HTS[®] (Home Therapy System)* der Firma *RC Instruments* eingesetzt. Es enthält Übungen zu Sakkaden, Augenfolgebewegungen, Akkommodationen und Vergenzen. Es hat neben herkömmlichen Vergenzübungen mittels Vektogrammen oder *Tranaglyphen* den großen Vorteil, dass der Schwierigkeitsgrad aller Übungen zu-

vor für den Probanden programmiert werden kann. Z.B. muss eine Proband während einer Vergenzübung, die ständig wechselnde Richtung eines Random-Dot-Stereobjektes per *Joystick* oder der Pfeiltasten angeben. Gleichzeitig registriert das Programm Fehler und reagiert auf diese mittels einer Reduktion des Vergenzbedarfes. Wirkungsweise und Funktion des Programm wurde ausführlich in der Diplomarbeit von Anja Huchel beschrieben [Huchel, Dipl. SS2002, S.49]. Um Hemmungen abzubauen und um den Schwierigkeitsgrad von Fusionen im freien Raum anzuheben, kamen ferner *random dot free-space targets* (bekannt als *Magic Pictures*) zum Einsatz. Außerdem wurden bei 3 von 4 Probanden Vergenzübungen und Sakkaden in der Ferne durchgeführt. Im Falle einer Konvergenzinsuffizienz ist ein Ferntraining normalerweise nicht erforderlich. Es wurde trotzdem initiiert, um den Einfluss des Trainings auch für die Ferne nachweisen zu können.

Alle Probanden wurden nach der Abschlussuntersuchung aufgefordert, die Übung *Eccentric Circles* und *Binocular Accommodativ Rock* mit einem $\pm 2,5$ dpt Flipper ein Mal pro Woche als Erhaltungsprogramm durchzuführen. Innerhalb der amerikanischen Routineabläufe werden die Patienten in der Regel nach 3 Monaten erneut untersucht. Hierbei klärt sich, ob die Sehfunktionen aufrechterhalten und Symptome dauerhaft abgestellt werden konnten. Entspricht der binokulare Status der Norm, so werden die Patienten nach 6 Monaten erneut und danach nur noch 1 Mal pro Jahr untersucht. Sind 9 Monate nach Abschluss des Trainings noch alle Sehfunktionen innerhalb der Norm, so müssen die Übungen nur noch nach Bedarf, z.B. im Falle auftretender Symptome, absolviert werden.

6.2.6 Abschlussuntersuchungen Visualtraining

Abschlussbefragung

In der Abschlussbefragung wurde ähnlich vorgegangen, wie bei den Korrektionsprobanden. Fragen 9-12 dienen dem unmittelbaren Vergleich und stimmen deshalb mit den bereits aufgeführten überein.

Folgende Fragen sollten den Trainingsverlauf aus subjektiver Sicht des Probanden offen legen:

1. **Wie verlief das Training anfangs und im fortgeschrittenen Stadium ?**
2. **Wie konsequent haben Sie das Training durchgeführt?** (Bitte angeben, wie oft und wie lange!)
3. **Hatten Sie Beschwerden, die durch das Training ausgelöst wurden ?**
4. **Welche positiven Erlebnisse bzw. Erfahrungen haben Sie gemacht?**
5. **Haben sich bei Ihnen bestimmte Gewohnheiten beim Lesen oder anderen Tätigkeiten geändert?**
6. **Hat sich für sie die Lebensqualität durch das Training verändert, wenn ja inwiefern?**
7. **Inwieweit kostete es Sie Überwindung, zu trainieren?**
8. **Welche Übung gefielen Ihnen und welche gar nicht?**
9. **Haben Sie eine Änderung der räumlichen Wahrnehmung feststellen können?**
10. **Haben Sie feststellen können, dass Sie bewegte Objekte besser verfolgen können als vor dem Training ?**
11. **Treten Sehschärfenschwankungen auf ?**
12. **Haben Sie Probleme, beim Wechsel von Nähe zur Ferne oder umgekehrt, scharf zu sehen ?**
13. **Welche Umstände haben Ihrer Meinung nach zu Verbesserungen beigetragen? (Brille oder Training)?**
14. **Werden Sie die Prismen- oder Korrektionsbrille auch in Zukunft tragen? Bitte Entscheidung begründen!**
15. **Wenn Sie selbst wählen könnten, welche Methode (Training oder Brille) würden Sie bevorzugen und warum?**

Darüber hinaus wurde in gleicher Weise wie auch bei den Prismenkorrektionsprobanden erneut nach auftretenden Beschwerden, Sehstörungen und deren Reduktion gefragt. Abschließend wurde, wie gehabt, nach notwendigen Arztbesuchen und Änderungen im Gesundheitsstatus gefragt.

Nachkontrollen

Die Nachkontrollen verliefen exakt nach dem Muster der Prismenkorrektionsprobanden. Alle Untersuchungen wurden mit sphärozyklindrischer Vollkorrektion, jedoch ohne Prismen, ausgeführt. Zunächst kam es darauf an, den Status mittels amerikanischer Untersuchungsmethoden zu erheben. Wenige Tage später folgte die Diagnose mittels der MKH.

Da sich bereits im Trainingsverlauf die Verbesserungen der Sehfunktionen abzeichneten, war bei den Nachkontrollen besonders interessant, welche Veränderungen am Polatest sichtbar würden.

6.3 Auswertung der Anamnese zu Veränderungen von Beschwerden nach der Korrektions- bzw. Kontrollzeit

Im folgenden Kapitel sollen hauptsächlich die Angaben aus der Anamnese und der Abschlussbefragung ausgewertet werden. Bei einem Erfolg der prismatischen Korrektion würde man eine Reduktion von Asthenopien und Sehstörungen erwarten. Der Vergleich der Aussagen der Kontrollprobanden vor und nach der Kontrollzeit sollte Hinweise liefern, ob Asthenopien konstant auftreten oder von Umweltfaktoren bzw. von der Konstitution des Probanden abhängig sein können.

Liegen hier Schwankungen vor, so könnte man untersuchen, ob diese von Veränderungen im binokularen Status laut MKH oder von Abweichungen der Sehfunktionen hervorgerufen wurden.

Auf eine Auswertung des Gesundheitsstatus und der Aufnahme- und Ausschlusskriterien soll an dieser Stelle verzichtet werden. Bis auf eine Ausnahme (SD) erfüllten alle Probanden die Bedingungen zur Aufnahme, wie sie in Kap. 6.2.1 dargestellt worden sind.

Von allen Probanden, die in diesem Rahmen Prismenkorrekturen erhielten, hatte nur eine Probandin zuvor regelmäßig Brille getragen, 2 weitere gelegentlich. Eine Teilnehmerin dieser Studie (KM) besaß mit +1,0dpt eine korrektionsbedürftige signifikante Hyperopie. Sie trug vor den Untersuchungen 4 Wochen lang kontinuierlich ihre sphärozyklindrische Vollkorrektion, ohne dass sich Symptome, AP_(D) oder Einstellmechanismen änderten. In einem Fall wies eine Probandin (SD) einen klinisch signifikanten Zylinderwert von -1,5dpt auf ihrem Führungsauge auf. Nach den Ausschlusskriterien hätte dieser ebenfalls eine 4wöchige sphärozyklindrische Korrektion erfordert. Da jedoch der Visus auf dem betreffenden Auge knapp 80% betrug, wurden die Fusionsstörungen und Beschwerden zunächst nicht auf diese Fehlsichtigkeit zurückgeführt. Alle weiteren Ammetropien lagen unter den Ausschlussgrenzen, die seitens des amerikanischen Systems zulässig sind.

Hinsichtlich der Ergebnisse dieser Anamnesauswertung muss bei allen Angaben der Probanden bedacht werden, dass 9 von 10 das Brilletragen an sich, nicht gewohnt waren. Allgemeine Verbesserungen könnten also auch durch korrektionsbedingte, ungewohnte Akkommodationsentlastungen

(durch geringe Pluswerte) bzw. Visusverbesserungen (durch geringe Zylinder- oder Minuswerte) hervorgerufen worden sein, welche laut Auffassung des amerikanischen Systems nicht Hauptursache visueller Defizite oder Asthenopien darstellen.

6.3.1 Compliance

Das Wort *Compliance* kann mit Einwilligung oder Befolgung übersetzt werden. Ist die *Compliance* sehr gut, so wird eine Therapie oder eine Korrektur von dem Probanden äußerst konsequent befolgt. Möchte man nun die Auswirkungen der Prismenkorrektur hinsichtlich der subjektiven Wahrnehmungen der Probanden untersuchen, so können Rückschlüsse auf die getragene Korrektur nur dann getroffen werden, wenn man mit einbezieht, wie oft sie tatsächlich getragen wurde.

Von den 10 Korrekturprobanden haben 6 die Korrektur konsequent getragen, das heißt sie setzten sie morgens nach dem Aufstehen auf und erst vor dem Schlafengehen wieder ab.

4 Probanden trugen ihre Brille ebenfalls regelmäßig. Es kam jedoch vor, dass sie die Prismen gelegentlich ablegten (einen Tag am Wochenende oder täglich 1h beim Sport).

Bei diesen Probanden muss später untersucht werden, ob sich z.B. dieser Wechsel des Tragens und Nichttragens der prismatischen Korrekturen positiv auf die Sehfunktionen auswirken konnte. Die ständige Änderung des Akkommodations- und Vergenzbedarfs in eine bestimmte Richtung ließe solches vermuten, da dies gewissermaßen einem Training relativ nahe kommt. Es wäre aber ebenso denkbar, dass die kurzen Unterbrechungen des Prismentragens die Wirkung der Korrektur zurücksetzen konnten. Diese Annahme folgt aus der allgemeinen Feststellung, dass in frühen Stadien nichtgefestigter sensorischer Rückstellungen, Diplopie und Hemmungen noch vermehrt auftreten können. Dies führt in der Regel beim Absetzen der Prismen zu Beschwerden. Bei zunehmendem Erfolg der Korrektur im Abbau von Hemmungen und bei der Herstellung bizentraler Korrespondenz, verringern sich diese Erscheinungen graduell und können zeitweise sogar ganz ausbleiben [Haase, 1995, S.33-34]. Bei Probanden, die also schon im Vorhinein spontan mit Prismen weniger Hemmungen und bizentrale Abbildung zeigten, wäre daher auch nach dieser Theorie anzunehmen, dass ein kurzzeitiges Abnehmen sich positiv als eine Art Trainingeffekt bezogen auf die Dynamik des Sehens herausstellen sollte.

6.3.2 Spontanverträglichkeit und Eingewöhnung der Korrektur

Von allen Probanden zeigte nur eine spontan sehr gute Verträglichkeit. Trotz mittlerer Stärke der Prismen ($6,25^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba), berichtete sie, gar nicht zu merken, dass sie Prismen trug. Diese Korrektur wurde, bis auf $2^{\text{cm}}/\text{m}$, vornehmlich an sensorischen Testen ermittelt und führte zum Stereosehgleichgewicht.

5 weitere Probanden bezeichneten die Spontanverträglichkeit als gut. Sie erhielten Prismenwerte von $1,5-6^{\text{cm}}/\text{m}$, die sensorisch oder motorisch ermittelt wurden. Einige nahmen nur anfänglich z.B. Dellen oder Berge auf dem Fußboden wahr. Fast alle empfanden zu Beginn das Brilletragen oder das Sehen selbst als ungewohnt. Die Eingewöhnung dauerte wenige Stunden bis zu einer Woche an.

Es fanden sich jedoch auch 4 Probanden (EK, EM, GK, SD), die enorme Schwierigkeiten hatten, sich an die neue Korrektur zu gewöhnen. Diese Probleme dauerten bis zu einem Monat an. Alle

diese Korrekturen waren hauptsächlich sensorisch ermittelte Ba-Korrekturen. Die Prismenbeträge umfassten 5,0–7,0^{cm}/_m Ba mit vertikalen Anteilen zwischen 1,25–1,50^{cm}/_m.

Im Fall EM musste die Korrektur von 5,0 auf 1,25^{cm}/_m Ba abgeschwächt werden. Sie sah in der Ferne für zwei Wochen permanent verschwommen. In der Nachkontrolle konnten dann nur 1,25^{cm}/_m ermittelt werden, welche gut vertragen wurden. Die Ursachen für die starken Schwankungen in der Größe ihrer AP_(D) wurden in Kap. 6.5.2 erläutert.

Im Fall SD gab es zwischen Kreuz- und Zeigertest Widersprüche in der Basislage. Die Zeigertestkorrektur (5,0^{cm}/_m Ba; 0,75^{cm}/_m BoR) wurde von SD nicht vertragen. Daraufhin wurde die Korrektur erneut mit den Kreuztestwerten (1,5^{cm}/_m Bi; 0,5^{cm}/_m BoR) angefertigt, worauf sich ihre Symptome größtenteils reduzierten. (Beide Korrekturen konnten kein Stereosehgleichgewicht herstellen!)

Allgemein bestanden die Probleme dieser Teilnehmer in der räumlichen Orientierung. Entfernungen waren schlechter zu beurteilen, da sie ungewohnt waren. Die Umwelt wurde als schwankend wahrgenommen. Einer Probandin (EK) wurde in der Anfangszeit häufiger übel. Sie bekam 1 Woche nach Abgabe der Korrektur eine starke Grippe. 2 Probandinnen (EM, GK) fühlten sich vor allem im Dunkeln unsicherer. Farbstereoskopie wurde von allen genannt, wirkte sich jedoch nicht sehr beeinträchtigend aus. Alle 4 Probandinnen haben sich an die (in zwei Fällen geänderten) Brillen gewöhnen können und die Mehrzahl der genannten Beschwerden stellten sich ein.

2 weitere Probandinnen mussten die Prismenkorrektur vorzeitig abbrechen, da die Brillen zu starke Nebenwirkungen auslösten. Beide hatten mit der Korrektur Stereosehgleichgewicht erlangt. Die Vollkorrektur der ersten Probandin (SF) lag bei 10^{cm}/_m Ba, davon wurden 4,5^{cm}/_m an sensorischen Testen bestimmt. Trotz Herstellung bizentraler Abbildung durch die Korrektur, waren die Nebenwirkungen wie z.B. Farbstereoskopie, räumliche Veränderungen, Probleme beim Aufsetzen der Brille etc. zu stark. Sie bekam nach einer Woche eine starke Erkältung. In dieser Zeit konnte sie ihre Brille nur sporadisch tragen. Nach einer erneuten Einrastung trug die Probandin die Korrektur 2 Wochen lang und brach sie daraufhin ab. Sie wurde in die Kontrollgruppe übernommen. Ihr Status konnte jedoch erst 8 Monate nach dem Korrekturversuch nachgeprüft werden.

Die zweite Probandin trug 4,5^{cm}/_m Ba und 1,0^{cm}/_m BoR. Sie klagte über extreme Kopfschmerzen. Mit reichlich Schmerzmitteln konnte sie sich ebenfalls nur 2 Wochen überwinden die Korrektur zu tragen. Dazu sei angemerkt, dass der sensorische Zustand der Probandin starke Defizite aufwies. Im Monokularsehen berichtete sie über extreme *Crowding*-Erscheinungen an den Optotypen. (Sie sah z.B. anstelle von 5 Landoltringe nur 4). Auch diese Probandin wurde nach Abbruch der Korrektur in die Kontrollgruppe übernommen.

Beide Fälle könnten in der Auswertung Hinweise liefern, dass die kurzzeitigen Prismenkorrekturen eventuell sogar über den langen Kontrollzeitraum hinaus Sehfunktionen und den sensomotorischen Status verändert haben (siehe Kap. 6.6.4).

Nach der Eingewöhnungszeit gab es nur 2 Probandinnen, die generelle Beschwerden auf die Prismenkorrektur zurückführten. Die eine Probandin (KD) war extrem Druckempfindlich. Sie erhielt eine sehr kleine Metallfassung, in der höherbrechende Kunststoffgläser der Stärke 10^{cm}/_m Bi und 2,25^{cm}/_m BuR eingearbeitet wurden (ohne signifikante sphärozyklische Werte). Bei der zweiten Probandin (GK) sind Probleme im Einschätzen der Entfernungen erst durch die Prismenkorrektur entstanden.

6.3.3 Veränderungen der Lebensgewohnheiten bzw. Lebensqualität

In diesem Abschnitt werden die Antworten auf die Fragen 4-8 des Abschlussfragebogens ausgewertet (siehe Kap. 6.2.4). Hier gaben die Probanden nur Erfahrungen an, die ihnen besonders aufgefallen sind. D.h. an dieser Stelle wurde bewusst noch nicht nachgefragt.

Bei vielen Probanden konnten geäußerte Probleme enorm reduziert werden (siehe Statistik, Kap.6.3.5), trotzdem gaben nur 5 von 10 Probanden an, ihre Lebensqualität hätte sich leicht bis stark verbessert.

Die am häufigsten genannten Verbesserungen waren in der Reihenfolge:

1. **weniger Schwierigkeiten hinsichtlich auftretender Unschärfen beim Blick- und Entfernungswechsel und bessere Konzentrationsfähigkeit (6x)**
2. **weniger Probleme beim Lesen oder Schreiben (5x)**
3. **weniger Müdigkeit (4x)**
4. **weniger Kopfschmerzen, besserer Visus, weniger Lichtempfindlichkeit (3x)**
5. **Entfernungen können besser eingeschätzt werden, weniger Augenschmerzen (2x)**
6. **Abstellen der enormen Lidschlagfrequenz (1x)**

2 Probandinnen (EK, GK) gaben an, ihre Lebensqualität habe sich mit der Korrektur verschlechtert. Trotz dieser Aussagen zeigte zumindest EK enorme Verbesserungen in ihren Symptomen, wie z.B. Diplopie, Augenschmerzen, Verschwommensehen und Konzentrationsprobleme beim Lesen.

Beide empfanden es als sehr störend die Brille permanent tragen zu müssen und fühlten sich bei sportlichen Tätigkeiten oder in der Freizeit nicht wohl. In beiden Fällen spielten ebenfalls Umweltreaktionen eine entscheidende Rolle. Ihnen wurde nachgesagt, mit der Brille ernster geworden zu sein. Eine Probandin wurde ständig darauf aufmerksam gemacht, dass ihre Augen hinter der Brille zu schielen schienen (bei $5,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba bei geringer PD).

3 weitere Probanden sahen keine entscheidende Veränderung der Lebensqualität.

Lebensgewohnheiten haben sich innerhalb der 2 Monate bei 7 Probanden leicht geändert. Es wurde von der Mehrheit angegeben, dass mehr und länger ohne Anstrengung gelesen wurde. Bei wenigen waren die ausschlaggebenden Argumente weniger müde zu sein oder besser Sehen zu können. 2 Probandinnen fuhren öfter mit dem Auto, da sie sich sicherer im Straßenverkehr fühlten.

EK und GK fühlten sich aufgrund der geminderten Lebensqualität in ihren Lebensgewohnheiten durch das Brilletragen an sich stark eingeschränkt.

6.3.4 Veränderungen beim Sehen

Räumliche Tiefe

Alle Probanden haben vor der Korrektionszeit disparat gesehen. Man würde bei einem Erfolg der Prismenkorrektion (Beseitigung von Hemmungen und Rekonstruktion bizentraler Abbildung) erwarten, dass räumliche Tiefen besser eingeschätzt werden können.

Veränderungen im räumlichen Sehen, wurden von 9 Probanden in der Korrektionszeit wahrgenommen. Von diesen Probanden können 5 die räumliche Tiefe mit der Korrektion besser einschätzen.

In 3 Fällen wurden Dinge größer wahrgenommen, davon bekam eine Probandin eine Bi-Korrektion und ein weiterer eine leichte Pluskorrektion in Kombination mit einer geringen Ba-Korrektion. Die dritte Probandin erhielt jedoch eine reine Ba-Korrektion mittlerer Stärke, wo eher ein Mikropsieeffekt zu erwarten gewesen wäre.

Zwei Probandinnen hatten das Gefühl mit den Prismen die Entfernungen schwieriger beurteilen zu können.

Augenfolgebewegungen

Augenfolgebewegungen sollen sich, laut deutscher Philosophie, nach Rückführungen sensomotorischer Anomalien durch Prismenvollkorrektion verbessern können. 5 von 10 Probanden zeigten laut der amerikanischen Untersuchungsergebnisse Defizite in der Ausführung der Augenfolgebewegung. Sie verloren beim Verfolgen eines Objektes in der Nähe 1-2 mal die Fixation bzw. führten die Bewegung nur ruckartig aus. Subjektiv empfanden 2 dieser Probanden, dass sie bewegte Objekte mit Prismenkorrektion besser verfolgen können. Sie zeigten dabei auch objektiv enorme Verbesserungen. Eine weitere Probandin verspürte diesbezüglich eine Steigerung der Fähigkeit, obwohl sie während der amerikanischen Messung keinerlei Defizite zeigte. Die Probandin (GK) konnte während der Messung das Fixationsobjekt nach ursprünglichen Einschränkungen besser verfolgen, obwohl sie selbst keine Verbesserungen feststellen konnte. Es wurde ihr jedoch von Mitmenschen berichtet, sie würde seit der Korrektionszeit weniger Rechtschreibfehler übersehen.

Am häufigsten reduzierten sich gelegentliche Probleme wie z.B. Augenschmerzen, Probleme bei der Naharbeit (Lesen & Schreiben), Konzentrationsprobleme, Blendempfindlichkeit und rote/tränende Augen. Starke Probleme von Kopfschmerzen, Blendempfindlichkeit und Konzentrationsprobleme konnten abgestellt bzw. reduziert werden.

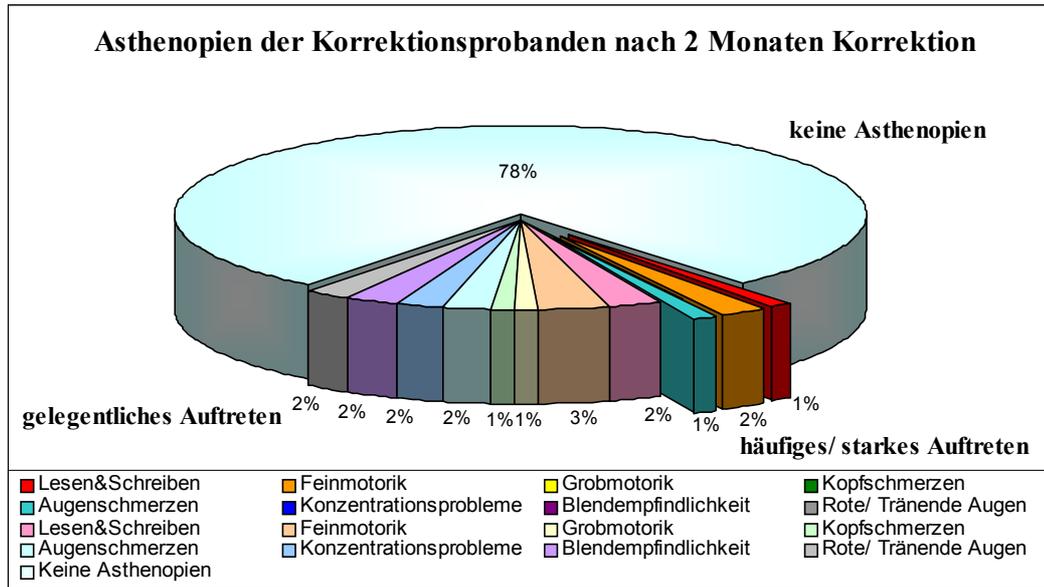


Diagramm 6.3-2

Vergleicht man die Verteilung der Antworten zwischen der Korrektions- und der Kontrollgruppe (siehe Diagr.6.3-1 und 3), so wurden von den Kontrollprobanden schon vor der Korrektion weniger gelegentliche Probleme (19%) im Bezug zur Korrektionsgruppe (53%) genannt. Starke Probleme traten in beiden Gruppen gleich häufig auf und umfaßten 25% aller Angaben.

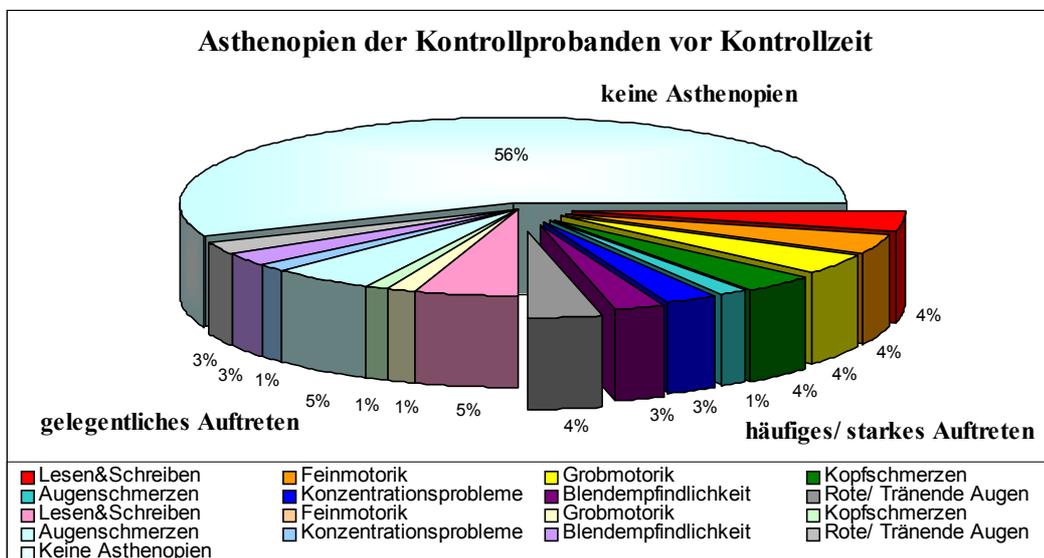


Diagramm 6.3-3

Es zeigten sich in der Kontrollgruppe nur geringfügige Verschiebungen in der Stärke auftretender Probleme vor und nach der Kontrollzeit. Es wurden z.B. nach der Kontrollzeit häufiger Konzentrationsprobleme genannt als zuvor, dafür reduzierten sich die Angaben anderer stark beeinträchtigender Probleme gleichmäßig. Es wurden 2% mehr Probleme in der Nachkontrolle angegeben.

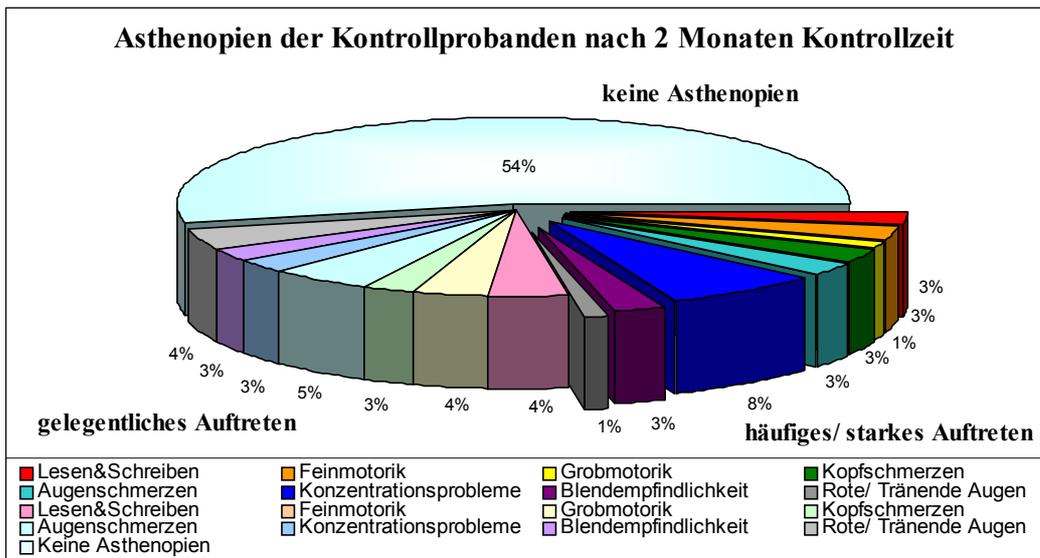


Diagramm 6.3.5-4

Auswertung der Anzahl auftretender Sehstörungen

Dem Diagramm 6.3-5 kann entnommen werden, dass bei der Auswahl abgefragter Sehstörungen vor allem die auftretenden Unschärfen beim Fokuswechsel Ferne-Nähe von mehreren Korrektionsprobanden als sehr beeinträchtigend angegeben wurden (10% bzw. 5mal angegeben). 2 Probanden hatten diesbezüglich gelegentliche Probleme. Zusätzlich traten recht häufig stärkere Probleme im Einschätzen von Entfernungen oder Geschwindigkeiten auf. Diplopie wurde ebenfalls mehrmals als ein gelegentliches Problem (9%) eingestuft.

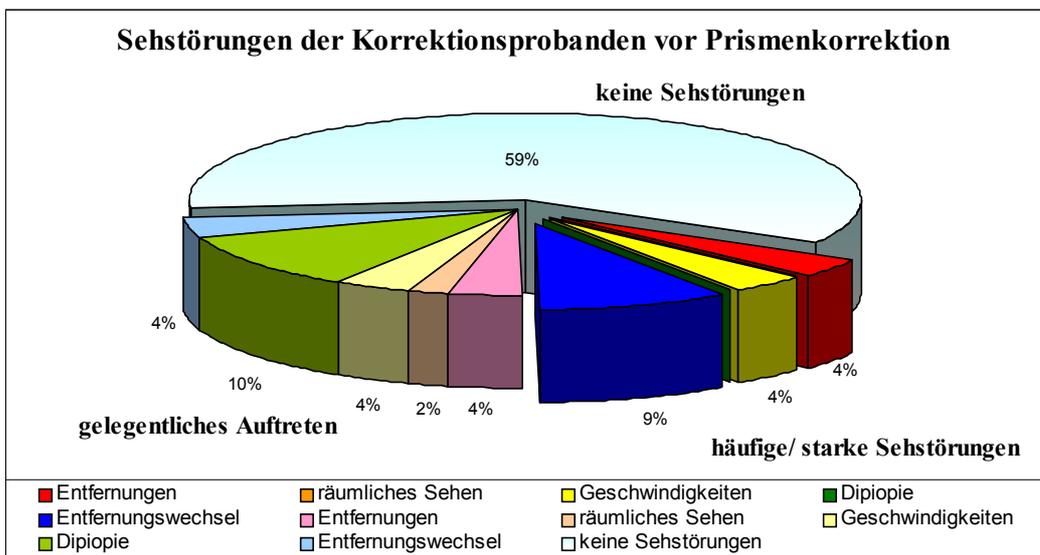
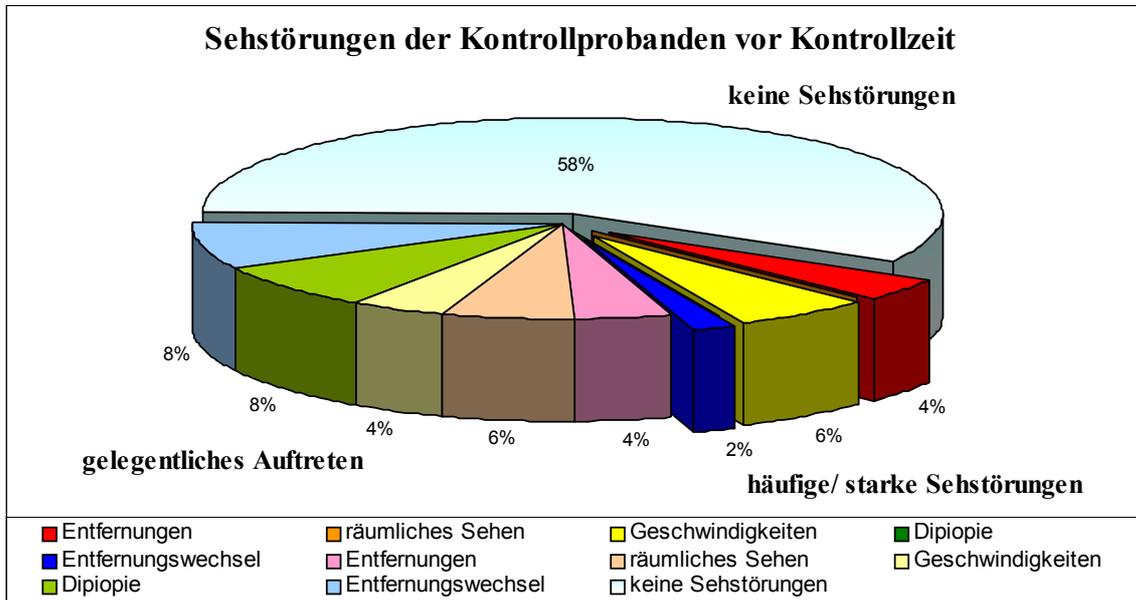


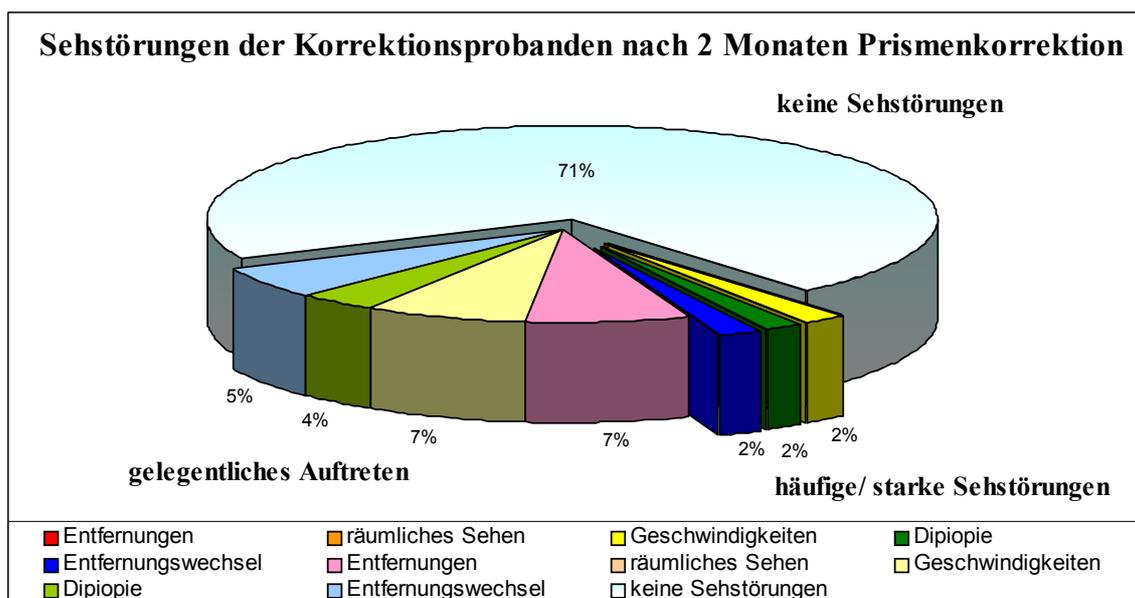
Diagramm 6.3-5

Bei den Kontrollprobanden waren die Verteilungen der Sehstörungen recht ähnlich, nur dass in dieser Gruppe die Probleme beim Fokuswechsel eher gelegentlich auftreten (siehe Diagr. 6.3-6).

Eine Probandin hatte keine Probleme, jedoch eine AP_(D). In diesem Fall war besonders interessant, ob trotzdem Sehfunktionen beeinträchtigt sind, so dass eine Diagnose nach amerikanischen Kriterien getroffen werden kann.



Bei den Prismenprobanden wurden die ursprünglich am häufigsten genannten Beschwerden auch am stärksten reduziert. Von 7 Probanden mit größtenteils starken Problemen beim Entfernungswechsel hatte 1 Probandin (SD) noch starke Probleme und 3 (CF, EM, GK) gelegentliche. Nur bei 2 von 6 Probanden traten noch immer Diplopieerscheinungen auf, bei SD häufige und bei CF gelegentliche.



Es haben sich jedoch geringfügig auch Symptome verschlechtert. Es gaben jeweils zwei Probanden zusätzlich an, mit der Brille mehr Probleme beim Einschätzen von Entfernungen und Geschwindigkeiten zu haben.

Eventuell ist hier zu berücksichtigen, dass die Umsetzung der veränderten räumlichen Wahrnehmung durch die prismatische Korrektur auch immer mit einem Lern- und Erfahrungsprozess verbunden ist. Dieser scheint bei einigen Probanden mehr als 2 Monaten in Anspruch zu nehmen.

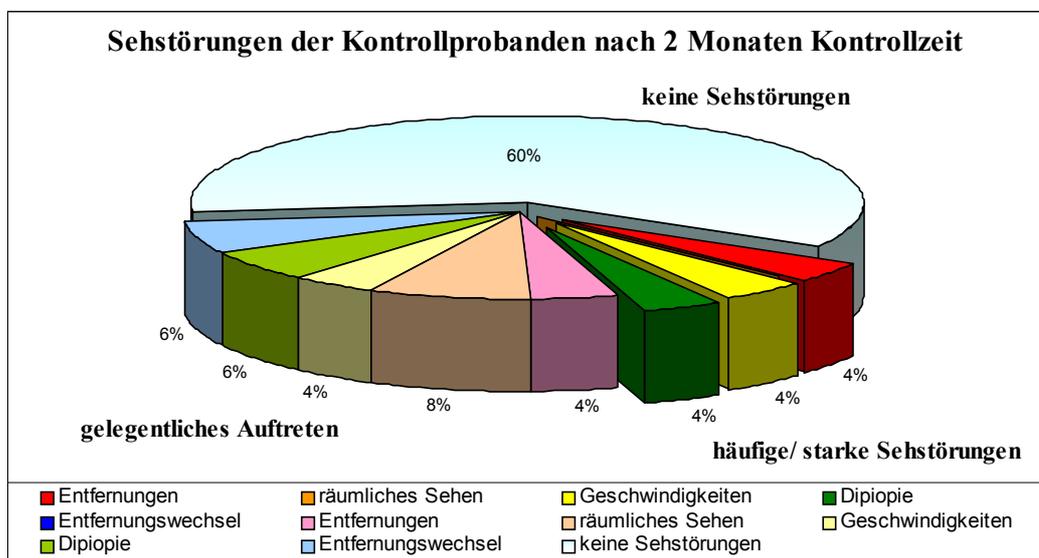


Diagramm 6.3 -8

In der Kontrollgruppe traten nach der Kontrollzeit annähernd gleich häufig Sehstörungen auf. Es gab auch in dieser Kategorie nur leichte Verschiebungen in der Stärke auftretender Beschwerden. Aus den Diagrammen der Kontrollprobanden geht jedoch nicht hervor, dass 2 Probandinnen (MF2, SF) eine deutlich Reduktion ihrer Beschwerden feststellen konnten. In der Auswertung der Messergebnisse in Kap. 6.4.2 und 6.4.3 wird auf den Hintergrund der Veränderung ihrer Sehfunktionen und in Kap. 6.6.4 auf mögliche Ursachen eingegangen.

Statistische Auswertung

Mittels eines Chi-Quadrat-Testes wurden nun die Häufigkeiten aller Angaben der Korrektionsprobanden vor der Prismenkorrektionszeit mit den Häufigkeiten der Angaben danach verglichen. In dieser Gruppe konnte nachgewiesen werden, dass sich die Häufigkeiten der Aussagen nach der Korrektionszeit signifikant ($\alpha_{\text{Test}} < 0,01$) verändert haben. (Der Chi-Quadrat-Test konnte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha_{\text{Test}} = 0,0003$ [d.h. 0,03%] nachweisen, dass die Daten statistisch gesehen, nicht aus derselben Stichprobe stammen, d.h. die Aussage, es habe sich signifikant etwas verändert, trifft sicher zu. Da nach 2 Monaten insgesamt wesentlich weniger Probleme als zuvor genannt wurden, kann man also davon ausgehen, dass die Prismenkorrektur zur Reduktion dieser Beschwerden entscheidend beitrug.

Um diesen Schluss zu untermauern, wurde in der Kontrollgruppe ebenfalls ein statistischer Vergleich der Aussagen vor und nach dem Kontrollzeitraum vorgenommen. Hier konnte kein signifikanter Unterschied in den Angaben festgestellt werden. (Der Chi-Quadrat-Test gab mit einer Irr-

tumswahrscheinlichkeit von $\alpha_{(\text{Test})} = 0,9986$ [d.h. 99,86 %] an, dass die Daten nicht aus ein und derselben Stichprobe stammen, d.h. die Aussage, es habe sich signifikant etwas verändert, trifft sicher nicht zu.)

6.3.6 Zukunftsaussichten im Gebrauch der Brille

Alle Probanden wurden direkt nach der Korrektionszeit gefragt, ob sie die Brille weiter tragen werden. Von allen 10 Probanden haben 7 angegeben die Brille weiter tragen zu wollen. 3 Probanden räumten gleich ein, die Brille nur bei der Naharbeit tragen zu wollen, jedoch nicht regelmäßig. Von den 7 Probanden, die die Brille konsequent weiter tragen wollten, da sie eindeutige Verbesserungen mit der Brille erfuhren, haben nach 6 Monaten nur noch 3 die Brille getragen. Eine davon war zuvor Brillenträgerin und besaß neben der Prismen- keine Ausweichbrille. Die anderen 2 wurden mit Visualtraining versorgt, da das Bestreben groß war Contactlinsen bzw. keine Brille zu tragen.

6.3.7 Zusammenfassung

Die Prismenkorrekturen konnten aufgrund guter *Compliance* Asthenopien und Sehstörungen signifikant reduzieren.

Es traten weniger Probleme bei der Naharbeit auf. Die Probanden konnten sich dabei besser konzentrieren und hatten weniger Symptome wie tränende/ brennende Augen oder Blendempfindlichkeit.

Insgesamt konnten auftretende Sehstörungen im Bezug zu Asthenopien nicht ganz so stark abgestellt werden. Es bleibt zu vermuten, dass die Korrekturen die Sehfunktionen in den 2 Monaten noch nicht vollends ansprechen konnten, da sich zum Beispiel Tonus löste oder aber generell keine bizentrale Abbildung hergestellt werden konnte.

Interessant ist, dass sowohl in der Prismenkorrektions-Gruppe, als auch in der Kontrollgruppe, auftretende Unschärfen beim Blickwechsel Ferne-Nähe und gelegentliche Diplopie die häufigsten Sehstörungen waren. Diesbezüglich wird untersucht ob bestimmte Messergebnisse der Sehfunktionen auf Defizite dieser Art hinweisen können.

Beide Symptome können nach dem amerikanischen System durch Defizite in der Akkommodation-Vergenz Interaktionen hervorgerufen werden (siehe Kap. 5.4). Nach dem Modell Schors scheint demnach der Polatest in der Lage zu sein, die richtige Menge des gesuchten fusionalen Vergenzbetrags zu finden, der die extrem hohen Werte der Vergenz- und Akkommodationsanforderungen auf normale Werte regulieren kann.

Wenn man betrachtet, dass nur 3 von 10 versorgten Probanden ihrer Prismenbrille auch noch nach der Korrektionszeit weiter trugen, so muss man bedenken, dass fast alle nahezu emmetrop waren.

Man kann hieran sehen, dass die Probleme dieser Probanden trotz eindeutiger Symptome nicht so stark waren, als dass das Tragen einer Brille auf Dauer als Zugewinn empfunden wurde. Eventuell ist gerade bei Emmetropen ein Visualtraining eine bessere Alternative, wenn die Motivation zu dieser Maßnahme vorhanden ist und zeitliche sowie finanzielle Faktoren nicht dagegen sprechen.

6.4 Auswertung der Messergebnisse zur Prismenstudie

6.4.1 Statistische Übersicht (Häufigkeiten) der Auffälligkeiten aller Probanden nach deutschen und amerikanischen Kriterien

Häufigkeiten der AP_(D)-Richtung (Basislagen)

Die Häufigkeit der AP_(D)-Richtung aller 20 untersuchten Probanden wird im Diagramm 6.4-1 dargestellt. Obwohl nur ein relativ kleiner Datensatz vorliegt, ähnelt die Verteilung den Häufigkeitsangaben Güntherts, die aus Messungen von 18573 Probanden stammen [Günther, 1980, S.4].

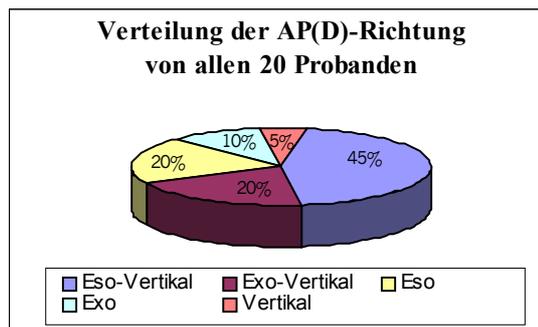


Diagramm 6.4-1

Es überwiegen mit 45% eindeutig Probanden, deren AP_(D) (Winkelfehlsichtigkeit) sich aus einer Esophorie und einer Vertikalphorie zusammensetzt. Dabei traten etwas mehr linke Hyperphorien auf als rechte Hyperphorien (BoR: 6 Probanden und BuR: 3 Probanden). Die Anteile an Exophorien, in Kombination mit einem vertikalen Anteil, sowie reine Esophorien kommen zu jeweils 20% am zweithäufigsten vor. Es bestanden nur wenige reine Exophorien (2 Probanden) und nur 1 reine Vertikalphorie, die in einer Nachkontrolle leichte Esophorieanteile freigab.

Die Verteilungen der AP_(D)-Richtungen beider Probandengruppen ähneln sich weitestgehend (Diagramme 6.4-2 und 3). In beiden Gruppen treten häufiger Eso-Vertikal Phorien auf. Die Kontrollgruppe enthielt zusätzlich 2 Probanden mit reinen Esophorien, dafür gab es 2 Probanden mit Exo-Vertikal Phorien weniger.

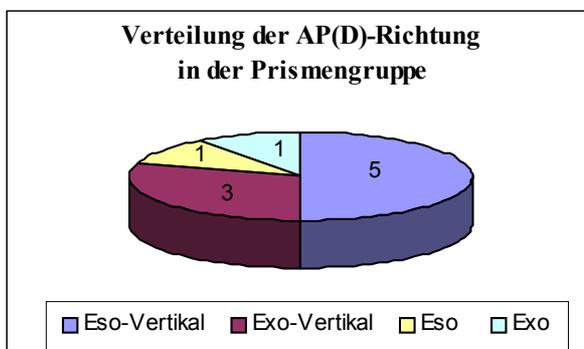


Diagramm 6.4-2

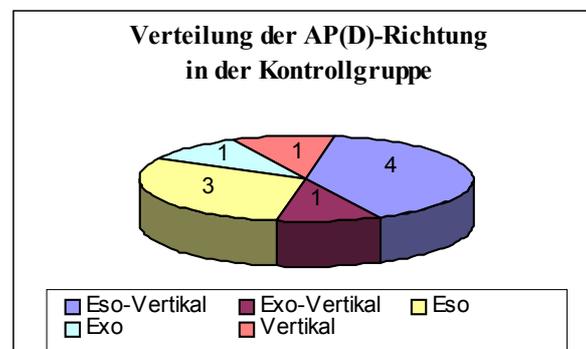


Diagramm 6.4-3

AP_(D)-Größen

Untersucht man die Verteilung der AP_(D)-Größen nach den Kriterien Güntherts, so lassen sich in der Prismenkorrektionsgruppe 4 Probanden mit geringe AP_(D)-Größen ($< 4,0^{cm/m}$) ermitteln. Bei 6 Probanden bestanden mittlere Größen ($4 < AP_{(D)} < 12^{cm/m}$).

Auch in der Kontrollgruppe traten 7 Probanden mit mittleren Werten auf. Nur 1 Proband der Kontrollgruppe besaß dafür eine kleine und 2 Probanden sogar eine große AP_(D) ($> 12,0^{cm/m}$).

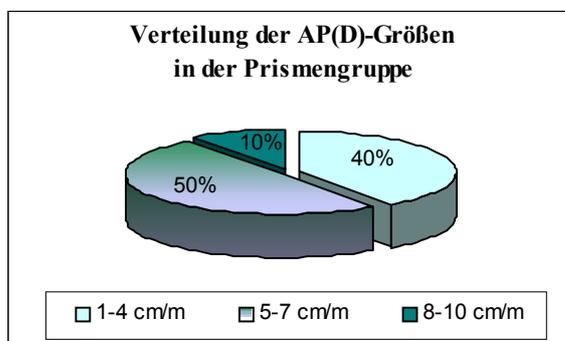


Diagramm 6.4.1-4

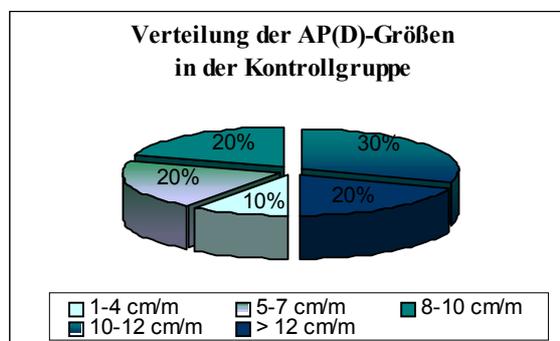


Diagramm 6.4.1-5

Im Diagramm 6.4-4 und 5 sind die Größen der AP_(D) detailliert dargestellt. Mit der hellen Farbe beginnend wurden die Phorien mit zunehmender Größe im Uhrzeigersinn angeordnet. (Der größten Phorie wurde die dunkelste Farbe zugeordnet.)

Die Verteilung innerhalb der Kontrollgruppe zeigt hier eindeutig ein Übergewicht an höheren Werten. Trotz dieses Unterschieds ging aus dem Kap.6.3 hervor, dass starke Beschwerden in beiden Gruppen gleich häufig auftraten und mittlere Beschwerden in der Prismenkorrektionsgruppe sogar überwogen. Bekanntermaßen können auftretende Asthenopien und Sehstörungen nur bedingt auf die Größe der AP_(D) zurückgeführt werden.

Sensomotorischer Status der AP_(D)

Der sensomotorische Status gibt Aufschluss über das Alter der assoziierten Phorie. Die Tabelle 6.4-1 zeigt, dass in beiden Gruppen alte Zustände überwogen. Es gab in der Prismenkorrektionsgruppe nur einen einzigen Fall einer FD_(D) I bzw. einer disparaten Fusion (Probandin CF).

Status	Prismengruppe	Kontrollgruppe	zuletzt korrigierte Test
Status klar, da zumindest durch Nachkontrolle Stereosehgleichgewicht			
FD _(D) II/ 1	1	-	Zeigertest
FD _(D) II/ 2	2	1	Stereotest
FD _(D) II/ 3	-	1	Valenztest
FD _(D) II/ 4	2	1	Valenztest
Status unklar, da kein Stereosehgleichgewicht erreicht			
Vollmotorisch	-	1	Kreuztest
FD _(D) I	1	-	Kreuztest
FD _(D) II/ 1	3	1	Zeigertest
FD _(D) II/ 2	-	1	Stereotest
FD _(D) II/ 3	-	1	Valenztest
FD _(D) II/ 4	1	2	Valenztest
FD _(D) II/ 5	-	1	Valenztest

Tabelle 6.4-1

Aus der Tabelle 6.4-1 geht hervor, dass der sensomotorische Status in nur 5 Fällen der Prismenkorrektionsgruppe und nur 3 Fällen der Kontrollgruppe eindeutig festgelegt werden konnte. Nur eine Korrektionsprobandin, jedoch alle 3 Kontrollprobanden erreichten spontan Stereosehgleichgewicht. Bei 4 weiteren Korrektionsprobanden wurde dieser optimale Zustand erst durch die Nachkorrektion hergestellt. Bei allen anderen Probanden konnte der Valenztest nicht zufrieden stellend korrigiert werden. Es bleibt daher unklar, ob auftretende Prävalenzen durch Hemmungen, disparate Korrespondenzen, anomale Korrespondenzen oder exzentrische Fixationen (Mikrostrabismus) hervorgerufen wurden.

Diagnose laut amerikanischer Kriterien

Die Diagramme 6.4-6 bis 7 geben Auskunft über die amerikanischen Diagnosen für jeweils 1 Korrektions- und Kontrollprobandengruppe. Diese Diagnosen sind in beiden Gruppen bunt gemischt. Am häufigsten, nämlich zu 50%, traten in der Korrektionsgruppe Konvergenzinsuffizienzen (KI) auf, davon 20% in Kombination mit einem Akkommodationsexzess (KI & AE). In dieser Probandengruppe hatten insgesamt 6 Personen einen Akkommodationsexzess. Es besaßen jedoch nur 2 der Kontrollprobanden eine AE.

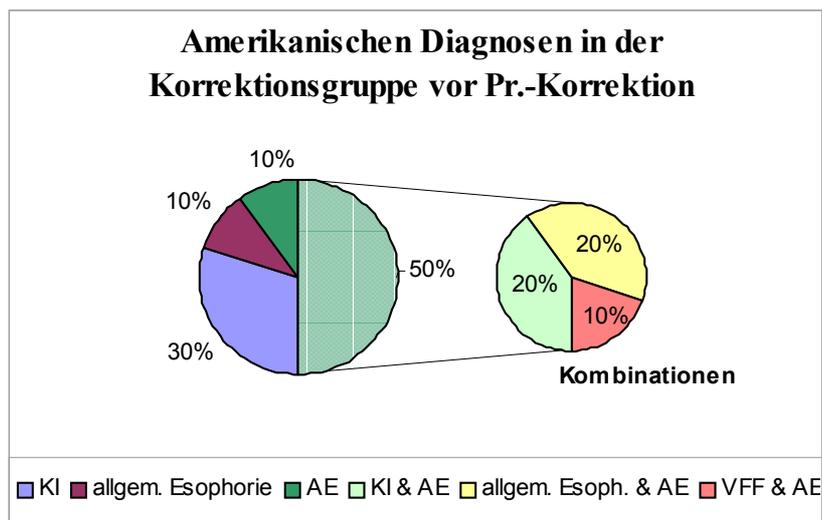


Diagramm 6.4-6

In der Kontrollgruppe wurden bei jeweils 2 Probanden reine okulomotorische Fehlfunktionen (OMF) und Akkommodationsunfähigkeiten (AU), ohne Existenz einer signifikanten Heterophorie in Ferne oder Nähe, gefunden.

In beiden Gruppen hatten 50% der Probanden sowohl Vergenz als auch Akkommodationsprobleme. Die Kombinationsmöglichkeiten zeigten jedoch bei dieser geringen Probandenzahl keine Regelmäßigkeiten. Dennoch traten in beiden Gruppen zu gleichen Anteilen Konvergenzinsuffizienzen in Begleitung von Akkommodationsexzessen auf (insgesamt 20%).

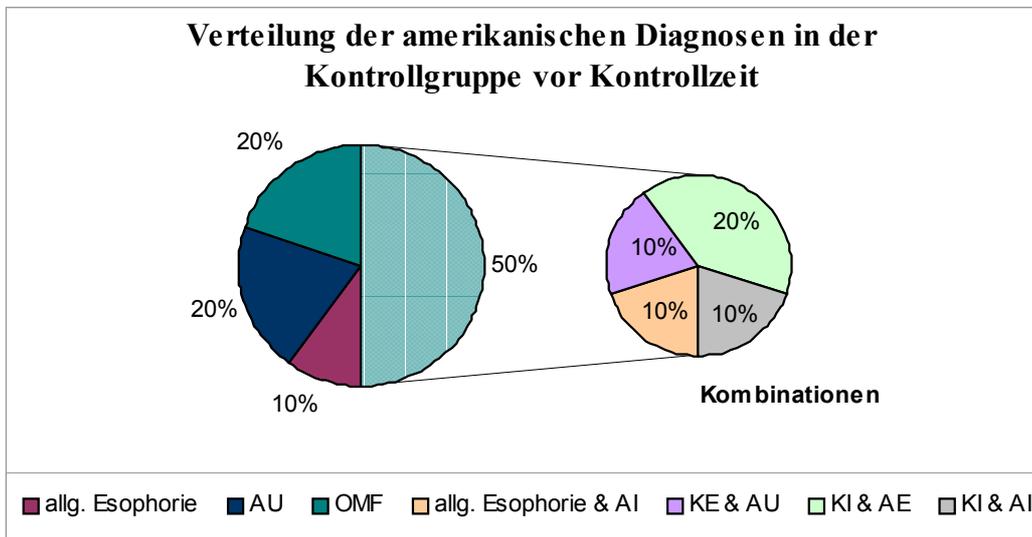


Diagramm 6.4-7

6.4.2 Einschätzung des Korrekturerfolges nach deutschen Kriterien

Stabilität der Korrektur

Im Folgenden soll untersucht werden, ob sich die gegebenen prismatischen Korrekturen innerhalb der 2 Monate Tragezeit signifikant verändert haben. Ein plastischer Tonus löst sich in vielen Fällen erst, wenn fusionale Vergenz prismatisch entlastet wird. Daher würden in einigen Fällen Nachkorrekturen über Aufdeckungsprozesse mittels der MKH erwartet werden.

Bei Methling erhielten nur 40 % Nachkorrekturen, davon ein Viertel zu Werten unter $1^{\text{cm}}/\text{m}$. In der Studie von Lie und Opheim mussten jedoch 80 % aller Probanden nachkorrigiert werden (siehe Kap.4.2). Es wäre zu erwarten, dass Unterkorrekturen nicht in jedem Fall die Funktion des visuellen Systems optimieren können, da sich ältere sensorische Zustände häufig nur durch permanent hergestellte, bizentrale Abbildung mittels einer vollen prismatischen Korrektur rückführen lassen. Auf Nachkorrekturen musste jedoch aufgrund der zeitlichen Limitierung dieser Studie verzichtet werden.

Im Diagramm 6.4-8 wurden die Korrekturwertänderungen in der prismatisch versorgten Gruppe durch einen Größenvergleich der $AP_{(D)}$ vor und nach der 2monatigen Korrektionszeit dargestellt.

Auf der x-Achse sind die $AP_{(D)}$ -Werte vor der Korrektionsmaßnahme eingetragen worden und der dazugehörige Wert der Nachkorrektur auf der y-Achse. Die graue durchgehende Linie symbolisiert die Positionen, die stabile prismatische Korrektionswerte gehabt hätten.

Alle blau markierten Werte befinden sich näher an die y-Achse als an der x-Achse. Daraus folgt, dass in 6 Fällen ein Werteanstieg zu verzeichnen war. Dieser Anstieg machte in den meisten Fällen ca.

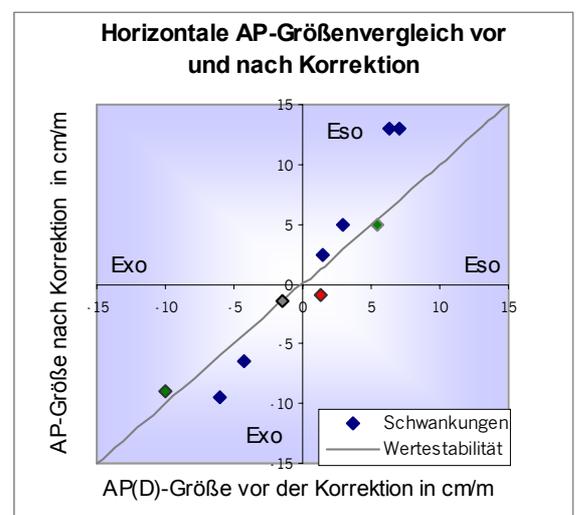


Diagramm 6.4-8

ein Drittel der ursprünglichen Phorie aus. 2 von 3 Probanden zeigten Exophorie- und 4 von 7 Esophorie-Wertezunahmen. Darunter lagen 2 Esophorien zwischen 6 und 7^{cm}/_m Ba, deren Nachkontrollen Werte von jeweils 13^{cm}/_m Ba ergaben (annähernd das Doppelte). Eine Korrektur (roter Wert) erwies sich durch Schwankungen in der Phorierichtung sogar als ungeeignet.

Die grün markierten Werte stehen für eine Reduktion des Korrektionswertes innerhalb der Nachkontrolle (bei 2 Probanden).

Das Fazit dieser Auswertung ist, dass in 60% aller Fälle dieser Studie, Prismenwerte erhöht werden müssten. Daher ist zu vermuten, dass die ermittelten Unterkorrekturen noch nicht in allen Fällen stabile visuelle Zustände erzeugen konnten. Aus diesen Gründen kann nicht erwartet werden, dass alle Einstellmechanismen und sensorischen Zustände durch die Prismenbrillen optimiert wurden. In den nachfolgenden Abschnitten des Kap. 6.4.2 soll der sensorische Status der Probanden untersucht werden, um den Erfolg der Prismenkorrektur nach deutschen Maßstäben beurteilen zu können.

Vergleicht man die gegebenen Größenschwankungen der AP_(D) der Korrektionsprobanden mit denen der Kontrollprobanden, so stellt man fest, dass auch in dieser Gruppe hohe Schwankungen auftraten. Im Gegensatz zu den Korrektionsprobanden reduzierten sich die Werte in diese Gruppe im allgemeinen (siehe Diagramm 6.4-9).

Bei 5 Probanden wurden während der Nachkontrolle nach 2 Monaten niedrigere horizontale Korrektionswerte festgestellt. (der nicht im Diagramm 6.4.1-9 enthaltene Wert von EL lag zwischen 32 und 24cm/m). Zwei Probanden waren im Wert annähernd stabil geblieben und 2 wiesen einen Anstieg auf. In Fällen einer Exophorie zeigten 1 von 2 und von Esophorien 6 von 8 Probanden Messwertänderungen.

Die durchschnittliche Schwankung lag mit 3,25^{cm}/_m in der Kontrollgruppe sogar höher als in der Prismengruppe (2,5^{cm}/_m). Schließt man EL aus, so näherten sich die Schwankungen 2,75 – 2,5^{cm}/_m.

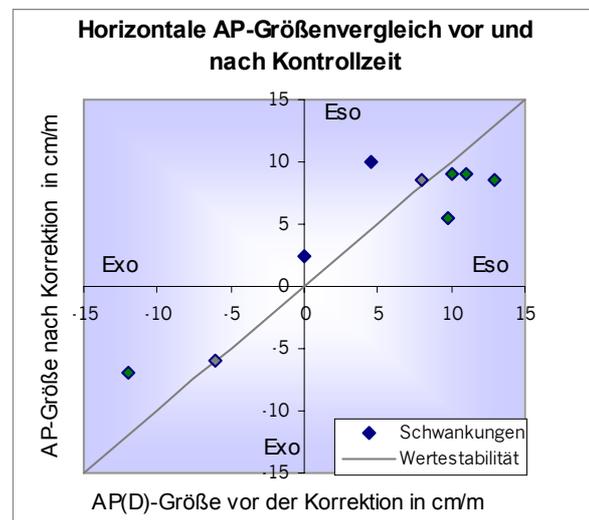


Diagramm 6.4-9

Im Rahmen dieser Diplomarbeit konnte keine deutsche Studie bzgl. der Reproduzierbarkeit der MKH-Messergebnisse gefunden werden. Haase stellte jedoch im Laufe zahlreicher Messungen Schwankungen am Kreuztest nur in Höhen von 1,0^{cm}/_m fest, es sei denn, die Probanden litten an einer vegetativen Dystonie (Störung des vegetativen Gleichgewichts) [Haase, 1980, S.64].

Nach dem deutschen Modell würde man nicht vermuten, dass sich die Größe der AP_(D) in einem Zeitraum von 2 Monaten ändern sollte. Die AP_(D) wird nach diesem Modell durch ein Muskelgleichgewicht hervorgerufen, das aus anatomischen Unzulänglichkeiten resultiert. Das visuelle System besitzt 2 Möglichkeiten, diesen Stellungsfehler zu kompensieren. Und zwar, entweder durch sensorische oder durch motorische Kompensationen. Diese Anteile können sich je nach Dekompensationsgrad zwar verschieben, sollten jedoch insgesamt den gleichen Betrag ergeben. In diesem

Modell wird eingeräumt, dass sich bei hohen motorischen Anteilen ein plastischer Muskeltonus bilden kann, der individuell unterschiedlich ausfällt und sich erst durch dauerhafte Entlastung der fusionalen Vergenz infolge prismatischer Korrektur zu lösen vermag. Es scheint jedoch nach diesem Modell sinnvoll, zu hinterfragen, warum sich dieser Tonus bei so vielen Kontrollprobanden innerhalb des Kontrollzeitraumes gebildet haben sollte. Stollenwerk schreibt, dass eine Winkelfehlsichtigkeit ($AP_{(D)}$) im Zuge der prismatischen Korrektur unverändert bestehen bleibt [Stollenwerk, 1991, S.9].

In Birnbaums Modell wird davon ausgegangen, dass sich Phorien durch vegetative Prozesse, vor allem während der Naharbeit, durch Stress verbunden mit psychischem Leistungsdruck entwickeln können. Je nach Adaptationspfad werden Exophorien oder Esophorien ausgebildet, die aufgrund unterschiedlicher Beanspruchungen des Sehprozesses und des Nervensystems in ihrer Größe individuellen Schwankungen unterliegen können (siehe Kap. 5.5).

Die in der vorliegenden Studie ermittelte schlechte Reproduzierbarkeit der MKH-Messergebnisse könnte auf den relativ langen Kontrollzeitraum zurückgeführt werden, in dem sich die Lebenssituation einiger Probanden stark veränderte. Viele der Probanden wurden in der Prüfungszeit ihres Studiums oder der allgemeinen Schulausbildung innerhalb der Eingangsuntersuchung getestet. Nach 2 Monaten befand sich die Mehrzahl aller Probanden in den Semester- oder Schulferien. Allein die psychische Entlastung bzw. weniger "Pflichtnaharbeit" könnten nach dem Modell Birnbaums daher vegetativ veränderte Phoriegrößen nach sich ziehen.

Es ist jedoch auch nicht auszuschließen, dass bereits die erste MKH bizentrales Sehen und somit Anpassungsmechanismen stimulieren konnte. Im Verlauf der Auswertungen aller Sehfunktionen wird deutlich werden, dass sich nicht nur die Phoriegrößen reduzierten, sondern auch Defizite im sensorischen Status und in den Einstellmechanismen.

Sensorischer Zustand

Stereosehgleichgewicht

Vor der Korrektur lag bei keinem der prismatischen versorgten Probanden Stereosehgleichgewicht vor. Das heißt, die visuellen Informationen eines der beiden Augen wurden in der visuellen Kortex bzgl. der stereoskopischen Richtungswahrnehmung bevorzugt verarbeitet. Ursachen hierfür können eine bestehende disparate Fusion oder Korrespondenz sein, zentrale Hemmungen auf dem abweichenden Auge oder generell eine entwicklungsbedingte Bevorzugung der Informationen eines Auges von der visuellen Kortex. Im Verlaufe der ersten MKH-Untersuchung, konnte nur eine einzige Probandin (MF1) ins Stereosehgleichgewicht gebracht werden, die ihren Zustand im gesamten Korrektionsintervall halten konnte. Dies war möglich, obwohl sich die Phorie von 6,25 auf $13,0^{cm}/m$ Ba erhöhte.

Nach 2monatigem Prismentragen zeigte kein weiterer Proband beim Testdurchlauf mit der getragenen Korrektur Stereosehgleichgewicht. In zwei Fällen (EK, TG) könnte jedoch vermutet werden, dass sie sich mit der Korrektur im Stereosehgleichgewicht befanden. In FN-Stellung waren beide Dreiecke mittig und in FI wurden ein oder zwei Dreiecke auch am Ende der Nachkontrolle an V

und V11 konstant doppelt gesehen. Eventuell entwickelten sich durch die jeweilige vertikale Komponente der $AP_{(D)}$ eingeschränkte Panumbereiche, die ihre originale Form erst nach langen Trageintervallen zurückgewinnen können.

Durch die Nachkorrektur wurden jedoch, einschließlich der schon erwähnten Probanden, 2 weitere ins Stereosehgleichgewicht gebracht.

Von den ersten beiden Probanden (MF1, TG) ist zu erwarten, dass sich Sehfunktionen vielleicht eher verbessern, als bei allen anderen Probanden. Es sind ebenfalls die zwei Probanden (CF, JR), die erst durch die Nachkorrektur optimales bizentrales Sehen erreichten, genauer zu untersuchen. Man könnte auch in diesen Fällen vermuten, dass durch beginnende sensorische Rückstellungsprozesse Sehfunktionen bereits besser angesprochen werden konnten.

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Kontrollgruppe, kann bestätigt werden, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit das Prismetragen in diesen 4 Fällen den sensorischen Status verbessert hat.

In der Kontrollgruppe wies vor der 1. MKH ebenfalls kein Proband Stereosehgleichgewicht auf. Spontan erreichten jedoch 3 Probanden durch die MKH optimales bizentrales Sehen.

Zum 2. Kontrolltermin zeigte wiederum keiner der Probanden vor der MKH Stereosehgleichgewicht. Es konnten auch in dieser Messreihe nur die gleichen 3 Probanden in beiden Filterstellungen in Isovalenz gebracht werden.

Veränderungen im $FD_{(D)}$ -Status

Nur bei Korrekturprobanden, deren Status durch die Nachkorrektur aufgedeckt werden konnte, lassen Veränderungen des $FD_{(D)}$ -Status Rückschlüsse auf eine Umstellung der sensorischen Adaptationen zu. Bei 3 dieser Probanden (TG, JR, CF) veränderte sich der Status. TG zeigte vorher eine $FD_{II/2}$ und innerhalb der zweiten Messung nur noch eine $FD_{(D) II/1}$. Der Proband JR sprang zwei Entwicklungsstufen zurück, von einer $FD_{(D) II/4}$ auf eine $FD_{(D) II/2}$. In einem Fall (CF) verschlechterte sich der Status von einer $FD_{(D) II/1}$ auf eine $FD_{(D) II/3}$.

Auch in der Kontrollgruppe gab es Veränderungen. Zwei Probandinnen mit Stereosehgleichgewicht konnten sich von der ersten zur zweiten MKH-Messung verbessern. Bei der Probandin MF2 wurde in der Nachkontrolle eine $FD_{(D) II/1}$ statt einer $FD_{(D) II/3}$ ermittelt und die Probandin DM zeigte anstelle einer $FD_{(D) II/4}$ eine $FD_{(D) II/1}$. Es sei in dem letzten Fall jedoch angemerkt, dass die letztgenannte Probandin 2 Wochen lang im Rahmen der vorliegenden Studie eine Prismenkorrektur trug, die nicht getragen wurde. Erst nach einer 2monatigen Kontrollzeit, in der sie keine Brille trug, wurden die Nachkontrollen vorgenommen. In beiden Fällen könnten prismatische Stimulationen bizentralen Sehens zu den beschriebenen Verbesserungen geführt haben.

Nahexophorien

Nahexophorien bestehen nach deutscher Lehrmeinung aufgrund von zentralen Hemmungen, die das Konvergenzvermögen reduzieren. Haase konnte in den meisten Fällen durch kontinuierliche Nachkorrekturen der Fernphoriewerte sensorische Zustände durch Reduktion von Hemmungen verbessern und somit Nahexophorien beseitigen [Haase, 1995, S.232].

Nach amerikanischer Lehrmeinung entstehen Nahexophorien durch zu niedrige AC/A-Verhältnisse. Niedrige AC/A-Verhältnisse erzeugen entweder Exophorien, die in der Nähe größer sind als in der Ferne (Konvergenzinsuffizienzen) oder aber angeblich sehr seltene Fälle von Esophorien, die in der Ferne größer sind als in der Nähe (Divergenzinsuffizienz).

Prinzipiell kann diese niedrige *responds AC/A* (klinisch ermittelt) nicht verändert werden, jedoch zeigte Schor in Experimenten, dass man sie durch gezielte Übungen zumindest kurzzeitig nachweislich optimieren kann (siehe Kap. 5.4.5).

Während der 1. MKH-Messreihe konnten in 2 von 3 Exophoriefällen und in 5 von 7 Esophoriefällen, in Bezug zur voll korrigierten Fern-AP_(D), Nahexophorien ermittelt werden, d.h. in 70 % der Korrektionsfälle. Zur Nachkontrolle zeigten 2 dieser Probanden keinen Unterschied mehr zwischen Nah- und Fernwerten. In einem dieser Fälle konnte eventuell die Entwicklung eines Stereosehgleichgewicht durch die getragene prismatische Korrektion zur Auflösung der Nahexophorie geführt haben.

Es zeigten 5 der Kontrollprobanden ebenfalls eine Nahexophorie bei der ersten Messung am Polatest. (2 Probandinnen besaßen in dieser Gruppe sogar Nahesophorien, die bei beiden Probandinnen zumindest am Kreuz-Ferntest Exowahrnehmungen auslösten.)

In der Nachkontrolle war bei einer der Probandinnen (DM) dieser Gruppe ebenfalls keine Nahexophorie mehr messbar. Das könnte bedeuten, dass auch hier durch die vorangegangenen Messungen und die nicht vertragene zweiwöchige MKH-Korrektion ausgelöst, sensorischen Störungen, über 2 Monate Kontrollzeit hinweg, abgebaut werden konnten. Aus diesen Gründen kann die Reduktion der Nahexophorie der Korrektionsprobanden auf die Prismenkorrektion zurückgeführt werden.

Stereopsis

Nur 3 der Korrektionsprobanden (EK, JR, EM) zeigten am D5 und an den Random-Dot-Testen Spontan- oder Nachverzögerungen der räumlichen Wahrnehmung in FI-Stellung. Alle 10 Probanden hatten einen Stereogrenzwinkel von 30".

In den Nachkontrollen konnten die Verzögerungen fast vollständig abgestellt werden.

In der Kontrollgruppe lagen wesentlich mehr Defizite in der Stereopsis vor. 3 Probanden hatten vor und nach der Kontrollzeit in FI-Stellung einen Stereogrenzwinkel von 1-3', davon zwei zusätzlich auch in FN-Stellung.

Fast alle Kontrollprobanden zeigten Defizite in der Auswertung der Random-Dot-Teste (RD). 3 konnten kein RD auswerten (DM, OD, EL) und eine weitere vermochte das nur in FN-Stellung (SF). In zwei Fällen traten zur Nachkontrolle eindeutige Verbesserungen des RD-Sehens auf. Die Probandin EL konnte in FN alle 5 und in FI ansatzweise 3 Stufen erkennen. Eine zweite Probandin (SF) war erstmals fähig, in FI-Stellung Stereoobjekte mit Verzögerungen zu erkennen.

Auch bei diesen Verbesserungen der Kontrollprobanden wird vermutet, dass die erste MKH bereits bizenrales Sehen stimulieren konnte.

Suppressionen

Nur bei 3 Prismenprobanden (JR, EM, EK) konnten Suppressionen durch die getragene Korrektur verringert bzw. sogar abgestellt werden. 2 weitere Probanden (TG, CF) berichteten weder vor noch mit der Korrektur über Hemmungen am Polatest. Bei allen anderen Probanden konnten keine eindeutigen Veränderungen beobachtet werden.

In der Kontrollgruppe zeigte nur eine Probandin (KN) vor und während der Korrektur keine Suppressionen. Während der Nachkontrolle konnten in dieser Gruppe 2 Probanden (OD, IR) spontan beim Durchlauf aller Tests ihre ursprünglichen Hemmungen der 1. Testung nicht mehr feststellen. Im Verlaufe der prismatischen Korrektur traten diese jedoch, im Gegensatz zu den Korrekturprobanden, wieder zunehmend auf.

Diese Ergebnisse deuten an, dass in den oben aufgeführten 3 Korrekturfällen, die gegebenen Prismen zur Reduktion der Hemmungen beitragen.

Prismenwertverteilung

Man würde erwarten, dass durch die gegebene prismatische Vollkorrektur disparate Fusionen und Korrespondenzen wieder in zentrale gewandelt werden würden. Da man die $AP_{(D)}$ -Größe durch die Korrektur nicht verändern sollte, müssten sich demnach die Werte umverteilen. Folgerichtig würde man Wertesteigerungen am Kreuztest erwarten sowie Wertereduktionen an den sensorischen Tests.

Die Tabelle 6.4-2 zeigt die durchschnittliche sensomotorische Umverteilung der Korrekturwerte aller Prismenprobanden. Zum Vergleich wurden auch gleichgerichtete Veränderungen der Kontrollprobanden aufgezeigt. In beiden Gruppen erhöhte sich bei ca. der Hälfte aller Probanden der motorische Anteil zugunsten der Reduktion der $AP_{(D)}$ -kompensierenden Sensorik. Man erkennt deutlich, dass sich vor allem in der Prismengruppe die Werte nicht nur umverteilen, sondern dass sich zusätzlich Tonus löste. Dieser führte vor allem zum Anstieg der Kreuztestkorrekturen. In beiden Gruppen zeigten sich erstaunlich hohe Werteanstiege der Kreuztestkorrekturen bzw. sehr hohe Wertereduktionen der sensorischen Anteile. Gerade Schwankungen bis zu $7,5^{cm}/m$ in der Kontrollgruppe sollen laut Haases Erfahrungen nur sehr selten auftreten. Es scheinen daher gerade in der Kontrollgruppe besonders schwierige und undurchsichtige Fälle (DM, EL, MF2) mit extremen sensomotorischen Schwankungen vorzuliegen.

Probanden	Ø Erhöhung motorischer Anteil	Anzahl	Min.	Max.	Ø Reduktion sensorischer Anteil	Anzahl	Min.	Max.
	cm/m		cm/m	cm/m	cm/m		cm/m	cm/m
Verteilung horizontaler Prismenwerte								
Korrektion-	4,8	6	1,5	11,0	1,6	8	0,5	5,0
Kontroll-	3	5	1,0	7,5	2,2*	6	1,0	5,0
Verteilung vertikaler Prismenwerte								
Korrektion-	1,2	5	0,5	2,0	0,38	6	0,25	0,5
Kontroll-	0,38	6	0,25	0,75	0,67	3	0,25	1,0

Tabelle 6.4-2

* Es wurde eine Korrektur die Schwankungen über $7,0^{cm}/m$ sensorisch zeigte herausgenommen, da solche Werte extrem sind und eventuell nicht durch eine $FD_{(D)}$ hervorgerufen wurden., sondern durch nachrutschenden Tonus.

In 2-3 Fällen verringerte sich in beiden Gruppen die Kreuztestkorrektion in der Horizontalen, jedoch in keinem einzigen Fall in der Vertikalen.

Bei keinem der Korrektionsprobanden, jedoch bei 1 Kontrollprobandin, erhöhte sich der horizontale sensorische Anteil. In beiden Gruppen nahm der sensorische Anteil in der Vertikalen bei 2-3 Probanden zu.

Alle weiteren Probanden zeigten stabile Messwerte zwischen den Kontrollen.

Visus

Der Visus kann bei vorhandener $AP_{(D)}$ monokular aber auch binokular reduziert sein. Ursache hierfür sind möglicherweise zentrale Hemmungen oder monokulare Trennschwierigkeiten (Crowding). In Fällen einer exzentrischen Fixation ist ebenfalls der Visus des abweichenden Auges reduziert, weil auch im Monokularsehen disparat fixiert wird. Nur wenn der Visus in beiden Augen annähernd gleich hoch ist und Stereosehgleichgewicht erreicht werden kann, lässt sich mit Bestimmtheit sagen, dass keiner der Probanden eine exzentrische Fixation besaß, Strabismus somit auszuschließen ist.

Bestehen bei einigen Probanden hohe fusionale Vergenzbelastungen, so können, dem amerikanischen Modell gemäß, nichtkompensierbare Vergenzakkommodationen ebenfalls den binokularen Visus reduzieren. D.h., der Nebelpunkt wird in diesen Fällen schon im unkorrigierten Zustand ohne zusätzliche Vergenzbelastung erreicht.

Man geht innerhalb des deutschen Systems davon aus, dass eine erfolgreich durchgeführte MKH, den monokularen und binokularen Visus durch die prismatische Korrektion, in Fällen einer $AP_{(D)}$, verbessern kann. Hierbei werden entweder Hemmungen abgebaut oder aber sensorische Anomalien in bizenrale Abbildungen rückgestellt. Diese Prozesse können spontan während der MKH oder aber erst nach einem Trageversuch der prismatischen Korrektion eintreten.

In der Auswertung der Visusveränderungen wurden nur Schwankungen ab 2 Sehzeichen bei gleicher Raumlänge und gleichen Optotypen berücksichtigt.

Unmittelbar nach Durchführung der ersten MKH verbesserte sich der binokulare Visus jeweils bei 4 Probanden beider Gruppen, das bedeutet, bei insgesamt 40% aller Messungen.

10 der 20 Probanden trugen die prismatische Korrektion für 2 Monate. Die Kontrollprobanden wurden angehalten, innerhalb dieser Zeit keine MKH-Messungen mehr durchführen zu lassen. Falls sie ametrop waren, so sollten sie wie gewohnt nur die sphärozyklindrischen Korrektionen tragen.

Zur Nachkontrolle zeigten 6 prismatisch versorgte Probanden mit der getragenen Korrektion eine binokulare Visusverbesserung. Bei einer Probandin (MF1) stieg der Visus auf beiden Augen monokular und binokular um mehr als eine Visusstufe an.

Dieses Ergebnis könnte auf die Wirkung der Prismen zurückgeführt werden. Es wiesen jedoch erstaunlicherweise 4 Probanden aus der Kontrollgruppe ebenfalls einen binokularen Visusanstieg auf, bevor sie ein 2. Mal am Polatest untersucht wurden. Auch bei den Kontrollprobanden stieg der binokulare Visus einer Probandin (MF2) gleichfalls um über eine Visusstufe an. Die Diagramme 6.4-10 und 11 zeigen die Verteilungen der Visusveränderungen in beiden Gruppen.

Man kann den Diagrammen entnehmen, dass kaum Unterschiede zwischen beiden Gruppen bestehen.

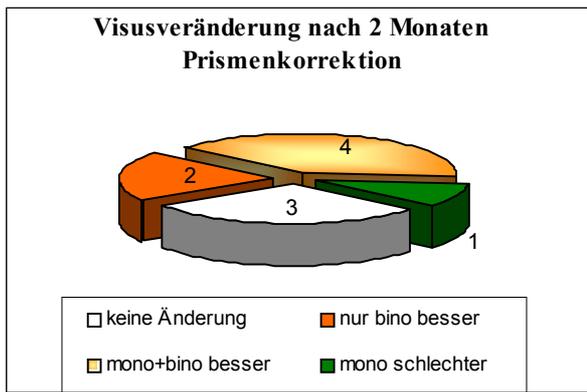


Diagramm 6.4-10

Es fällt jedoch auf, dass sich vor allem in der Kontrollgruppe nur der monokulare Visus verbesserte, was bedeuten könnte, dass das abweichende Auge nach der Kontrollzeit eventuell weniger Hemmungen zeigte. Dieser Zusammenhang konnte bei einer Probandin mit Sicherheit bestätigt werden. Bei den beiden anderen stieg nur ein Auge im Visus an, obwohl beide Augen noch Suppressionen zeigten.

Aus den Diagrammen kann nicht entnommen werden, dass bei 3 von 4 Prismen-Probanden, die monokulare und binokulare Visusverbesserungen zeigten, auf beiden Augen der monokulare Visus anstieg, obwohl immer nur ein Auge während der MKH verstärkt Hemmungen zeigte.

2 Probanden der Kontrollgruppe (EL, DM) könnten sich, nach den Visusschwankungen zu urteilen, eventuell im Übergangsstadium zur exzentrischen Fixation befinden. In der 1. Untersuchung konnte jeweils das linke Auge 2 Visusstufen weniger auflösen als das rechte. Zur Nachkontrolle stieg bei der Probandin DM der Visus um eine Visusstufe an und bei EL konnte sogar kein Unterschied mehr in der Sehleistung beider Augen festgestellt werden. Da jedoch die Probandin DM mit prismatischer Korrektur Stereosehgleichgewicht erlangte, scheint der monokulare Visusverlust eventuell nur von starkem Crowding und Hemmungen herzuführen. Der Visus stieg in ihrem Fall an, wenn jedes Sehzeichen einzeln präsentiert wurde. EL besaß zusätzlich eine äußerst große $AP_{(D)}$, die hohen Schwankungen in fast allen Messwerten unterlag ($24,0 - 32,0^{cm}/m$ Ba; $1,5 - 1,0^{cm}/m$ BoR). Daher wird sie aus den weiteren Auswertungen größtenteils ausgeschlossen und nur bei interessanten Veränderungen berücksichtigt.

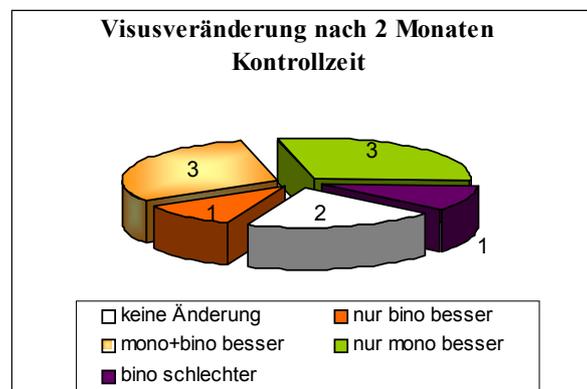


Diagramm 6.4-11

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Im Kap. 6.4.2 wurde untersucht, ob die Prismenkorrekturen nach deutschem Standard Erfolge zeigten. Hierzu sind die Stabilität der Korrekturen und die Veränderung des sensorischen Status analysiert worden.

Während Reduktionen von Nahexophorien und Visusverbesserungen in beiden Gruppen quantitativ und qualitativ annähernd gleichwertig auftraten, konnte zumindest das Herstellen eines Stereosehgleichgewichts und das Abstellen von Suppressionen eher der Wirkung der Prismen zugeschrieben werden. In beiden Gruppen waren sehr hohe Messwertschwankungen zu beobachten. Am meisten

schwankten Kreuztestwerte. Laut Haase sollten diese Schwankungen Werte von $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ nicht überschreiten, in der Kontrollgruppe traten jedoch Schwankungen bis zu $7,5^{\text{cm}}/\text{m}$ auf.

Sowohl in der Korrektionsgruppe als auch in der Kontrollgruppe konnten sich 6 von 10 Probanden in mindestens 2 dieser Kategorien verbessern. Es ist daher schwierig, den Erfolg allein auf das Tragen der Prismenkorrekturen zurückzuführen.

Mehrere Hypothesen können erhoben werden, um Ursachen für positiven Schwankungen innerhalb der Kontrollprobanden zu suchen:

1. Die erste MKH-Messung stabilisierte den visuellen Zustand durch Stimulation bizentralen Sehens soweit, dass dieser sogar 2 Monate bestehen bleiben konnte (z.B. durch Reduktion von Hemmungen und Crowding).
2. Die Testung der Sehfunktionen stellen zwar eine Belastung für das visuelle System dar, jedoch könnten durch diese Belastungen eventuell auch bestimmte Mechanismen zu Kompensationszwecken reaktiviert worden sein. Diese würden als Konsequenz, ähnlich wie ein Visualtraining, eher entlastend wirken.
3. Die meisten Probanden wurden bei der ersten Untersuchung in der Prüfungszeit ihres Studiums bzw. der Schule getestet und bei den Nachuntersuchungen mitten in den Ferien. Eventuell haben nach dem Modell Birnbaums und Skeffingtons vegetative und psychische Faktoren Einfluss auf die Stabilität der visuellen Funktionen (siehe Kap. 5.5).
4. Es ist nicht auszuschließen, dass durch wiederholte Untersuchungen Lerneffekte auftraten, die insgesamt alle Messergebnisse positiv beeinflussen konnten. Z.B. bestätigten einige Probanden, dass sie sich an die Reihenfolge der Optotypen erinnern können. Es war jedoch beabsichtigt, diese Lerneffekte möglichst auszuschließen. So wurden beispielsweise Fehler beim Vorlesen der Optotypen nicht korrigiert.

Die jeweils 6 Probanden beider Gruppen werden beim Vergleich der Messwerte amerikanischer Einstellmechanismen, vor und nach der Korrektions- bzw. Kontrollzeit, besonders genau untersucht. Es besteht die Hoffnung, dass sich auf diese Weise Relationen zwischen der Funktion bestimmter Einstellmechanismen und dem sensomotorischen Zustand herstellen lassen.

6.4.3 Einschätzung des Korrekturerfolges nach amerikanischen Kriterien

Vergleich der Defizite zwischen Korrektions- und Kontrollgruppe

Alle Probanden beider Gruppen zeigten Defizite in den Einstellmechanismen (siehe Diagramm 6.4-12). Die Verteilung der meisten Auffälligkeiten ist jedoch zwischen den Gruppen etwas unterschiedlich. Nur in der Vergenzdynamik ergaben sich für beide Gruppen, bei fast allen Probanden, Werte außerhalb der Norm. In der Korrektionsgruppe waren zusätzlich vor allem die Akkommodationsamplituden (ΔA_{max}), der NPC, die binokulare Akkommodationsdynamik (BAF) und die Divergenzbreiten eingeschränkt. In der Kontrollgruppe traten Defizite hauptsächlich in den Augenbewegungen, d.h. bei Sakkaden und Augenfolgebewegungen (Versionen) auf.

In der Korrekionsgruppe zeigten sich für jeden Einstellmechanismus mindestens zwei auffällige Probanden. In der Kontrollgruppe konnten dafür kaum Einschränkungen in den Funktionen AC/A und NRA (negative relative Akkommodation) gefunden werden.

In beiden Gruppen traten von allen möglichen Defiziten in der Gesamtheit der Korrekionsprobanden ca. 53% und der Kontrollprobanden ca. 47% auf, so dass die Sehfunktionen insgesamt in beiden Gruppen relativ gleich stark beeinträchtigt waren.

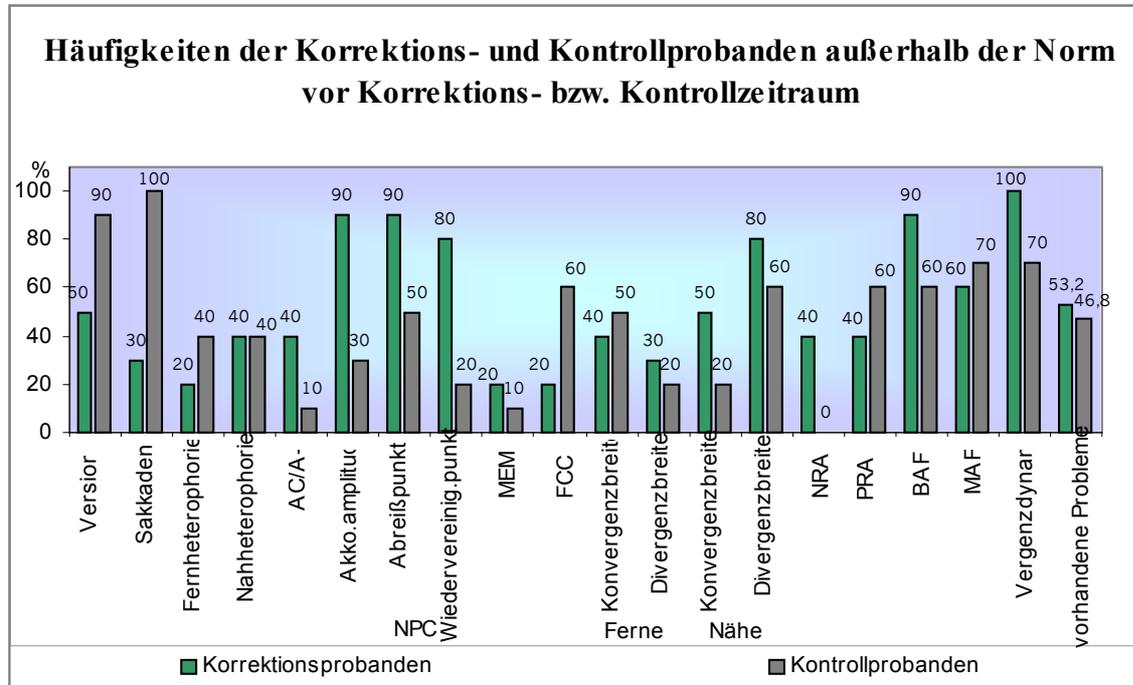


Diagramm 6.4-12

In der Kontrollgruppe traten häufiger mittlere bis hohe Esophorien mit verfestigten sensorischen Anteilen auf. Aus diesem Grunde bestätigt sich die unter deutschen Optometristen bestehende Annahme, dass diese eher zu Augenbewegungsstörungen neigen.

In der Korrekionsgruppe wurden weniger hohe, jedoch trotzdem verfestigte $AP_{(D)}$ s ermittelt. Die Probanden zeigten in der Mehrzahl eine Nahexophorie am Polatest und eine Konvergenzinsuffizienz entsprechend amerikanischer Diagnoseverfahren. Es ist in diesem Zusammenhang zu vermuten, dass Akkommodationsstörungen und eingeschränkte NPC s häufig von Nahexophorien begleitet werden. Eventuell haben alle 3 Sehstörungen den gleichen Ursprung. Jede dieser Vermutungen fand wenige Ausnahmen und kann daher nur als Tendenz angesehen werden.

Übersicht aller Defizite in den Sehfunktionen vor und nach der Korrekions- bzw.

Kontrollzeit

Den folgenden Darstellungen kann entnommen werden, wie viele Probanden der jeweiligen Gruppe in den relevanten amerikanischen Sehfunktionen, vor und nach 2 Monaten Korrekions- bzw. Kontrollzeitraum, außerhalb der Norm lagen. In der Tabelle 6.4-3 wurden die prozentualen Anteile der auffälligen Probanden zusammengefasst. Diese Tabelle enthält zusätzlich jene Kriterien, aufgrund

derer die Probanden als auffällig eingestuft wurden. Diese entstammen alle den zu erwartenden Normwerten (*expecteds*) von Scheiman und Wick [1994, S.8; 21].

Darüber hinaus zeigt die zweite Spalte an, ob die von Scheiman und Wick bestimmte Standardabweichung für die jeweilige Sehfunktion berücksichtigt wurde. Innerhalb der einfachen Standardabweichung liegen 68,27% aller statistisch erhobenen Messwerte für die jeweilige Sehfunktion. In diese Größe gehen Messfehler und natürliche Schwankungen im Sehen ein. Treten bei ein und der selben Testperson oder aber zwischen den Testpersonen hohe Differenzen der Messwerte auf, so erhöht sich die Standardabweichung für diese Sehfunktion beträchtlich. Dies trifft für die letzten 9 der 19 Kriterien zu. Würden Probanden nur dann aus einer Norm herausfallen, wenn sie außerhalb dieser Standardabweichung liegen, so wären fast alle Probanden unauffällig, obwohl Probleme bestanden. Aus diesem Grund wurde nur der erwartete Normwert, ohne Abzug der Standardabweichung, als Grenzwert für die Analyse herangezogen. In allen anderen Fällen zählt der Normwert abzüglich der einfachen Standardabweichung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich aus dieser unterschiedlichen Handhabung die Aussage zur Häufigkeit von auffälligen Probanden in den letzten 9 Kategorien der Tabelle relativiert. Auch in der vorliegenden Studie wiesen Messwerte Schwankungen auf und die Ergebnisse könnten zufällig oberhalb des festgelegten Normwertes gelegen haben. Zur genauen Differenzierung der Schwankungen wird in den nachfolgenden Einzelauswertungen bestimmter Sehfunktionen eingegangen.

Sehfunktion	Standabweichung berücksichtigt	Kriterien für Defizite	Korrektionsprobanden		Kontrollprobanden	
			vorher in %	danach in %	vorher in %	danach in %
Versionen	keine gegeben	< 4	50	20	90	80
Sakkaden	keine gegeben	< 4	30	20	100	90
Fernheterophorie	ja	> 1,0 Ba; > 3,0 Bi	20	40	40	40
Nahheterophorie	ja	Eso, > 6,0 Bi	40	20	40	50
AC/A-Gradient	ja	<2 cm; >6 cm	40	30	10	10
Akko.amplitude	ja	[$\Delta D_{max} - (18 - \text{Alter}/3) - 2dpt$]	90	40	30	40
NPC Abreißpunkt	ja	> 5cm	90	70	50	60
NPC Wiederver.pkt	ja	>10 cm	80	40	20	0
MEM	ja	< 0,25 dpt; > 0,75 dpt	20	40	10	40
FCC	ja	< plan; > 1,0 dpt	20	20	60	40
Konvergenzbreiten Ferne	nein, da ± 7 cm/m	< 11 cm/m	40	0	50	30
Divergenzbreiten Ferne	nein, da ± 3 cm/m	< 7 cm/m	30	10	20	20
Konvergenzbreiten Nähe	nein, da ± 9 cm/m	< 19 cm/m	50	10	20	10
Divergenzbreiten Nähe	nein, da ± 6 cm/m	< 13 cm/m	80	60	60	40
NRA	nein, da $\pm 0,50$ dpt	> +2,5 dpt; < +2,0 dpt	40	10	0	0
PRA	nein, da $\pm 1,0$ dpt	< -2,5 dpt	40	40	60	50
BAF	nein, da $\pm 5,0$ R/ min	< 8 R/ min	90	50	60	60
MAF	nein, da + 5,0 R/ min	< 11 R/ min	60	50	70	50
VF	nein, keine gegeben!	< 15 R/ min	100	20	70	80

Prozentualer Anteil der Probanden mit Defiziten

Tabelle 6.4-3

Im Diagramm 6.4-13 wird graphisch dargestellt, in welcher Häufigkeit für die Korrektionsprobanden jede der aufgeführten Sehfunktionen außerhalb der festgelegten Norm lag (aus: Spalte 5 und 6 der Tab.6.4-3).

Die grünen Säulen geben an, wieviel Prozent der Probanden vor der Prismenkorrektion auffällig waren und die blauen, wieviele danach. D.h., je kleiner die blauen Säulen in Bezug zu den grünen ausfallen, desto mehr Probleme konnten abgestellt werden. Man kann dieser Art Diagramm nicht entnehmen, ob parallel in derselben Sehfunktion Verschlechterungen und Verbesserungen auftraten oder ob sich stark auffällige Probanden verbessern konnten, ohne jedoch die Normspanne zu erreichen. Es gab insgesamt 13 Fälle, innerhalb derer vorher unauffällige Werte nach der Korrektur aus der Norm fielen. Dafür stiegen Probanden jedoch in 59 Sehfunktionswerten in die Normspanne auf.

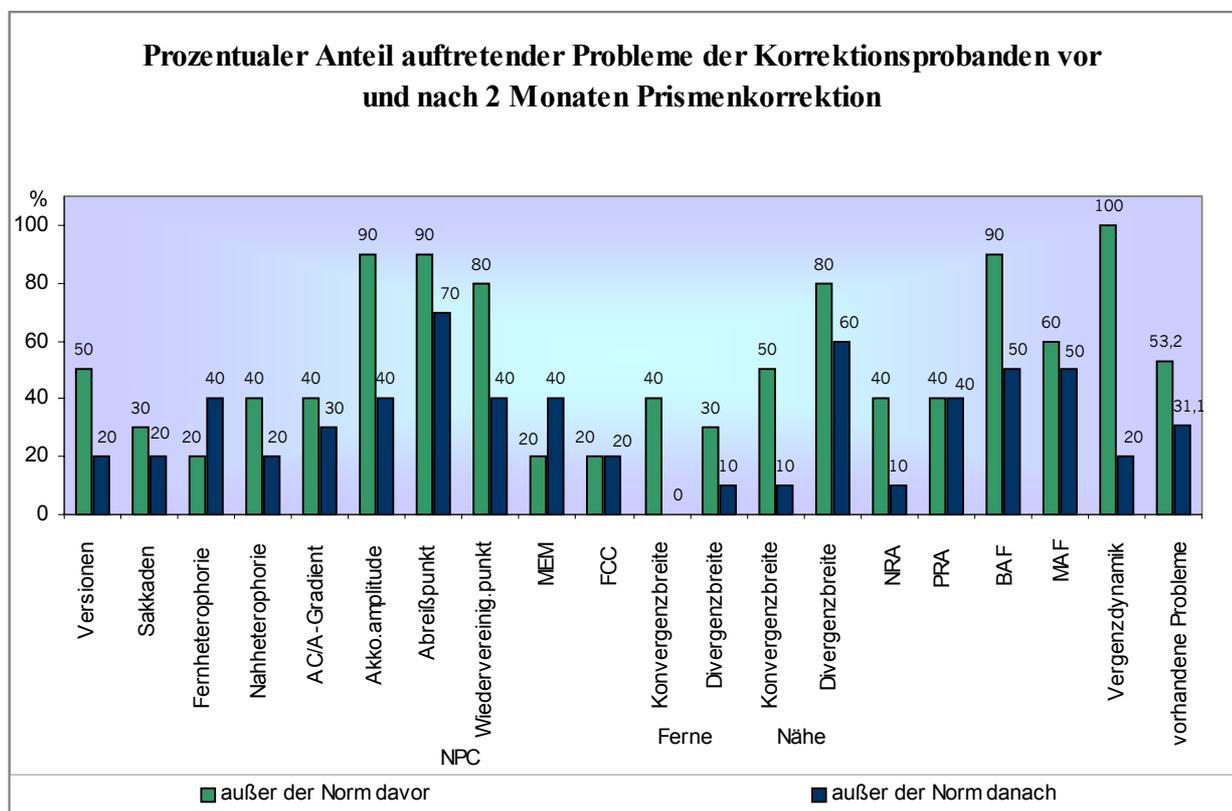


Diagramm 6.4-13

Genauere Informationen werden in den nachfolgenden Abschnitten, in denen Änderungen spezieller Sehfunktionen getrennt besprochen werden, nachgeliefert.

Man kann eindeutig erkennen, dass sich Sehfunktionen, wie Akkommodationsamplituden, die Vergenzdynamik (*VF*), Versionen, der *NPC*-Wiedervereinigungspunkt, Konvergenzbreiten in Ferne und Nähe sowie die binokulare Akkommodationsdynamik (*BAF*) deutlich verbessern konnten. Sehfunktionen, wie Sakkaden, *FCC*, *AC/A*-Gradient, positive relative Akkommodation (*PRA*) und monokulare Akkommodationsdynamik (*MAF*) haben sich kaum verändert. Die Fernheterophorie und die Akkommodationsantwort (*MEM*) verschlechterten sich sogar.

Andere Funktionen, wie die Nahheterophorie, der *NPC*-Abreißpunkt, Divergenzbreiten in Ferne und Nähe und *NRA* verbesserten sich bei 2 Probanden.

Vergleicht man die Anzahl der Verbesserungen mit denen der Kontrollprobanden aus dem Diagramm 6.4-14, so wird deutlich, dass in der Kontrollgruppe wesentlich weniger Sehfunktionen den Normwert in der 2. Messung erreichten. Nur 2-3 Kontrollprobanden verbesserten sich in der Fern-Konvergenzbreite, im *FCC*-Wert, im *NPC*-Wiedervereinigungspunkt und in der monokularen Akkommodationsdynamik. Die *MEM*-Ergebnisse verschlechterten sich um 30 %. Ansonsten lagen in den restlichen 15 Sehfunktionen nur Schwankungen von 10 % vor, d.h. größtenteils stieg nur ein Proband nach der Korrektionszeit in die Norm auf oder ab.

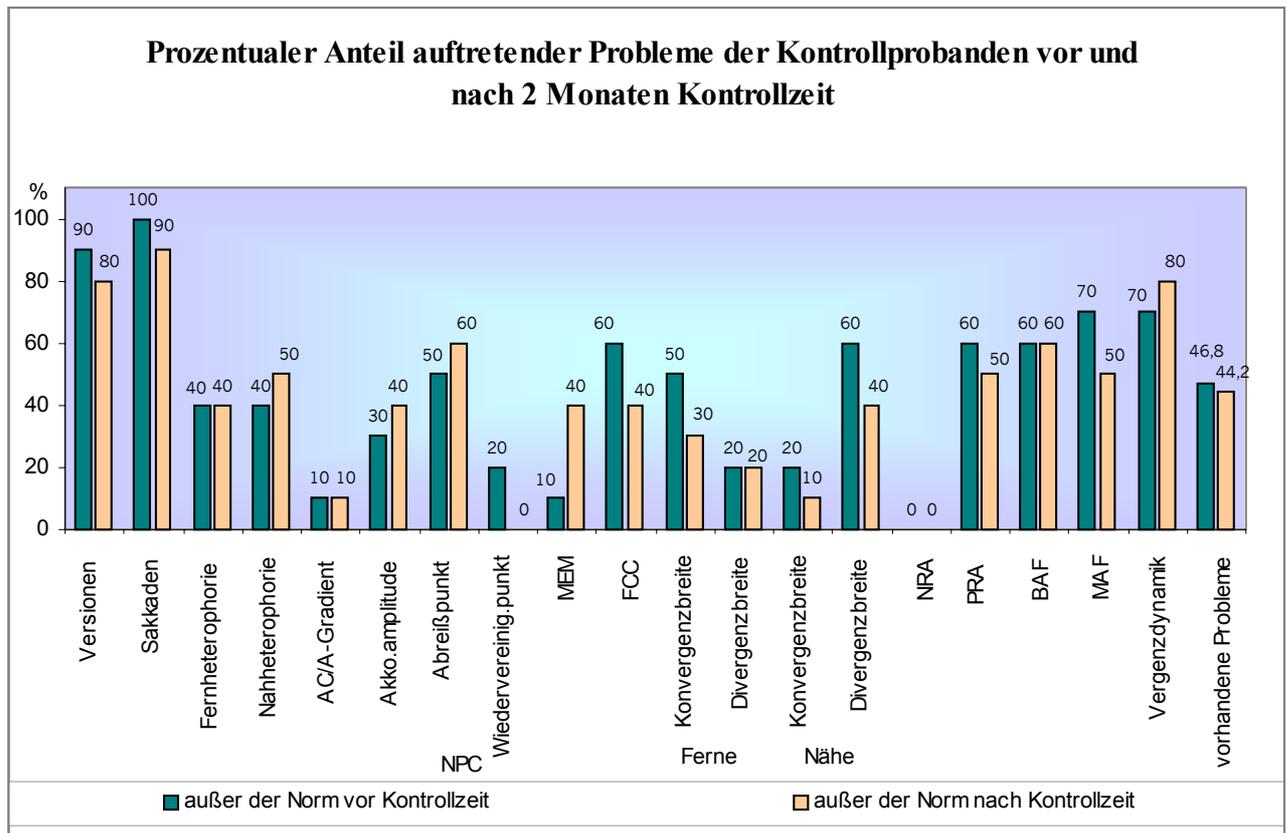


Diagramm 6.4-14

Statistische Auswertung der Anzahl von Defiziten in den Sehfunktionen vor und nach der Korrektion

Es wurde mittels eines Chi-Quadrat-Testes überprüft, ob sich die Änderungen der Häufigkeiten auffälliger Sehfunktionen in den Gruppen deutlich unterscheiden. Ergäbe sich beim Chi-Quadrat-Test nur für die Korrektionsgruppe eine Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha \leq 0,05$, so könnte die Nullhypothese als widerlegt gelten. Sie besagt, dass zwischen den Werten vor und nach der Prismenkorrektion kein Unterschied besteht. Ist die Nullhypothese widerlegt, so ist die Verringerung der Anzahl der Auffälligkeiten in dieser Gruppe statistisch signifikant. In der Kontrollgruppe würde man für den Chi-Quadrat-Test eine Irrtumswahrscheinlichkeit α erwarten, die gegen 1,0 tendiert und damit die Nullhypothese bestätigt.

Der Chi-Quadrat-Test ergab unter Berücksichtigung aller 19 Kriterien für die Korrekionsgruppe $\alpha=0,144$ und für die Kontrollgruppe $\alpha=0,999$. Damit kann das Ergebnis isoliert für die Korrekionsgruppe betrachtet die Nullhypothese zwar nicht statistisch signifikant widerlegen, stellt man ihm jedoch den Wert der Kontrollgruppe gegenüber, so ist eindeutig ein Unterschied erkennbar, der mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die Prismenkorrektur hervorgerufen werden konnte.

Schließt man nun diejenigen Sehfunktionen aus der Rechnung aus, die sich kaum (10%) oder gar nicht änderten (Sakkaden, FCC, AC/A, PRA und MAF), so erhält man für die restlichen 14 Sehfunktionen eine statistisch signifikantes Ergebnis mit $\alpha=0,015$, für die fünf ausgeschlossenen Funktionen ergab sich $\alpha=0,999$. Hieraus kann mit hinreichender Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, dass diese 14 Sehfunktionen deutlich durch die Prismenkorrektur beeinflusst worden sind, während für die ausgeschlossenen fünf Sehfunktionen kein Einfluss erkennbar ist.

Das folgende Diagramm 6.4-15 zeigt noch einmal zusammenfassend alle Häufigkeitsdifferenzen der Korrekions- und Kontrollgruppe vor und nach der Korrekions- bzw. Kontrollzeit. Man kann anhand der Dominanz der blauen Säulen erkennen, dass sich wesentlich mehr Korrekionsprobanden auf Normwerte verbessern konnten.

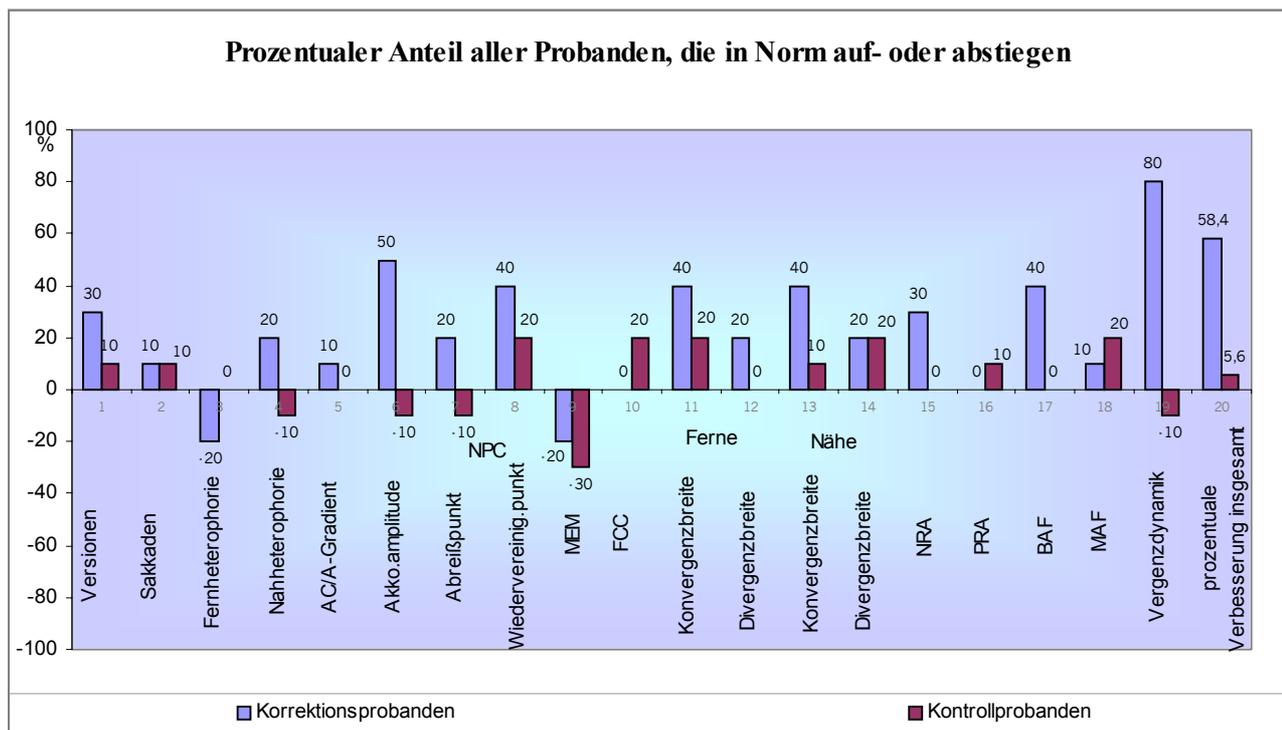


Diagramm 6.4-15

Man könnte aus diesen Ergebnissen schlussfolgern, dass sich Sakkaden, FCC-, PRA-, AC/A-, und MAF -Werte nur bedingt durch Prismen beeinflussen lassen. Diese Aussage findet nur für die Ergebnisse des AC/A-Wertes seine Berechtigung. In den ersten 3 Sehfunktionen zeigten erstens zu wenige Probanden Auffälligkeiten und zweitens gab es z.B. in jeder Funktion Verbesserungen und Verschlechterungen. Das bedeutet, die Sehfunktionen konnten angesprochen werden, jedoch muss der Erfolg oder Misserfolg fallbezogen betrachtet werden.

AC/A-Stabilität

Nach amerikanischer Theorie würde man generell nicht erwarten, dass sich der AC/A-Gradient durch eine Prismenkorrektur ändert. Es konnte jedoch in Experimenten nachgewiesen werden, dass sich der AC/A-Gradient durch Visualtraining in geringem Maße für gewisse Zeit verändern ließ (siehe Kap.5.4.5). Die Prismenkorrekturen hatten in der vorliegenden Studie auf den AC/A-Gradienten generell nur einen geringen Einfluss. In einem Exophorie-Korrektionsfall (KM) wurde jedoch, trotz gleiche Messmethode in der ersten Messung, ein AC/A von 1,0cm bestimmt und in der zweiten ein AC/A von 7,0cm.

Mit dieser Veränderung wurden doppelt so hohe Nahkonvergenzbreiten erzielt und bei der PRA- und BAF-Messung führten binokular vorgeetzte Minuswerte, die vorher keine Probleme bereiteten, ab -2,0dpt zur Diplopie. Die Nahexo-Heterophorie und der zurückgesetzte NPC blieben dabei konstant. Warum diese Veränderung mit der Prismenkorrektur eintrat, bleibt unklar. Eventuell beförderte ein durch die Prismen aufgelöster Akkommodationsexzess, der Konvergenzbreiten reduzieren kann, diesen Zustand. Dieser Fall wird in Kap. 6.5.2 im Zusammenhang mit Veränderungen durch das anschließende Visualtraining ausführlicher analysiert.

Verbesserung der Akkommodationsamplituden und deren Einfluss auf NPC-Werte

Der Vergleich der Messergebnisse der Akkommodationsamplituden (maximaler Akkommodationserfolg) vor und nach der Prismenkorrektionszeit lässt eindeutig erkennen, dass bei den prismatisch korrigierten Probanden in Bezug zur Kontrollgruppe eine Verbesserung der Werte eintrat.

Der Normwert für die Akkommodationsamplituden (AA) wird von amerikanischen Optometristen häufig mit der Formel Hofstetters errechnet:

$$\Delta A_{\max} = 18 - \text{Alter} / 3 \quad (\text{Standardabweichung} = \pm 2,0\text{dpt})$$

[Scheiman & Wick, 1994, S.21-22] **Formel 6.4-1**

In der Praxis gilt ein Proband als auffällig, wenn ein gemessener AA-Wert mindestens für ein Auge die untere Standardabweichung unterschreitet. D.h. die AA ist eindeutig außerhalb der Norm, wenn der gemessene Wert mit mehr als 2,0dpt den berechneten unterschreitet. Nach diesem Kriterium wurden alle Probanden untersucht. Dabei sind größere Fehlsichtigkeiten und deren Einfluss durch den gegebenen durchschnittlichen Hornhautscheitelabstand von 15mm mit berücksichtigt worden.

$$\Delta A_{\text{HSA} = 0} = \Delta A_{\text{HSA} = 15} / (1 - e^{-x} S'_{\text{BR}})^2 \quad \text{Formel 6.4-2}$$

Allgemeine Ergebnisse

In der Korrektionsgruppe lagen die Akkommodationsamplituden (AA) bei 9 von 10 Probanden mit Werten von 0,21 - 3,28dpt unterhalb der unteren Standardabweichung, d.h. zwischen 2,21-5,28dpt unter dem erwarteten Normwert. Von diesen Probanden waren zwei nur auf einem Auge auffällig.

In der Kontrollgruppe gab es weniger Probanden mit eingeschränkter *AA*. 3 Probanden (KN, MF2, EL) lagen mit ihren Werten von 0,11-2,70dpt binokular unterhalb der Normspanne. Die anderen Probanden befanden sich mit beiden Augen im Normbereich, wobei die Probanden AM, FW und OD knapp an den Normwert grenzten. Abweichungen vom absoluten Normwert traten hier von +0,09 bis - 4,70dpt auf. Der Unterschied in der durchschnittlichen Abweichung von der unteren Standardabweichung aller Augen betrug zwischen den beiden Probandengruppen 0,95dpt (P: Ø 0,54dpt und K: Ø -0,41dpt).

Verbesserungen der Korrekionsprobanden

Nach der Korrekionszeit lagen von 9 auffälligen Probanden nur noch 4 (KM, MF1, EM, GK) außerhalb der Normspanne (siehe Diagramme 6.4-16 und 17). Insgesamt konnten sich 7 Probanden verbessern. Die *AA* von 6 rechten Augen stieg um durchschnittlich 1,10dpt innerhalb einer Spanne von 0,48 - 1,47dpt und die *AA* von 7 linken Augen stieg um durchschnittlich 0,81dpt innerhalb einer Spanne von 0,43 – 1,27. Auffällig ist, dass es zwar auch in den dazugehörigen linken Augen Verbesserungen gab, jedoch blieben diese leicht hinter den Werten der rechten Augen zurück. Bei den Probandinnen KD, CF und SD verbesserte sich die Akkommodation rechts deutlich stärker als links.

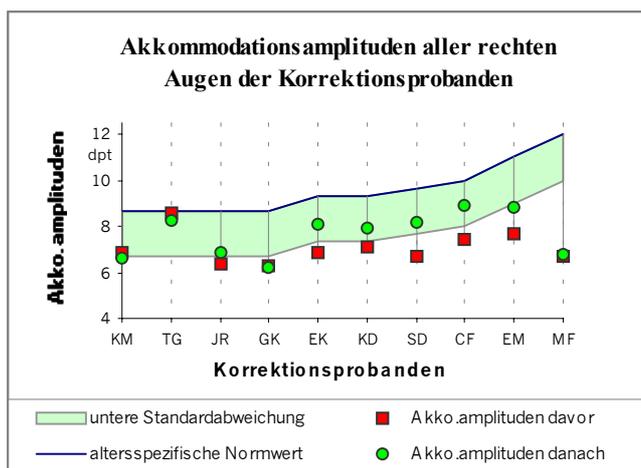


Diagramm 6.4-16

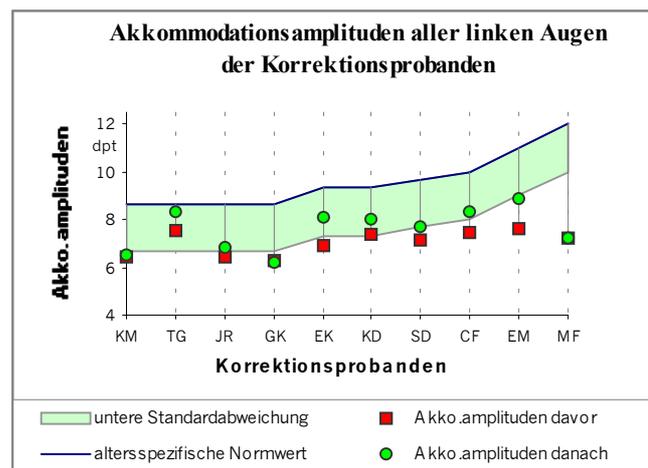


Diagramm 6.4-17

KD und SD hatten vorher auch auf dem rechten Auge eine geringere *AA* als links. Somit näherten sich die Werte einander an. Es sowohl die Dominanz der Augen als auch auftretende Hemmungen vor und nach der Prismenkorrektur zur Untersuchung der Ursachen für Verbesserungen berücksichtigt. Von 4 Probanden, die nur monokulare Verbesserungen zeigten, optimierte sich 3 mal die *AA* des dominanten, nicht gehemmten Auges (KD, CF, TG).

Eventuell bessern sich Sehfunktionen häufiger auf dem Führungsauge, das eventuell zuerst auf optimierte Sehbedingungen antwortet. Die ursprünglich vorhandenen Hemmungen konnten bei diesen Probanden vor der Nachkontrolle nicht gelöst werden. Daher reagierte eventuell das gehemmte Auge nur bedingt. Diese These kann im Fall von SD leider nicht bestätigt werden, da sich die *AA* des gehemmten nichtdominanten Auges um knapp 1,5dpt verbesserte und in dem dazugehörigen dominanten Auge nur um 0,55dpt.

Es verschlechterte sich kein Korrektionsproband um mehr als 0,29dpt. Diese Größenordnung (ca. 1cm) sollte gerade noch im Rahmen der Messtoleranzen liegen. Aus den generellen Erfolgen der Prismenkorrekturen in der Wiederherstellung optimaler sensorischer Verhältnisse, kann leider nicht eindeutig abgeleitet werden, warum diese Verbesserungen oder aber Stagnationen auftraten. Es zeigten sich jedoch parallel ebenfalls Verbesserungen in anderen Sehfunktionen, wie z. B. im Nahkonvergenzpunkt.

Einfluss des Anstiegs der AA auf den Nahkonvergenzpunkt (NPC)

Von den 6 Probanden, deren AA auf beiden Augen anstieg, konnten all diejenigen, die Defizite im NPC zeigten (JR, EM, GK, CF, SD), dieselben eindeutig reduzieren. Der NPC-Abreißpunkt stieg bei diesen Probanden um durchschnittlich 3,7cm, in einer Spanne von 2,5– 8cm. Die Werte des NPC - Wiedervereinigungspunktes konnten ebenfalls um durchschnittlich 4,4cm in einer Spanne von 2,0–10cm angehoben werden. Die Fusion wird bei der Messung des NPC erschwert, wenn das Netzhautbild durch reduzierte Akkommodationsamplituden unscharf wird. Aus diesem Grund könnte der gleichzeitige Anstieg der Nahkonvergenzpunkte mit einem Anstieg der Akkommodationsamplituden begründet werden. Es scheint kein direkter Zusammenhang zwischen beiden Sehfunktionen zu bestehen. Es kann allerdings vermutet werden, dass noch andere Faktoren in die Funktion eingreifen, da eine Probandin (EK) trotz eingeschränkter AA bis zur Nasenspitze ohne Probleme konvergieren konnte.

Verbesserung der AA und des NPC in der Kontrollgruppe

Von 3 auffälligen Kontrollprobanden stiegen die Akkommodationsamplituden nur in einem einzigen Fall (MF2) besonders stark auf beiden Augen um rund 2,25dpt. Eine weitere Probandin (KN) konnte ihren Wert auf dem linken Auge, das vorher die stärker eingeschränkte AA aufwies, um 1,65dpt optimieren. Beide Probandinnen blieben mit diesen Verbesserungen nur knapp unterhalb der Normspanne.

Der NPC verringerte sich bei gleichzeitiger Steigerung der AA nur bei der Probandin MF2 um 2,5cm. Weitere Verbesserungen des NPCs traten in der Kontrollgruppe von insgesamt 5 auffälligen Probanden jedoch nur noch bei einer weiteren Probandin (SF) auf. Ihr NPC stieg um 4cm, obwohl ihre Akkommodationsamplituden keine Defizite zeigten und sich auch nicht relevant verbesserten (0,25dpt). Es sieht so aus, als würden sich Reduktionen dieser beiden Sehfunktionen bei jedem Probanden in unterschiedlicher zeitlicher Abfolge bzw. auch unabhängig voneinander entwickeln. Trotzdem scheint ein Zusammenhang zu bestehen.

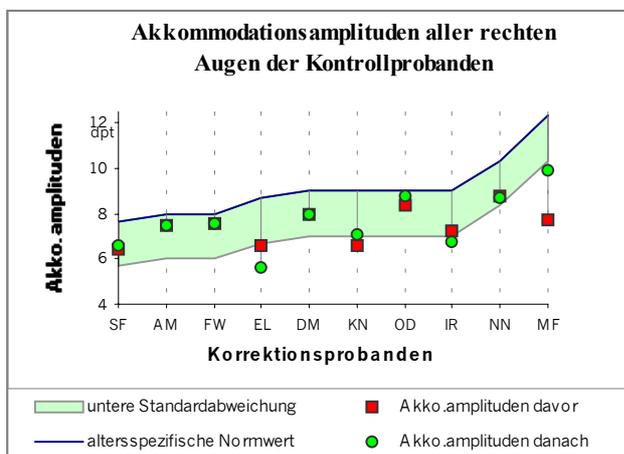


Diagramm 6.4.3-7

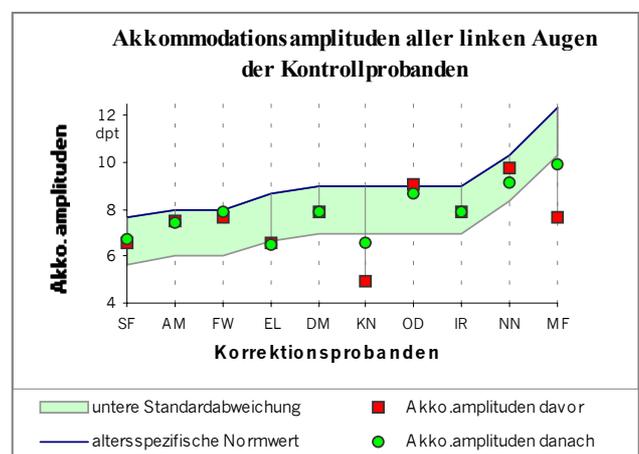


Diagramm 6.4.3-8

Insgesamt verschlechterten sich die Augen aller weiteren Probanden in der Akkommodationsamplitude um durchschnittlich $-0,07\text{dpt}$, in einer Spanne von $(-0,99$ bis $+ 0,47\text{dpt})$. Geht man davon aus, dass Schwankungen um eine halbe Dioptrie der Messwerttoleranz entspricht, so blieben 8 rechte und 7 linke Augen im Messwert stabil, wohingegen nur 4 rechte und 5 linke Augen der Korrektionsgruppe ähnlich geringe Schwankungen zeigten.

Der deutliche Anstieg der AA von der Kontrollprobandin MF2 ist im Zusammenhang mit den anderen Messergebnissen zu betrachten. Dieser läuft mit einigen weiteren Veränderungen im visuellen Status konform, bei denen auch bei der 2. Untersuchung signifikante Verbesserungen eintraten (NPC , sämtliche Vergenzbreiten, $FD_{(USA)}$). Selbst die MKH ergab bei der Nachkontrolle eine um die Hälfte verringerte Esophorie (von $9,75$ auf $5,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba). Der Anamnese zufolge scheint sich eine Phorie in ihrem Fall nur kurzzeitig, über einen Zeitraum starker psychischer Belastung (Prüfungsstress), sehr beeinträchtigend auf die Sehfunktionen ausgewirkt zu haben. Während der Schulferien verschwanden asthenopische Beschwerden und Einschränkungen in den Sehfunktionen sogar völlig.

Die Verbesserung von KN auf dem linken Auge näherte beiden Augen in ihren AA einander an. Daher könnte man davon ausgehen, dass KN bei der ersten Messung starke Hemmungen auf dem linken Auge aufwies. Sie zeigte auch während der MKH hauptsächlich auf dem linken Auge Hemmungen, was für die eben angeführte Annahme spricht. Dieser Anstieg der AA hatte jedoch keinerlei Auswirkungen auf die Messergebnisse anderer Einstellmechanismen, auch nicht auf ihren eingeschränkten NPC .

Statistische Auswertung der Änderung der Akkommodationsamplituden

Der Kolmogoroff-Smirnow-Test (K-S-Test) wurde als Anpassungstest für die Verteilung der Differenzen der Akkommodationsamplituden vor und nach der Korrektionszeit durchgeführt. Dieser ergab zur Annahme einer Normalverteilung für die Kontrollprobanden einen Widerspruch, jedoch nicht für die Prismenprobanden. Die Ursache für die Ablehnung einer Normalverteilung für die Differenzen der Kontrollprobanden wurde vermutlich durch die bereits erwähnten ausreißenden Messwerterhöhungen der Probandin (MF2 und KN) hervorgerufen.

Die weitere Untersuchung dieser Differenzmesswerte durch einen Einstichproben-t-Test ergab für die Stichprobenanzahl von 10 Probanden für $\alpha = 0,05$ mit dem Wert $t_{\text{Test}} = 4,427$, eine im Mittel signifikant nachweisliche Veränderung der Akkommodationsamplituden nach der Prismenkorrektionszeit. Für die Kontrollgruppe wurde für gleiche Bedingungen der Einstichproben-t-Test mit dem Wert $t_{\text{Test}} = 1,277$ berechnet. Diesem Ergebnis kommt hier nur orientierende Bedeutung zu, da die Voraussetzung der Annahme einer Normalverteilung für die Grundgesamtheit nicht bestätigt werden konnte. Es würde auf keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Messungen hindeuten. Mittels eines Zweistichproben-t-Testes wurde untersucht, ob sich die Mittelwerte der Messwertdifferenzen beider Gruppen signifikant unterscheiden. Für einen Vertrauensbereich für $\alpha = 0,01$ (Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% bezogen auf die Grundgesamtheit) ergab sich kein signifikanter Unterschied.

Das heißt, es trat eine signifikante Erhöhung der *AA*-Werte nach der Prismenkorrektion auf. Diese nachgewiesene Verbesserung zeigte jedoch keinen signifikanten Unterschied zu den veränderten Messwerten der K-Probanden. Daraus kann man schlussfolgern, dass in jedem Falle die Stichprobenanzahl zu klein war und daher die zwei ausreißenden Messwerte der Kontrollprobanden (MF2 und KN) besonders ins Gewicht fielen. Zudem traten bei den K-Probanden Verbesserungen auf, die entweder auf einen Lernerfolg der Probanden bei der Ausführung der Übung zurückgehen oder aber anzeigen, dass größere Schwankungen innerhalb der Messergebnisse an verschiedenen Tagen auftreten können, die in diesem Fall leider zufällig in die positive Richtungen gingen. Es kann jedoch auch vermutet werden, dass die Erstuntersuchung mittels der MKH bereits durch prismatische Stimulation bizenralen Sehens längerfristige Verbesserungen der Akkommodationsamplituden einiger Kontrollprobanden hervorrief.

Zusammenfassung

Es gab 5 signifikante Verbesserungen der Akkommodationsamplituden, die mit den angehobenen Werten den Normbereich trafen. Die Messwertänderungen zeigten keine signifikanten Verschlechterungen der *AA* innerhalb der Korrektionsgruppe. Dieses Ergebnis könnte auf das Tragen von Prismenvollkorrekturen zurückgeführt werden. 70% der Probanden waren in der Lage, ihre *AA* um durchschnittlich 0,96dpt zu verbessern. Damit ähnelt das Ergebnis, nach einer 2monatigen Prismenkorrektion, Cagnolatis Auswertungen aus dem Jahre 1987, der bei 16 Probanden nach 4-6 Wochen prismatischer Erstkorrektion in 75% aller Fälle einen Anstieg von 1,5dpt ermittelte (siehe Kap.4.2.1).

Dennoch bleibt zu berücksichtigen, dass innerhalb der Kontrollgruppe Messwertschwankungen in beide Richtungen in der Größenordnung von -0,99 bis + 2,29dpt auftraten. Das bedeutet, die *AA* kann generell bei auffälligen Probanden einer physiologischen Schwankung unterliegen, welche durch unterschiedlich starke Beanspruchung der Augen und die jeweilige Tageskondition der Probanden hervorgerufen werden kann [Methling, 1996, S.274].

Vernachlässigt man die Toleranz der einfachen Standardabweichung vom Normwert, so stellt man zudem fest, dass nahezu alle untersuchten Probanden reduzierte Akkommodationsamplituden besaßen. Entweder, die von Hofstetter ermittelte Formel schätzt generell die Akkommodationsamplituden für das jeweilige Alter zu hoch ein, oder aber, es besteht ein extrem starker Zusammenhang zwischen einer vorhandenen Einschränkung im Binokularsehen und verringerten Akkommodationsamplituden. Methling fand diesbezüglich eine starke Verbindung zwischen allgemein gestörtem Binokularsehen und Einschränkungen im maximalen Akkommodationserfolg [Methling D; 1996, S.118].

Welche Funktion im Binokularsehen dafür sorgt, dass sich die Akkommodationsamplituden reduzieren, bleibt noch offen. Es kann an dieser Stelle vermutet werden, dass die Existenz einer alten disparaten Korrespondenz zu dieser Beeinträchtigung führt. Bis auf 4 Probanden konnte bei allen anderen mindestens eine $FD_{(D)} II/3$ am Polatest festgestellt bzw. der Status aufgrund eines fehlenden Stereosehgleichgewichts nicht eindeutig bestimmt werden. Ab einer $FD_{(D)} II/3$ können Probanden nicht mehr auf bizenrales Sehen zurückgreifen. Crowding kann von diesem Stadium an im Monokularsehen eintreten [Ringleb, Vorlesung, SS 2001]. Daher könnte man vermuten, dass auch die In-

nervation der Akkommodation durch, ins Monokularsehen übergreifende, Hemmungen beeinträchtigt sein könnte. Diese Theorie wurde von den Ergebnissen der Untersuchungen nicht bestätigt. Eine Probandin mit einer $FD_{(D)} II/2$ hatte eine der größten Einschränkungen in den *AA* und 4 Probanden, bei denen in keiner der beiden Sitzungen ein Stereosehgleichgewicht erzielt werden konnte, zeigten Einschränkungen unterhalb 0,5dpt.

Einfluss auf die Vergenzdynamik im Zusammenhang mit anderen Sehfunktionen

In diesem Abschnitt wird untersucht, welchen Einfluss die prismatische Korrektur nach 2 Monaten Tragezeit auf die Vergenzdynamik nahm.

Bislang liegen keine Erkenntnisse darüber vor, wie MKH-Prismen die dynamischen Aspekte im Sehen beeinflussen. Cagnolati, Lie & Opheim und Methling konnten durch vollprismatische Korrekturen zumindest einen Anstieg in den Vergenzbreiten beobachten. Normale Vergenzbreiten sind Voraussetzung zur Durchführung des Vergenzdynamiktestes (*VF*). Trotzdem zeigen Menschen mit normgerechten Vergenzbreiten häufig Defizite in der *VF*-Testung.

In diesem Test werden pro Minute die Runden gezählt, in denen ein Proband abwechselnd durch 12cm/m Ba und 3cm/m Bi ein Objekt in 40cm Abstand klar und einfach auflösen kann.

Während bei der Konvergenzbreitenmessung die Prismen in kleinen Schritten kontinuierlich angehoben werden, müssen die Probanden für die Vergenzdynamik die verschiedenen Ansprüche an die fusionale Vergenz sprunghaft aufbringen. Wahrscheinlich spielt die Fusionskraft bei vorhandener Diplopie eine entscheidendere Rolle als die Fusionsbreite selbst. Das Vergenzsystem wird in dieser Übung innerhalb von einer Minute dauerhaft beansprucht. Oft können Probanden 3 bis 4 mal die gegebene Prismenstärke kompensieren und danach stellt sich Verschwommensehen oder Diplopie ein. Beide Zustände können in der Regel nach dem Aufgeben des Vergenz- oder Akkommodationsystems nicht mehr überwunden werden. Scheiman und Wick machten deutlich, dass gerade die dynamischen Tests Defizite in der Fusion aufdecken können, obwohl statische Werte der Norm entsprechen [Scheiman & Wick, 1994, S.13].

Dieser Sachverhalt konnte auch in dieser Studie belegt werden. Obwohl in der Kontrollgruppe bis auf eine Probandin (EM) alle weiteren statisch die geforderten Vergenzbeträge zumindest in der Nähe aufbringen konnten, bestand nicht ein Proband diesen Test. Man kann dem Diagramm 6.4-20 entnehmen, dass 2 Kontrollprobandinnen (EM, CF) gar nicht in der Lage waren, diesen Test auszuführen.

EM zeigte einen Akkommodationsexzess und zusätzlich eine Konvergenzinsuffizienz. Nach deutschem Kriterien wurde eine sensorisch verfestigte Esophorie/ Hyperphorie bestimmt. Es konnte kein Stereosehgleichgewicht hergestellt werden und außerdem lagen große Schwankungen in den MKH-Messwerten vor. Die Probandin war nicht in der Lage, in 40cm Entfernung über einen Wert von +1,25dpt hinaus negativ zu akkommodieren. Aus diesem Grunde waren *MAF*-, *NRA* und *BAF*-Werte stark eingeschränkt und zusätzlich die Konvergenzbreiten reduziert. Die Prismenkorrektur von 1,25^{cm}/m Ba; 1,5^{cm}/m BoR konnte EM in allen Messwerten anheben, jedoch blieb der Akkommodationsexzess unangetastet. Diese Probandin wurde daraufhin mittels Visualtraining therapiert. Im Kap. 6.5.2 werden die Hintergründe und der weitere Verlauf dieses Falles detailliert dargestellt.

CF zeigte ein ganz ähnliches Bild. Sie besaß ebenfalls einen Akkommodationsexzess und eine Konvergenzinsuffizienz, jedoch war sie nach deutschem Status mit vertikalem Anteil exophor. Sie hatte erstaunlicherweise Probleme mit Bi. Ihre Sehfunktionen zeigten fast identische Einschränkungen mit den bei EM ermittelten. Der einzige Unterschied bestand darin, dass sie keine Probleme mit dem NRA-Test aufwies. Aus diesem Grunde ist zu vermuten, dass dieser Probandin vor allem dynamische Aspekte Schwierigkeiten bereiteten.

In der Kontrollgruppe konnten, zumindest innerhalb der ersten Testung, 3 Probanden (OD, FW, SF) den Vergenzdynamiktest bestehen. Alle diese Probanden tendierten zur Nahesophorie, daher fiel es ihnen eventuell leichter, die hohen Ba-Werte und relativ niedrigen Bi-Werte zu kompensieren. Darüber hinaus sprechen keine weiteren Unterschiede zu anderen Probanden für dieses gute Ergebnis.

In der Korrektionsgruppe lagen vor der Prismenversorgung jedoch 6 Probanden schon relativ nah am Normwert. In der Kontrollgruppe gab es 4 weitere, die sich zusätzlich zu den 3 unauffälligen Probanden knapp unterhalb der Normgrenze befanden. Das heißt, die Kontrollgruppe zeigte, wie in anderen Sehfunktionen auch, etwas weniger Defizite in der Vergenzdynamik. Nach 2 Monaten Prismenkorrektion bestanden 8 Probanden diesen Test, wobei eine 9. Probandin (CF) sich zumindest von 0 auf 6 Runden steigern konnte. Durchschnittlich steigerten sich die Korrektionsprobanden um 7 Runden pro Minute (Min. $0^R_{/min}$ – Max. $7^R_{/min}$) während die Kontrollgruppe durchschnittlich sogar eine Runde unter den ersten Ergebnissen zurückblieb (Min. $0^R_{/min}$ – Max. $10^R_{/min}$). Ein Kontrollproband fiel nach der 2monatigen Kontrollzeit wieder aus der Norm. Es konnte sich kein weiterer Kontrollproband auf den Normwert verbessern. Im Diagramm 6.4-20 wurden die genauen Änderungen für jeden Probanden dargestellt.

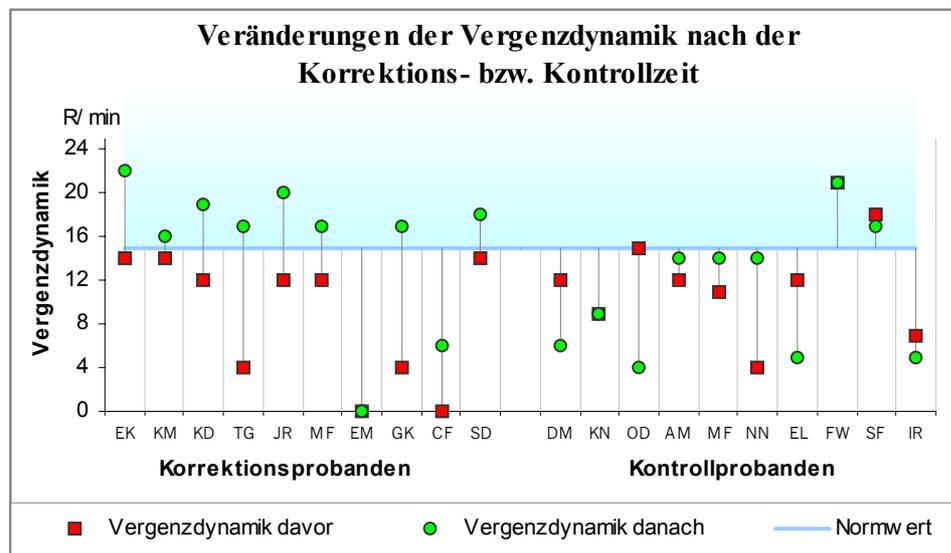


Diagramm 6.4-20

Man kann dem Diagramm weiterhin entnehmen, dass die Vergenzdynamik größeren Schwankungen unterliegen kann. In der Kontrollgruppe verbesserte sich eine Probandin (NN) um 10 Runden, ein anderer jedoch (OD) verschlechterte sich um 11 Runden. Es ist aus weiteren Messergebnissen nicht ersichtlich, warum diese Schwankungen auftraten.

Bis auf eine Erhöhung der Fernkonvergenzbreite, der vertikalen $FD_{(USA)}$ in der Ferne und einer Verbesserung der MAF -Werte blieben alle anderen amerikanischen Sehfunktionen für OD konstant. Bei

NN könnte ein Anstieg des Wiedervereinigungspunktes der negativen Vergenzbreite um $4^{\text{cm}}/\text{m}$ auf $8^{\text{cm}}/\text{m}$ die Verbesserung der Vergenzdynamik hervorgerufen haben. Es ist möglich, dass gerade dieser geringfügige Betrag fehlte, um von $12^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba kommend, dauerhaft Fusion zu erlangen.

Statistische Auswertung

Der Kolmogoroff-Smirnow-Test (KS-Test) konnte keinen Widerspruch zur Annahme der Normalverteilung für die Differenzen der Messergebnisse beider Probandengruppen ermitteln. Mittels eines Einstichproben-t-Testes wurden die Mittelwerte der Differenzen (Korrektion: $\mu = 6,6$ und Kontrolle: $\mu = -1,2$) für beide Gruppen dahingehend überprüft, ob sie signifikant von Null verschieden ausfielen. Nur für die Korrekionsgruppe konnte für $\alpha = 0,05$ ein eindeutig signifikanter Unterschied errechnet werden. Der Zweistichproben-t-Test konnte zusätzlich bestätigen, dass die Mittelwerte beider Gruppen für $\alpha = 0,01$ aus verschiedenen Grundgesamtheiten stammen. Somit ist der Nachweis erbracht, dass die durchschnittliche Verbesserung der Vergenzdynamik aller Korrekionsprobanden mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,01$ signifikant ist.

Schlussfolgerungen

Für die Auswertung der Vergenzdynamik lag leider kein Hinweis vor, aufgrund welcher Zusammenhänge die genannten Verbesserungen eingetreten sind. Keine der Vermutungen ließ sich jedoch verallgemeinern, weil stets Ausnahmen gefunden wurden, die sich in den Relationen genau entgegengesetzt verhielten. Es scheint jedoch Parallelen zu den Ergebnissen des *BAF*-Testes zu geben. In diesem Test wird neben der Akkommodationsdynamik auch die Vergenz getestet. Es lassen sich daher binokulare Akkommodationsänderungen (*BAF*) von $\pm 2,0\text{dpt}$ im Nahbereich nur aufbringen, wenn über die AC/A-CA/C-Kopplung der entstehende Vergenzbetrag ebenfalls kompensiert werden kann. Diejenigen Kontrollprobanden, die sich deutlich zwischen Werten von $6\text{--}13^{\text{R}}/\text{min}$ steigern konnten, zeigten zusätzlich Verbesserungen in ihren *BAF*-Werten zwischen 3 und $10^{\text{R}}/\text{min}$. (Ausnahme: die Kontrollprobandin NN, deren *VF*-Wert ebenfalls enorm anstieg, verschlechterte sich jedoch sogar um $10^{\text{R}}/\text{min}$ im *BAF*-Wert!)

Nicht immer stieg dabei auch die monokulare Akkommodationsdynamik an. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass die MKH-Prismen durch Herstellung sensorisch verbesserter Zustände, hauptsächlich das Vergenzsystem optimieren konnten. In der 2. MKH-Messung sind an sensorischen Testen bei allen Probanden (außer bei CF) wesentlich weniger Prismen ermittelt worden (Reduktion zwischen $0,5$ und $5,0^{\text{cm}}/\text{m}$). Bei Probandin GK bestand zum Zeitpunkt der amerikanischen Testung durch gelösten Tonus sogar ein gleich hoher motorischer Anteil ($6,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba), obwohl sich ihr *VF*-Ergebnis am meisten verbessern konnte. Da ihre Vergenzbreiten zusätzlich enorm angehoben werden konnten, scheint eher der verbesserte sensorische Zustand die Änderungen hervorgerufen zu haben.

Einfluss auf die monokulare Akkommodationsdynamik in Zusammenhang mit anderen Sehfunktionen

In Kap. 3.1.2[8] wurde die Testung der monokularen Akkommodationsdynamik vorgestellt.

Von 11 auffälligen Probanden beider Gruppen hatten 8 Probleme mit Plus, 2 mit Minus und 3 mit beiden Werten. Bei dieser Verteilung scheint die Phorierichtung keine Rolle zu spielen, da alle Kombinationen vertreten waren. Vielmehr ist anzunehmen, dass diesen Defiziten sensorische Störungen zugrunde liegen. Die MKH-Statusbestimmung konnte jedoch diese Vermutung nicht belegen. Z.B. hatte ein Proband mit einer eindeutigen $FD_{(D)}$ II/ 4 keine Probleme mit dem *MAF*-Test, dafür jedoch eine Probandin, die eine weniger verfestigte $FD_{(D)}$ II/ 1 besaß.

Skeffington und Birnbaum gehen davon aus, dass bei einigen Probanden, zur Vermeidung von Nahpunktstress in Form einer kompensatorischen Adaptation des visuellen Systems, die Akkommodation blockiert, um sich bei Naharbeit vor Überkonvergenzen zu schützen.

Ein Akkommodationsexzess entsteht häufig in Fällen von Nahexophorien, da akkommodative Vergenz genutzt wird, um zu konvergieren. Nach längerer Naharbeit kann es in diesen Fällen durch Krämpfe des Ziliarkörpers zu temporären Pseudomyopien kommen. Ein Symptom hierfür sind Probleme des zeitweiligen Verschwommensehens beim Fokuswechsel Nähe-Ferne.

Der Anamneseuntersuchung der Korrektionsgruppe konnte entnommen werden, dass 7 Probanden (EK, KM, KD, MF1, EM, CF, SD) diesbezüglich Probleme aufwiesen. In der *MAF*-Testung erreichten 6 Probanden den Normwert nicht. In dieser Zahl sind 2 Probanden (KD,SD), die Probleme äußerten, nicht enthalten. 1 Proband (TG), dem keine Probleme bewusst waren, kam hinzu. Daraus könnte man schlussfolgern, dass es zwischen auftretenden Beschwerden und *MAF*-Messergebnissen Parallelen gibt, jedoch nicht ausnahmslos.

Alle Korrektionsprobanden (außer SD), die laut Anamnese oder aber *MAF*-Test auffällig waren (8 von 10), hatten im prismatisch unkorrigierten Zustand an den amerikanischen FD -Testen in der Nähe eine $Exo-AP_{(USA)}$. Im korrigierten Zustand besaßen nur 6 dieser Probanden am Polatest eine Nahexophorie, unter anderem auch die bis dahin unauffällige SD. Da alle diese Probanden ebenfalls Probleme mit Plus aufwiesen (Akkommodationsexzess), könnte man schlussfolgern, dass eine durch Hemmungen bedingte Nahexophorie sehr häufig zu Desakkommodationsproblemen führen kann, die den Probanden in der Mehrheit bewusst Probleme bereiten.

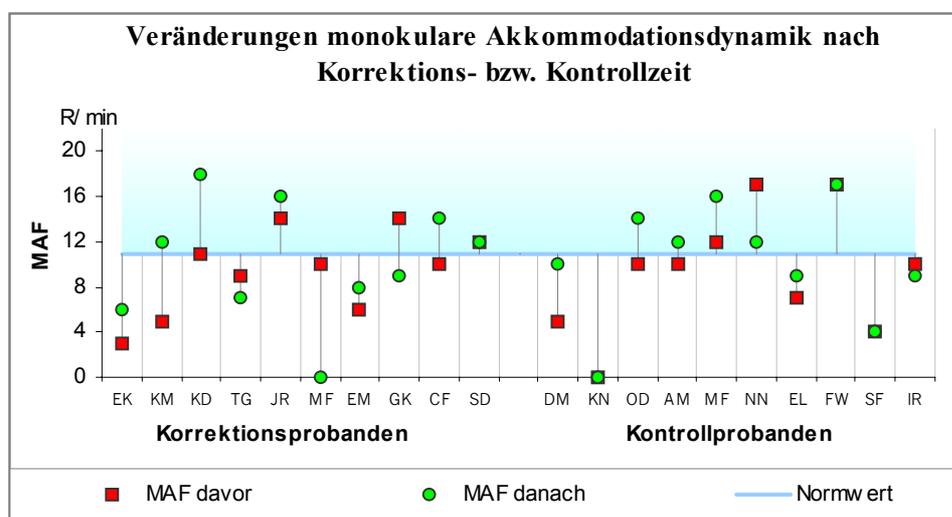


Diagramm 6.4-21

6 dieser Probanden gaben von sich aus an, sie hätten durch die Prismenbrille weniger Probleme mit Entfernungswechsel. Zwei von ihnen haben sich jedoch in den *MAF*-Werten verschlechtert (GK, MF1). SD nahm keine Veränderung ihrer Beschwerden wahr, eine im *MAF*-Ergebnis war ebenfalls nicht zu verzeichnen.

In der Sehfunktion der monokularen Akkommodationsdynamik haben von 6 auffälligen Probanden nach der Prismenkorrektionszeit nur 2 (KM, CF) den Normwert überschritten, trotzdem konnten sich 6 Probanden (siehe Diagramm 6.4-21) in ihren Werten von $2-7^R_{\min}$ steigern.

Auch in der Kontrollgruppe waren 4 Probanden in der Lage, sich geringfügig zu verbessern (DM, OD, AM, EL).

DM steigerte sich am meisten (5 Runden). Sie hatte vorher an diesem Test starke Probleme mit Pluswerten. Gleichzeitig lagen die *FCC*-Ergebnisse mit -1,5dpt weit im Minus. Bei der zweiten Testung stiegen die *FCC*-Werte um 0,5dpt an. Daraus ließe sich schlussfolgern, dass sich ein Akkommodationskrampf leicht gelöst haben könnte und dies zur Erhöhung des *MAF*-Testes beitrug.

Bei OD (4 Runden mehr) verringerte sich nach 2 Monaten Semesterferien die Eso-HP und Eso-AP_(D) um $2-3^{\text{cm}}_{\text{m}}$. Vielleicht konnte sich damit auch die Akkommodationsinsuffizienz etwas lösen.

Betrachtet man die Veränderungen aller Probanden im Diagramm 6.4-21, so fällt auf, dass in der Korrektionsgruppe wesentlich höhere Schwankungen (10^R_{\min}) auftraten. Es sieht ganz danach aus, als hätten die Prismen eine verändernde Wirkung gehabt, jedoch nicht immer in die positive Richtung.

Die Korrektionsprobandin MF1 war mit prismatischer Korrektion nicht in der Lage, diesen Test durchzuführen, obwohl sie bei der ersten Messung 10^R_{\min} erreichte. Es verschlechterten sich ebenfalls TG (geringfügig) und GK, die sonst größtenteils Verbesserungen der Sehfunktionen aufwiesen. Auch in der Kontrollgruppe reduzierte sich gegenüber der ersten Messung die Rundenanzahl einer Probandin (NN) um 5 Runden. Dabei gibt es zwischen GK und NN Gemeinsamkeiten. Beide hatten erstmals Probleme mit Minus und außerdem einen Esophorieanstieg zu verzeichnen. Bei GK rutschte Tonus nach (6^{cm}_{m} Ba), der im Gegensatz zur ersten Messung fast vollständig motorisch kompensiert wurde. Auch bei NN konnte in der 2. MKH-Messung erstmals eine Esophorie aufgedeckt werden, die gegenüber der ersten Sitzung alle Testwahrnehmungen wesentlich stabilisieren konnte. In der Kontrollgruppe gab es noch einen weiteren Fall einer moderaten Esophorie ohne Nahesophoretendenz mit Minus-Problemen. Aus diesem Grunde ist anzunehmen, dass Skeffingtons Theorie zwar nicht ausnahmslos, jedoch häufig bei Probanden mit Nahesophoretendenzen angewandt werden kann. Durch eine blockierte Akkommodation, reduziert sich die Esophorie, zumindest in der Nähe, und bereitet weniger Probleme bei der Naharbeit. Diese Vermutung bestätigten die *FCC*-Ergebnisse, die in 2 der genannten Fälle höhere Pluswerte (Unterakkommodationen) zeigten.

Es sieht so aus, als würden sich *VF* und *MAF* kaum gegenseitig beeinflussen, da es auch in der Korrektionsgruppe 3 Probanden gab, die trotz verschlechterter *MAF*-Werte mehr Runden des *VF*-Testes absolvieren konnten.

Refraktive Stabilität

In dem folgenden Abschnitt soll untersucht werden, ob sich durch prismatische Korrekturen Refraktionswerte verändern können.

Im Kap. 5.4 wurde dargestellt, dass AC/A und CA/C über einen geschlossenen Regelkreis interagieren. Bestehen hohe Vergenzansprüche an das visuelle System, so erhöht sich gleichzeitig, durch die Kopplung der beiden Systeme, der Akkommodationsaufwand. Dieser reduziert sich nur, wenn die fusionale Vergenz durch den Aufbau eines plastischen Tonus abgebaut werden kann.

Im Kap. 5.3.3 wurde vermutet, dass der Polatest, selbst nach amerikanischer Auffassung, am ehesten in der Lage sein müsste, Akkommodations- und Vergenzansprüche auf Null zu reduzieren, weil die Testauswanderungen schrittweise korrigiert werden.

	Am 1	MKH1	Am 2	MKH2	Am 1	MKH1	Am 2	MKH2	Am 1	MKH1	Am 2	MKH2	Am 1	MKH1	Am 2	MKH2
	R	R	R	R	L	L	L	L	R	R	R	R	L	L	L	L
	sph	sph	sph	sph	sph	sph	sph	sph	cyl	cyl	cyl	cyl	cyl	cyl	cyl	cyl
Korrektionsprobanden																
EK	0,00	-0,25	0,00	0,00	+0,25	-0,25	+0,25	0,00				-0,25	-0,50	-0,50	-0,50	-0,75
KM	+1,25	+1,25	+1,00	+1,00	+1,75	+1,25	+1,25	+1,50	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,50	-0,50	-0,75	-0,75
KD	-0,25	0,00	0,00	0,00	-0,25	-0,25	0,00	0,00		-0,25	-0,25	-0,25		0,00	-0,25	-0,25
TG	-0,50	-0,75	-0,50	-0,50	-0,25	-0,50	0,00	-0,25			-0,25	-0,25	-0,50	-0,50	-0,50	-0,75
JR	+0,75	+0,75	+0,75	+1,00	+1,00	+0,75	+0,75	1,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25			-0,25
MF1	+0,25	+0,25	+0,50	+0,50	+0,50	+0,25	+0,25	+0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,75	-0,50	-0,50	-0,50
EM	+2,00	+2,00	+2,00	+2,00	+1,75	+2,00	+2,00	+2,00	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25				
GK	0,00	0,00	+0,25	0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,50	-0,50	-0,25	-0,25	-0,50	-0,50
CF	+0,25	+0,25	+0,25	0,25	+0,25	0,00	0,00	0,00	-0,25	-0,25	-0,25	0,00	-0,25	-0,25	-0,25	-0,50
SD	0,00	0,00	0,00	0,00	+0,50	0,00	0,00	0,25	-0,25	-0,25	-0,50	-0,50	-1,50	-1,25	-1,50	-1,50
Kontrollprobanden																
DM	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
KN	-0,25	-0,5	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-0,75	-1,00	-1,00
OD	0,00	0,00	0,00	0,00	+0,25	0,00	0,00	0,00	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
AM	-3,25	-3,25	-3,25	-3,25	-3,50	-3,50	-3,50	-3,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75
MF2	0,00	0,00	-0,25	0,00	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	0,00	-0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
NN	-4,00	-3,75	-4,00	-3,75	-4,50	-4,25	-4,50	-4,25	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,75	-0,75	-0,75
EL	-0,25	-0,50	-0,50	-0,25	-0,50	-0,75	-0,75	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,25	-0,50	-0,50	-0,50
FW	-0,50	-0,25	-0,25	-0,25	-0,50	-0,25	-0,25	0,00	-0,50	-1,00	-0,75	-0,75	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
SF	-1,25	-1,25	-1,50	-1,25	-1,50	-1,50	-1,75	-1,50	-0,25	-0,25			-0,50	-0,50		
IR	-2,00	-1,75	-1,75	-1,75	-1,75	-1,75	-1,75	-1,75	0,00	-0,25	-0,25	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
Legende:	AM1 und 2: amerikanische Messreihe 1 und 2										Richtung Plus oder weniger Minus					
	MKH1 und 2: MKH-Messung 1 und 2										Zylindererhöhung					
	sph: Sphäre										Änderung von 0,5 dpt					
	cyl: Zylinder								R u. L		rechtes bzw. linkes Auge					

Tabelle 6.4-4

Innerhalb der MKH-Korrekturen gab es zwei Fälle (EM, SD), die mit der prismatischen Vollkorrektur (5,0 bzw. 1,5^{cm}/m Ba) über einen Eingewöhnungszeitraum von 2 Wochen permanent verschwommen gesehen haben. Die Korrektur wurde im Fall EM auf 1,25^{cm}/m Ba abgeschwächt (Werte schwankten enorm). Im Fall SD wurde die Basislage sogar umgekehrt. SD wies einen permanenten Widerspruch des Kreuz- und Zeigertestes auf. Die Zeigertestkorrektur (1,5^{cm}/m Ba, 0,75^{cm}/m BoR) wurde nicht vertragen, die Kreuzkorrektur (1,5^{cm}/m Bi, 0,5^{cm}/m BoR) dagegen sehr gut. Alle amerikanischen Tests, einschließlich der $FD_{(USA)}$ -Kurventypen, deuten jedoch darauf hin, dass SD esophor ist. Trotzdem verbesserten sich durch die Bi-Kreuzkorrektur die AA (rechts), der

NPC und die Fernvergenzbreiten wesentlich und die Nahkonvergenzbreite und *VF* geringfügig. Die *FCC*- und *BAF*-Ergebnisse verschlechterten sich tendenziell eher in Richtung Esophorie. Es ist anzunehmen, dass die Stabilisierungen der Sehfunktionen auf die, eine Fusion verbessernde, zylindrische Vollkorrektur des linken Auges von $-1,5\text{dpt}$ zurückzuführen ist und nicht auf die prismatische Korrektur (wenn doch, dann durch die vertikalen Prismen). Die Verschlechterungen können von den $1,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi hervorgerufen worden sein. An dieser Stelle sei erwähnt, dass in ähnlichen Zusammenhängen zwei weitere Exophorie Fälle Defizite in *FCC*- oder anderen binokularen Testen für Minuswerte entwickelten (z.B. KM, CF). Alle diese Fälle unterstützen die Theorie der Verhaltensoptometrie, die besagt, dass Exophorien nur spezielle Formen von Adaptationen eines visuellen Systems an Überkonvergenzerscheinungen sind (siehe Kap. 5.5).

Aus der Tabelle 6.4-4 kann entnommen werden, dass generell keine großen Schwankungen in der sphärozyklischen Korrekturen auftraten. In 4 Fällen der Korrektionsprobanden und in 1 Fall der Kontrollprobanden traten Schwankungen in der Sphäre von maximal $0,5\text{dpt}$ auf.

Trotzdem ist ein Unterschied innerhalb der Refraktionswerte zwischen der 1. MKH und der 2. amerikanischen Messreihe, nach 2 Monaten Prismenkorrektur, bei mehreren Korrektionsprobanden zu erkennen.

Bei diesen esophoren Probanden (EK, TG, MF) stieg die Sphäre auf beiden Augen gleichmäßig um $+0,25$ bis $+0,5\text{dpt}$ an. Die 3 Probanden wiesen die Gemeinsamkeit auf, dass sie im prismatisch unkorrigierten Zustand zu Nahexophorien neigten und einen Akkommodationsexzess besaßen.

Es gibt zwei Möglichkeiten, um die Frage zu klären, warum die genannten Änderungen im Akkommodationstonus hauptsächlich bei diesen Korrektionsprobanden auftraten. Entweder wurde sie durch die Reduktion von Nahexophorietendenzen hervorgerufen, die weniger Unterstützung der Konvergenz durch akkommodative Vergenz erfordert. Oder aber, die prismatische Reduktion der fusionalen Divergenz rief die Entlastung der Akkommodation hervor. Nach dem Regelkreismodell Schors wäre zu erwarten, dass bei einer Reduktion der fusionalen Divergenz weniger akkommodiert werden muss.

Es konnte sich jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die jeweiligen Ba-Korrekturen ein vorher bestehender Akkommodationstonus minimal entspannen. Vor allem bei EK hat sich diese Vermutung bestätigt, da diese Probandin vorher häufig über Perioden kurzzeitiger Myopie klagte, die mit prismatischer Korrektur kaum bzw. nur noch kurzzeitig auftraten (siehe auch Kap. 6.5.2).

Bei einer zusätzlichen Probandin (GK) wird vermutet, dass das rechte Auge nur deshalb $+0,25\text{dpt}$ Sphäre annahm, weil sich gleichzeitig der Zylinderwert um $-0,25\text{dpt}$ erhöhte.

Vergenzbreiten

In diesem Abschnitt werden die Vergenzbreitenänderungen in der Korrektions- und Kontrollgruppe analysiert. Die Diagramme 6.4-22 bis 25 geben Auskunft über die einzelnen Messwerte aller Probanden. Alle Werte, die unterhalb der blauen Normwertlinie liegen, sind auffällig.

Beim Vergleich dieser Diagramme wird deutlich, dass die Konvergenzbreiten in der Kontrollgruppe höhere Schwankungen aufwiesen. Diese Ergebnissen gehen mit der von Scheiman & Wick angege-

benen hohen Standardabweichungen konform, die aus diesem Grund in der praktischen Auswertung zur Einstufung von defizitären Vergenzbreiten nicht berücksichtigt wurden.

Innerhalb einer *CI*-Studie von 2002 sind 20 unauffällige Schulkinder der 6. Klasse dahingehend untersucht worden, ob und inwiefern sich die 4 Kriterien zur Diagnose von Konvergenzinsuffizienz (Heterophorie, *AA*, *NPC* und Konvergenzbreiten) innerhalb einer und darüber hinaus zwischen verschiedenen Untersuchungen reproduzieren ließen. In den ersten 3 Diagnosekriterien wurden gute Ergebnisse für Testwiederholungen erzielt. Leider stellte man für Konvergenzbreitenmessungen klinisch signifikante Messwertunterschiede fest, die bis zu $12^{cm}/m$ Differenz aufwiesen [Rouse, Borsting, Deland; 2002; S.254].

Aus diesem Grund ist es nur bedingt möglich, Veränderungen der Konvergenzbreitenmessungen auszuwerten.

Fern-Konvergenzbreiten

Sowohl in der Korrekptions- als auch in der Kontrollgruppe zeigten knapp die Hälfte aller Probanden (4 bzw. 5) in der Ferne etwas zu niedrige Konvergenzabreißpunkte. Es verbesserten sich in der Korrekptionsgruppe 8 Probanden in ihren Werten zwischen $2-25^{cm}/m$ um durchschnittlich $11,75^{cm}/m$. Von ihnen stiegen alle 4 auffälligen Probanden in die Norm auf. In der Kontrollgruppe gab es ebenfalls 6 Probanden, deren Werte in einer Spanne von $8-32^{cm}/m$ um durchschnittlich $13,8^{cm}/m$ anstiegen. Hier überschritten nur 3 der 5 auffälligen Probanden den Normwert. Es ist nicht auszuschließen, dass durch die wiederholte Messung ein Lerneffekt auftrat.

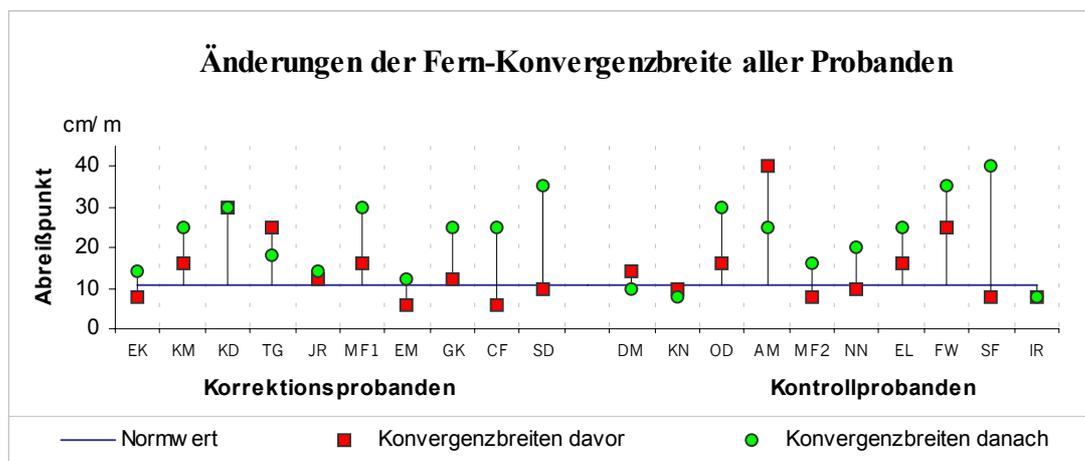


Diagramm 6.4-22

Fern-Divergenzbreiten

In den Ferndivergenzbreiten konnten sich alle vorher auffälligen Korrekptionsprobanden (EK, EM, SD) mit $4-10^{cm}/m$ höheren Werten in die Norm verbessern. Ein Proband (TG) fiel in der zweiten Messung, trotz Prismenkorrektion, aus der Norm heraus.

Im Gegensatz zu den Fernkonvergenzen blieben die Divergenzbreiten in der Kontrollgruppe relativ stabil. Werte änderten sich nur bei 4 Probanden (DM, OD, MF, SF) zwischen $2-6^{cm}/m$. Die Probandin SF zeigte dabei einen großen Werteanstieg von $6^{cm}/m$.

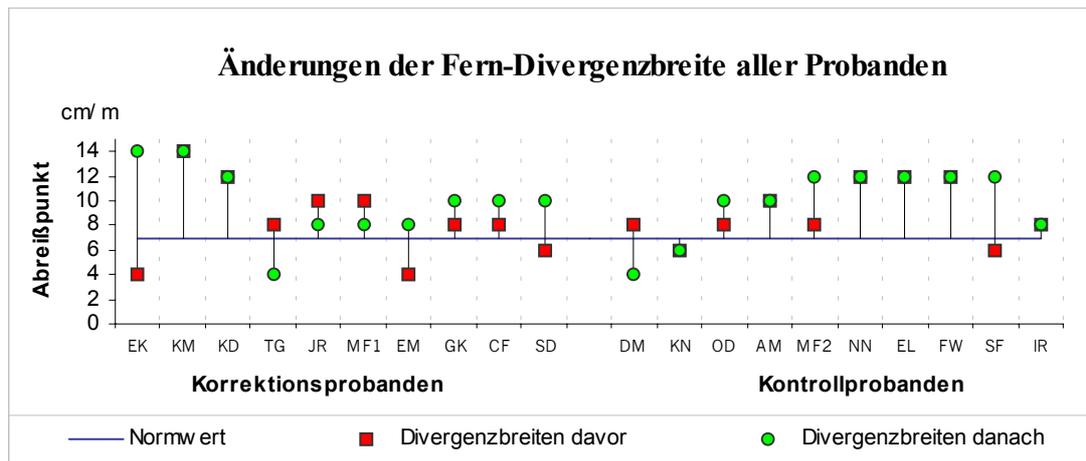


Diagramm 6.4-23

Nah-Konvergenzbreiten

Im allgemeinen waren die Nahvergenzbreiten bei fast allen Probanden deutlicher reduziert als die Fernvergenzbreiten.

8 von 10 Korrektionsprobanden verbesserten sich in den Nahkonvergenzbreiten in einer Spanne von 5-33^{cm}/_m. Dabei stiegen 4 von 5 auffälligen Probanden in die Norm auf. In der Kontrollgruppe hingegen blieben die Werte bei der Mehrzahl relativ stabil. Das heißt, 4 Probanden hatten konstante Werte und 4 weitere schwankten zwischen 2-5^{cm}/_m hauptsächlich in die positive Richtung. Es gab jedoch zwei Kontrollprobandinnen (MF2, SF), die sich enorm (über die Spannen der oben vorgestellten *CI*-Studie hinaus) zwischen 14-20^{cm}/_m verbessern konnten.

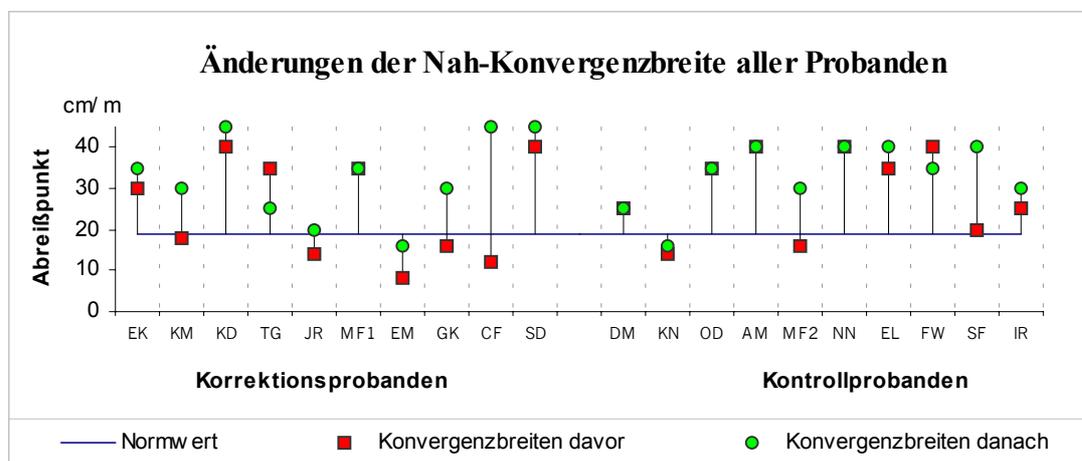


Diagramm 6.4-24

Nah-Divergenzbreiten

8 Korrektionsprobanden und 6 Kontrollprobanden zeigten Defizite in den Nah-Divergenzbreiten. Es konnten sich nur 2 Korrektionsprobanden (KD; EM) auf den Normwert verbessern. Die Hälfte aller weiteren Probanden reduzierten sich um 2^{cm}/_m und die andere Hälfte blieb im Wert konstant.

In der Kontrollgruppe lagen hingegen 5 Verbesserungen (OD, MF2, NN, FW, IR) in Höhe von 2–10^{cm}/m vor. Dabei stiegen 2 Probanden (FW, IR) in die Norm auf. Neben 2 weiteren geringfügigen Verschlechterungen, gab es eine klinisch signifikante Reduktion von -10^{cm}/m (EL).

Interessant ist, warum sich in dieser Sehfunktion die Relation umkehrte und die Korrekptionsprobanden im Wert konstant blieben bzw. sogar Reduktionen zeigten. Da es sich hauptsächlich um esophore Probanden handelt, könnte eine mögliche Ursache hierfür darin zu finden sein, dass sich Tonus löste, der durch verbesserte sensorische Zustände hauptsächlich motorisch kompensiert wurde und somit die Nahdivergenzbreite reduzierte. Diese Vermutung bestätigte sich jedoch nicht für die Ferndivergenzbreite. Zudem hatten einige Probanden verbesserte Ergebnisse in der Vergenzdynamik, die anfänglich Probleme mit Bi zeigten. Aus diesen Gründen bleibt die Ursache zunächst ungeklärt.

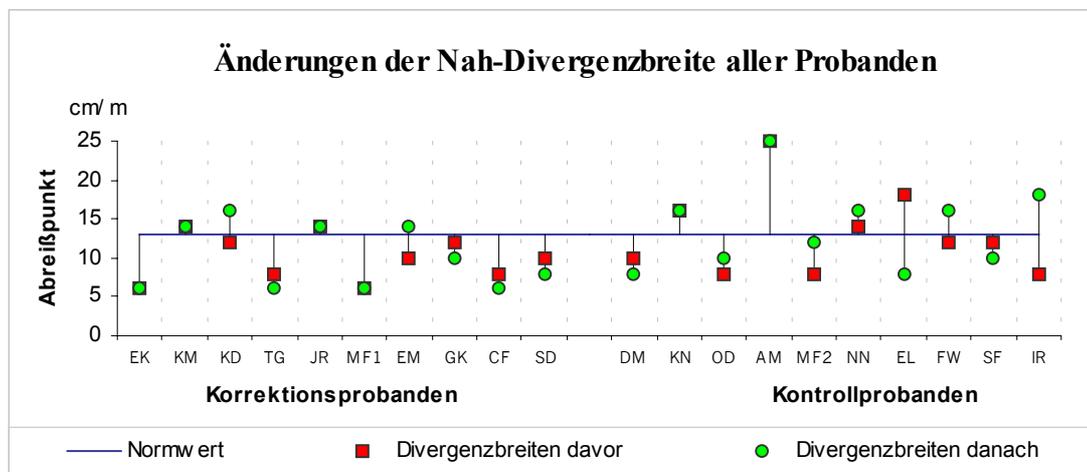


Diagramm 6.4-25

Fallspezifische Veränderungen

Die Korrekptionsprobandin EM konnte sich in allen Vergenzbreiten gleich stark verbessern, wobei die Vergenzdynamik durch einen konstanten Akkommodationsexzess unangetastet blieb.

Bis auf die Nahdivergenzbreite optimierten sich alle weiteren Fusionsrichtungen für die Probanden EK, GK, CF, SD. Sie alle (einschließlich EM) haben die Gemeinsamkeit, dass gleichzeitig die Akkommodationsamplituden anstiegen (außer GK, da unauffällig), sich die Nahkonvergenzpunkte reduzierten (außer EK, da unauffällig) und der Visus monokular oder binokular durch die Prismenkorrektur angehoben werden konnte (außer SD). Aus diesem Grunde könnte vermutet werden, dass vor allem ein verbesserter sensorischer Status, nach deutscher Definition, die Erhöhung der Vergenzbreiten ausgelöst haben könnte.

Leider gibt es einen ganz ähnlichen Fall (TG), der sich in allen Vergenzbreiten verschlechterte, obwohl er ebenso sensorische Verbesserungen zeigte. In der amerikanischen Messreihe stiegen seine Ergebnisse der Augenbewegungen und des NPCs, der Vergenzdynamik, der binokularen Akkommodationsdynamik und des FCC sogar in die Norm auf. Da dieser Proband außerordentlich hohe Konvergenzbreiten besaß, ist die Verringerung eher positiv, als ein Zeichen der Reduktion von funktionaler Divergenz, zu werten. In der Divergenzbreite der Ferne wurde dieser Proband jedoch in der 2. Messung auffällig, obwohl selbst nach deutschem Status, alles für eine Herstellung eines senso-

risch verbesserten Zustandes sprach (z.B. Reduktion der korrigierten Nahexophorie, sensorische Teste waren in Nachkontrolle unauffällig). Es hatte sich jedoch etwas Tonus im Betrag des ursprünglichen motorischen Anteils gelöst ($2^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba). Aus diesen Gründen kann keine direkte Ursache aus den Messergebnissen abgeleitet werden. Möglicherweise unterlagen die Ergebnisse zufälligen Messwertschwankungen.

Ähnlich hohe Werteerhöhungen erzielten innerhalb der Kontrollgruppe nur 2 Probandinnen (MF2, SF). Wie schon in der Auswertung anderer amerikanischer Testergebnisse erwähnt, stabilisierte sich in diesen Fällen der binokulare Status in der Kontrollzeit aus ungeklärten Gründen.

Allgemeine Aussagen zum Erfolg der Prismenkorrekturen nach amerikanischen

Kriterien

Bei keinem der Korrektionsprobanden konnten 2 Monate prismatischer Vollkorrektion alle Sehfunktionen in die Norm anheben. In 3 Fällen konnten 8 – 11 auffällige Sehfunktionen auf jeweils 4 reduziert werden. Auch in der Kontrollgruppe gab es Probanden, welche ohne Prismenkorrekturen die gleiche Anzahl an Defiziten zeigten.

Ursache für fehlende vollständige Reduktionen von Sehfunktionsstörungen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Umstand, dass zumindest bei 8 von 10 Probanden die Korrektur in den 2 Monaten nicht stabil geblieben ist.

Im Kap. 7.4 konnte diesbezüglich ermittelt werden, dass 3 orthophore asymptotische Probanden, in mindestens 18 von 19 Sehfunktionen oberhalb des Normwertes lagen. Aus diesem Grund kann man annehmen, dass sich die Sehfunktionen weiter verbessern, wenn die $AP_{(D)}$ in voller Höhe aufgedeckt worden ist und danach sensorische Rückstellungsprozesse fortschreiten. Es wird vermutet, dass beide Prozesse gerade bei diesen schwierigen Fällen einen relativ langer Zeitraum benötigen würden, um das Binokularsehen in vollem Umfang zu stabilisieren.

Zwei weitere Probandinnen (EK, SD), die nur geringfügige Veränderungen der Korrekturwerte in den Nachkontrollen zeigten, beweisen, dass sich Sehfunktionen trotz relativ kontinuierlich getragenen Prismenkorrekturen nicht innerhalb von 1-2 Monaten vollständig optimieren können.

Weitere Hinweise zur Bestätigung dieser These lieferte die Studie Lie und Opheims, in der Einstellmechanismen, wie z.B. Ferndivergenzbreiten und NRA, trotz stabiler Korrekturen erst nach einem Jahr angesprochen wurden. (siehe Kap. 4.2.2).

In den gegebenen Korrektionsfällen konnten sich Akkommodationsamplituden sowie Vergenzdynamik und Fernvergenzbreiten relativ schnell an die optimierten Sehbedingungen anpassen. Sehfunktionen, wie die monokulare Akkommodationsdynamik und Nahdivergenzbreiten verbesserten sich in diesem Korrektionszeitraum nur bedingt. In den Augenfolgebewegungen traten, im Gegensatz zu den Kontrollprobanden, nach 2 Monaten prismatischer Korrektur ebenfalls häufig Verbesserungen auf.

Es ist anzunehmen, dass sich Prismenkorrekturen zunächst hauptsächlich auf statische und dynamische Binokularfunktionen auswirken. Da sensorisch verfestigte Zustände nur langsam auf das Monokularsehen übergehen, scheinen ebenso Rückführungsvorgänge mehr Zeit zu benötigen, um monokular dynamische Aspekte anzusprechen.

Bei einer eingeschränkten Akkommodationsdynamik wäre zu erwarten, dass Blickwechsel trotz Prismenkorrektur Probleme bereiten könnten. Es könnten in diesem Zusammenhang starke Probleme zumindest in der Mehrzahl in gelegentlich auftretende gewandelt werden.

Im Kap. 7.4.2 wurde zudem eine orthophore Probandin getestet, die in allen Einstellmechanismen Normwerte präsentierte und trotzdem eine eingeschränkte monokulare und binokulare Akkommodationsdynamik aufwies. Dieser Probandin sind ebenfalls keine Sehstörungen aufgefallen. Aus diesem Grunde kann vermutet werden, dass durch unnatürliche Sehbedingungen während der Messsituation Defizite ermittelt werden, die nicht immer auch einen praktischen Bezug zu den subjektiven Beschwerden des Probanden herstellen können. Eventuell werden Einschränkungen einzelner Sehfunktionen auch durch andere überdurchschnittlich arbeitende Mechanismen aufgefangen. Diesbezüglich müsste eine größere Studie initiiert werden, die das Sehen orthophorer Menschen im Zusammenhang mit Verarbeitungsprozessen in der visuellen Kortex untersuchen kann.

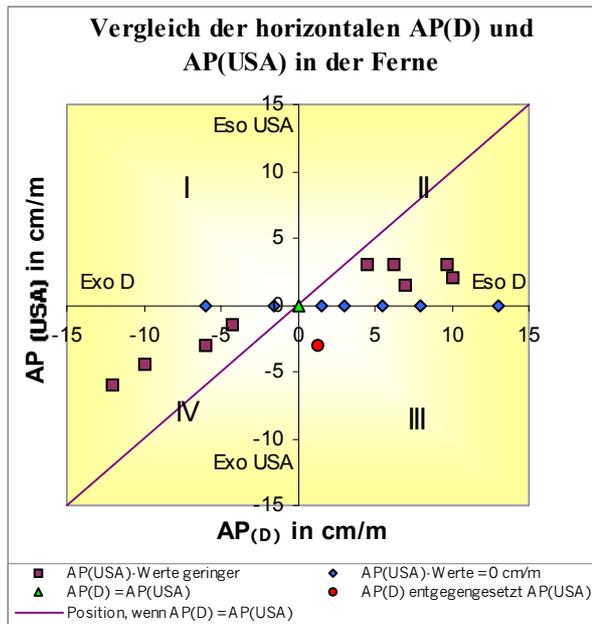
6.4.4 Zusammenhänge zwischen $AP_{(D)}$ und $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessungen

Vergleich der $AP_{(D)}$ und $AP_{(USA)}$

Im folgenden Abschnitt werden die $AP_{(D)}$ - und $AP_{(USA)}$ -Messergebnisse miteinander verglichen, um zu untersuchen, inwiefern amerikanische FD -Teste ständig bestehende $AP_{(D)}$ (Winkelfehlsichtigkeiten) aufdecken können. Gäbe es jedoch auf amerikanischer Seite Lücken, so hätte man eine Ursache dafür offen gelegt, warum die USA-Forschungsergebnisse von der Annahme ausgehen, dass bestimmte Sehfunktionen isoliert, also ohne vorhandene $AP_{(USA)}$, Defizite aufweisen können. Im Kap. 5.2 wurde der Polatest mit den gebräuchlichsten $FD_{(USA)}$ -Testen verglichen. Es konnte dargestellt werden, dass $FD_{(USA)}$ -Teste verschiedene Mängel in Bezug zum Polatest aufweisen. Die in dieser Untersuchung verwendete *Wesson Card* (Nahtest) und *Wolf Card* (Ferntest) sollten nach diesen Erkenntnissen motorische bzw. FD I-Anteile maximal bestimmen können. Daher geht es bei der Untersuchung um die Frage, ob zumindest diese motorischen Anteile bestimmt werden konnten. Auf Grund der Tatsache, dass sich auch die Fusionsreize gravierend unterscheiden, wird ebenfalls interessant sein, ob stets die gleiche Basislage ermittelt werden konnte.

Im vorangegangenen Theorieteil ist allerdings auch verdeutlicht worden, dass die amerikanische Art, $FD_{(USA)}$ s zu testen, andere interessante Optionen birgt, um Auffälligkeiten im Binokularsehen festzustellen. So können die $FD_{(USA)}$ -Größe, der Kurventyp und der Kurvenverlauf sowie das Auftreten von starken Hemmungen oder Unruhen ebenfalls Defizite offen legen, die möglicherweise auf Beschwerden hinweisen. In diesem Kapitel soll deshalb auch untersucht werden, ob amerikanische Optometristen anhand der ermittelten Kurven bei allen Probanden hätten Defizite entdecken können..

Auswertung aller horizontalen AP-Werte für die Ferne



Das Diagramm 6.4-26 stellt den Wertevergleich zwischen der horizontalen $AP_{(D)}$ und $AP_{(USA)}$ in der Ferne graphisch dar. Es wurde hier eine ähnliche Darstellung gewählt wie sie schon im Kap. 6.4.2 zur Darstellung der $AP_{(D)}$ -Messwertänderungen verwendet wurde. Jedem $AP_{(D)}$ -Wert auf der x-Achse wurde der dazugehörige $AP_{(USA)}$ -Wert auf der y-Achse gegenübergestellt. Alle AP-Wertepaare, die in den Quadranten II und IV zwischen der x- und y-Achse liegen, besitzen zumindest die gleiche Basislage. Dies war in 9 von 20 Fällen (lila markiert) gegeben. (Probandin EL ist nicht im Diagramm enthalten, da Wertepaar $AP_{(D)}=24\text{ cm/m}$; $AP_{(USA)}=6\text{ cm/m}$ zu hoch). Alle eingezeichneten Werte zeigen, dass der amerikanische AP-Wert immer niedriger ausfiel als der deutsche. Dies-

ses Verhältnis war zu erwarten. Beinahe alle Probanden besaßen alte sensorische Anteile ihrer $AP_{(D)}$, die durch amerikanische Tests nicht ermittelt werden können. In 8 von 20 untersuchten Fällen konnte mittels amerikanischer $FD_{(USA)}$ -Tests keine $AP_{(USA)}$ festgestellt werden, d.h. bei fast der Hälfte aller Probanden.

In einem Fall wurde ein Kurventyp II ermittelt. Diese Kurve zeigt zwar Anomalien, jedoch war keine $AP_{(USA)}$ nachweisbar, weil die Kurve keinen Schnittpunkt mit der x-Achse aufwies. Das bedeutet, die $Eso-FD_{(USA)}$ konnte bis zum Abreißen der Fusion nicht korrigiert werden (siehe Kap. 5.2.3).

In nur einem Fall wurde eine entgegengesetzte Basislage ermittelt. Die betreffende Probandin (EM) zeigte auch am Polatest Schwankungen in der Richtung der Phorie und sollte daher zumindest für die Auswertung der $Fern-AP_{(USA)}$ -Werte eher als Ausnahme betrachtet werden.

Es wurde nun als zweiter Schritt untersucht, ob der Kreuztest des Polatestgerätes gleiche Werte lieferte wie die *Wolf Card*. Dabei ist klar geworden, dass der Kreuztest in 50% der betrachteten Fälle etwas mehr als das Doppelte maß (in einem Fall sogar das 3fache). Bei 3 Probanden wurden, bei einer Toleranz von 1 cm/m , annähernd gleiche Werte erzielt. In nur einem Fall ermittelte der Kreuztest nur ein Drittel der $FD_{(USA)}$.

Dieses Ergebnis könnte man auf den Umstand zurückführen, dass der periphere Fusionsreiz der *Wolf Card* nur ca. 67% des Polatestrahmens ausmacht. Somit sollte sich Tonus nur bedingt lösen lassen. Das Messergebnis der $AP_{(USA)}$ wird zudem inmitten der erzwungenen fusionalen Vergenzen aufgenommen. Somit kann sich der Tonus bei abwechselndem Divergenz- und Konvergenzanspruch tatsächlich nur bedingt lösen, zumal jede Messung nur wenige Sekunden in Anspruch nehmen darf.

Die *Wolf Card* hätte zumindest bei der Hälfte aller Probanden Motorik, und somit Anstrengungsbeschwerden, reduzieren können. Nach den Kriterien der IVBV sollten jedoch keine Zwischenwerte sensorischer Anteile gegeben werden (siehe Kap.3.3.3). Dies wäre bei 7 Probanden der Fall gewesen.

Auswertung aller horizontalene AP-Werte für die Nähe

Für den Vergleich der Nah-AP Messwerte steht nur ein Datensatz von 11 Probanden zur Verfügung, da leider nicht für jeden Probanden der genaue Nahpolatetestwert ermittelt wurde. In einigen Fällen konnte lediglich registriert werden, ob eine Nahexophorie in Bezug zur Fernkorrektur vorlag.

Innerhalb der Auswertung der Nah-AP Werte wird jedoch deutlich, dass sich die Ergebnisse hier wesentlich diffuser zeigen. Es gab gleiche, geringere und höhere Werte zwischen den Messergebnissen, entgegengesetzte Basislagen und wiederum 3 Fälle, bei denen die *Wesson Card*, trotz der am Polatetest ermittelten moderaten Esophorie, keine $AP_{(USA)}$ ausweisen konnte (siehe Diagramm 6.4-27). Alle diese Konditionen traten zu relativ gleichen Verhältnissen auf. Amerikanische Optometristen führen AP-Messungen fast ausschließlich in der Nähe durch. Sie begründen dieses Vorgehen damit, dass in dieser Entfernung die meisten Probleme auftreten. In diesem Zusammenhang würde man aus deutscher Sicht allerdings keine großen Erfolge durch die prismatischen Korrekturen erwarten.

Eventuell ist hier die Ursache zu suchen, warum amerikanische Optometristen generell ein Visualtraining den Prismenkorrekturen vorziehen. Die $AP_{(USA)}$ -Nahwerte sollten, nach unserer Auffassung, nur bedingt Erfolge in der Reduktion von Asthenopien zeigen können und in einigen Fällen zu Unverträglichkeiten führen.

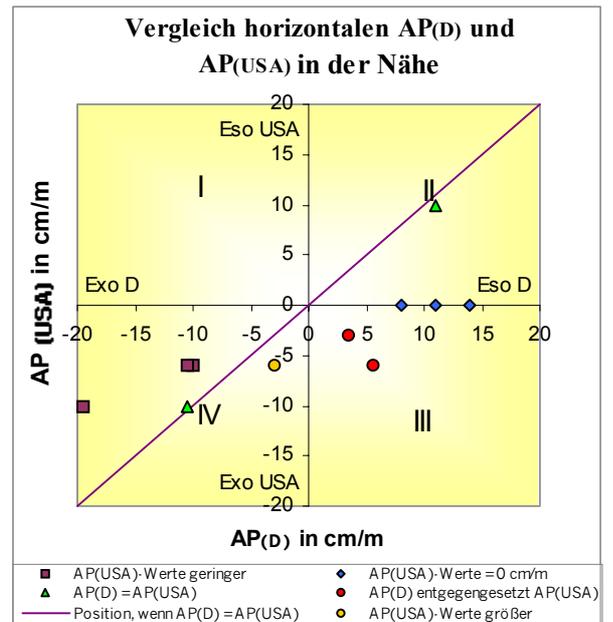


Diagramm 6.4-27

Auswertung aller vertikalen AP-Werte für die Ferne

Es ist schwierig, die Messergebnisse vertikaler AP-Werte zu vergleichen, weil sie nach der amerikanischen Methode von horizontalen Werten getrennt ermittelt werden und nach deutscher Herangehensweise weitestgehend gleichzeitig. Eine Ausnahme bilden lediglich die Messungen am Hakentest. Trotzdem soll untersucht werden, ob die amerikanischen Tests immer einen vertikalen Anteil feststellen können, wenn auch der Polatetest einen solchen aufdecken konnte (siehe Diagr. 6.4-28).

Für den Vergleich der vertikalen Fern-AP Werte wurden alle Messergebnisse der 20 Probanden herangezogen. Es stellte sich heraus, dass die

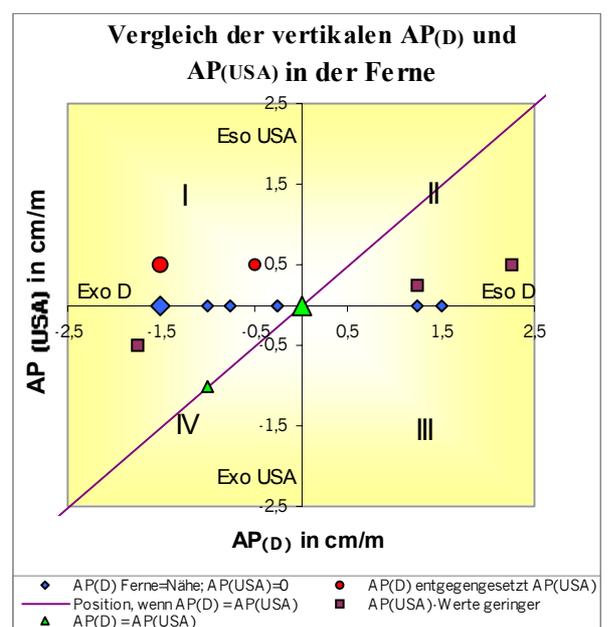


Diagramm 6.4-28

Messwerte von einem Viertel aller Probanden übereinstimmten. Leider zeigten 4 dieser 5 Messergebnisse einen Wert von null. In 8 Fällen konnten die amerikanischen Tests, bei vorhandener vertikaler $AP_{(D)}$, keine assoziierte Phorie feststellen. Bei einem weiteren Probanden wurde zwar eine $FD_{(USA)}$ ermittelt, nur konnte diese prismatisch nicht auf null reduziert werden (x-Achse wurde nicht geschnitten). Bei 3 Probanden lieferte die *Wolf Card* sogar entgegengesetzte und bei 3 weiteren, kleinere Werte.

Nur 2 Probanden zeigten unterschiedliche Größen der vertikalen $AP_{(D)}$ -Werte in Ferne und Nähe. Es wurden jedoch 5 Probanden gefunden, die unterschiedliche $AP_{(USA)}$ -Werte in Ferne und Nähe besaßen.

Aus dieser Untersuchung folgt, dass innerhalb der vorliegenden Studie bei genau der Hälfte aller Probanden, eine nach deutschen Kriterien vorhandene vertikale Komponente der AP mittels amerikanischer Tests unentdeckt bliebe. Bei 4fach wiederholten *Covertest*-Messungen konnte nur in 2 Fällen der vertikale Anteil aufgespürt werden, jedoch nur zur Hälfte des Betrages. In zwei weiteren Fällen ermittelte der *Covertest* sogar die falsche Basislage.

Vertikale Phorien rufen, ähnlich wie (amerikanische) Vergenzfehlfunktionen, häufig Defizite in beiden Richtungen der fusionalen Vergenzbreite bzw. relativen binokularen Akkommodation hervor. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass in den USA eventuell die Mehrzahl aller Probanden, bei denen Vergenzfehlfunktionen diagnostiziert wurden, unbemerkte vertikale Phorien aufweisen.

Aufdeckung von Defiziten durch die $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse

In diesem Abschnitt soll untersucht werden, inwiefern die amerikanische FD-Kurvenanalyse ermöglicht, Defizite im Binokularsehen aufzudecken, die mit vorhandenen Beschwerden in Verbindung gebracht werden könnten.

In den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels wurde festgestellt, dass amerikanische FD-Tests in der Ferne bei 8 von 20 Fällen und in der Nähe bei 3 von 20 Fällen gar keine $AP_{(USA)}$ ausweisen konnten. Mittels der MKH wurde jedoch in jedem Fall eine $AP_{(D)}$ ermittelt und, in der Mehrheit der Fälle, sogar sensorisch verfestigte Zustände.

$FD_{(USA)}$ -Kurvenmessungen werden von amerikanischen Optometristen oft nur vorgenommen, wenn die Sehfunktionsmessungen keine brauchbaren Werte zur Diagnose liefern. Anhand der $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse werden weitere Therapie- und Korrektionschritte hergeleitet, die ausführlich im Kap. 5.2.6 dargestellt worden sind. In diesem Kapitel wurde beschrieben, warum $AP_{(USA)}$ -Messwerte als am wenigsten geeignet einzustufen sind, wenn mit hoher Wahrscheinlichkeit auf vorhandene Beschwerden der Probanden geschlossen werden soll. Auch innerhalb des deutschen Managements ist man sich bewusst, dass nicht jeder Proband mit einer $AP_{(D)}$ automatisch zu Beschwerden neigen muss. Man geht jedoch davon aus, dass hohe motorische Anteile häufig zu Asthenopien, wie Kopfschmerzen oder Anstrengungsbeschwerden, führen und sehr stark verfestigte sensorische Anteile häufig Sehstörungen auslösen können. Es ist daher besonders interessant, ob andere Kriterien der $FD_{(D)}$ -Kurvenanalyse deutlichere Rückschlüsse auf Beschwerden zulassen. Dies hätte den Effekt, dass Erfolge von Korrekturen oder Therapien durch aussagefähige Messungen nachgewiesen werden könnten.

Innerhalb der horizontalen FD-Kurvenanalyse wird in Fällen von Exophorien als 1. Schritt untersucht, ob die FD-Größe 10' übersteigt. Esophorien sind primär als auffällig einzustufen, wenn die Steigung der Kurve zwischen $3,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi und Ba einen steileren Winkel als 45° zeigt. Im 2. Analyseschritt deuten alle horizontalen $FD_{(USA)}$ -Kurven, die keinen klassischen Typ I repräsentieren, auf Defizite im Binokularsehen. Abschließend werden in allen Fällen Kriterien wie Kurvenlänge, Steigung und Akkommodationsunruhen (große Schwankungen im Kurvenverlauf) berücksichtigt. Ob ein Proband eine Exophorie oder Esophorie besitzt wurde in dieser Untersuchung, dem amerikanischen Vorgehen entsprechend, zunächst durch Heterophoriemessungen bestimmt. Nur wenn die *Covertest*-Messungen keine Heterophorie aufdecken konnten, sind, wie in amerikanischer Praxis üblich, die $FD_{(USA)}$ Werte (assoziierte Messungen) verwandt worden, um die Phorierichtung zu bestimmen. Es sei angemerkt, dass oftmals Exophorien in Ferne und Nähe mittels *Covertest* bestimmt worden sind, obwohl am Polatest Esophorien gemessen wurden. Im Grundlagenkapitel 5.3 werden mögliche Ursachen und Verhältnisse näher erläutert.

Ergebnisse

Die Analyse der Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurven deutete in dieser Studie in 19 von 20 Fällen auf bestehende Probleme im Binokularsehen hin. Das Diagramm 6.4-29 zeigt, nach welchen Kriterien die Probanden eingestuft wurden. Alle Blautöne stehen für Exo- und die Rottöne für Esoabweichungen. Je heller der Farbton, desto relevanter ist das Kriterium, um auf Defizite in der jeweiligen Phorieart zu schließen. Nur eine einzige Probandin wurde als nicht defizitär eingestuft (Farbe beige). Erstaunlicherweise handelte es sich hier um eine Kontrollprobandin, der trotz hoher Nahesophorie keine Beschwerden bewusst waren. Alle anderen Probanden äußerten Symptome.

Im Kap. 7 wurden 3 Probanden untersucht, die nach MKH Orthophorie zeigten, im täglichen Leben jedoch keinerlei Beschwerden aufwiesen. Die Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurven deuteten nur bei einer Probandin auf Probleme hin. In ihrem Fall konnte ausschließlich mit

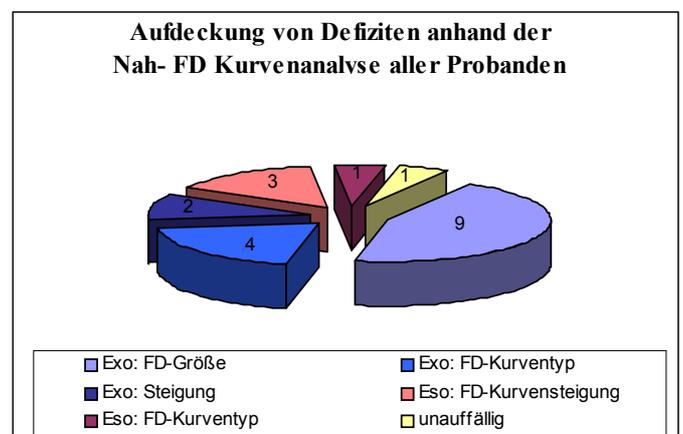


Diagramm 6.4-29

der *Wesson Card* eine Eso- $FD_{(USA)}$ und außerdem eine Kurve, die 47° geneigt war, ermittelt werden. Die Anamnese der Probandin bestätigte, dass sie zwar im täglichen Leben keine Beschwerden hatte, im Falle einer neuen Korrektur mit veränderter Zentrierung jedoch sofort Asthenopien bekam. Nach amerikanischen Standards deuten sowohl diese Symptome als auch die etwas steileren Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurven auf ein schlechtes Vergenzadaptationsvermögen hin (siehe Kap. 7.4.1).

Die Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse wird in der Regel nur dann durchgeführt, wenn Fernasthenopien und Sehstörungen auftreten und die Messergebnisse der Sehfunktionen diesbezüglich keine schlüssige Diagnose zulassen. Im Rahmen dieser Studie wurden jedoch alle Probanden mittels der *Wolf Card* für die Bestimmung der horizontalen Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurven untersucht, um die Aussagekraft der Kurvenanalyse für die Fernwerte zu überprüfen. Dabei wurden 2 Probanden als unauffällig eingestuft, die Beschwerden aufwiesen. Die Probandin, die keine Probleme äußerte, zeigte in dieser Messreihe einen Kurventyp IV, der auf Defizite im Binokularsehen deutet.

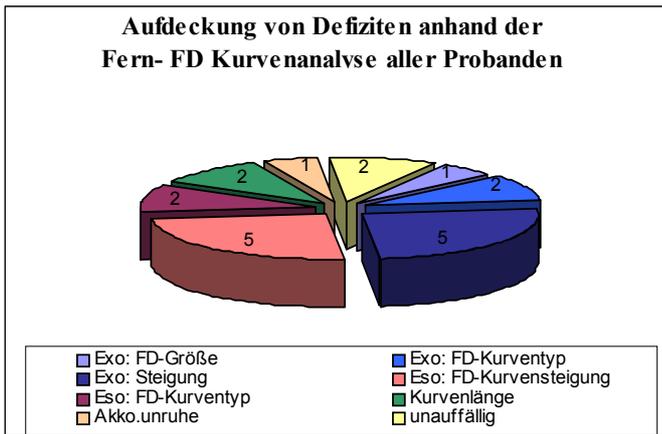


Diagramm 6.4-30

Alle anderen Probanden wurden entweder durch die Fern-oder Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse treffend als defizitär eingestuft. Das Diagramm 6.4-30 gibt Auskunft über den Diagnoseweg. Es fällt auf, dass in der Ferne der primäre Diagnoseschritt seltener zur Einstufung von Auffälligkeiten in Fällen von Exophorien half. Hohe $FD_{(USA)}$ -Werte traten nur bei einem Probanden auf. Die meisten Fälle wurden über die Steigung der Kurve bestimmt, die bei Exophorien ein weniger starkes Kriterium darstellt. Bei 2 Probanden konnten Defizite nur über die reduzierte Länge der Kurven offen gelegt werden (reduzierte Fusionskraft bzw. Vergenzbreite). In einem weiteren Fall deuteten nur große $FD_{(USA)}$ -Wertschwankungen auf ein instabiles Akkommodations/Vergenz – Verhältnis hin. Alle anderen Kriterien lagen in der Norm.

In der für diese Studie verfügbaren Literatur wurden nur wenige Kriterien gefunden, um vertikale FD -Kurven zu analysieren. Normalerweise wird nur der $AP_{(USA)}$ -Wert ab $0,75^{cm}/m$ zur Verschreibung vertikaler Prismen oder vertikalen Vergenztrainings verwendet [Scheiman & Wick, 1994, S.459]. Nach diesem Kriterium wäre nur im Fall einer Kontrollprobandin (DM) eine dieser Maßnahmen eingeleitet worden. Die vertikale Kurvensteigung wurde von Ogle als normal eingestuft, wenn sie sich zwischen $1,5-1,9'$ Winkelminuten pro $1,0^{cm}/m$ befindet. 50% aller seiner Probanden lagen in diesem Limit. Wenige zeigten waagerechte Kurven (Steigung null) und selten überschritten die Messwerte die Steigungen von $6,5'$. Den meisten Probanden war es möglich, in der Nähe $2,5-3^{cm}/m$ in beide vertikale Richtungen zu kompensieren. Wird diese vertikale Vergenzbreite nur in eine Richtung überschritten, so gilt dies als signifikantes Zeichen für eine vorhandene Hyperphorie [Ogle, 1967, S.269, S.266].

Die Analyse des vertikalen FD -Kurvenverlaufs nach Ogles Kriterien ergab, dass nur eine Prismenprobandin vor der Korrektur in der Nähe eine entsprechend flache Kurve zeigte. Diese Kurve war aber extrem asymmetrisch. Richtung BuR konnte sie mehr als $5,0^{cm}/m$ (ungewöhnlich hoch) kompensieren und Richtung BoR nur $3^{cm}/m$. Somit wäre auch diese Probandin nicht als unauffällig eingestuft worden. In der Kontrollgruppe haben 3 Probanden Ogles Kriterien in der Nähe getroffen. Eine Probandin wies jedoch extrem asymmetrische Kurven auf und die anderen 2 fielen für die Fer-

ne in die Rubrik auffällig, da sie in eine bestimmte Richtung nicht einmal $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ kompensieren konnten. Demnach sind alle Probanden entweder in der Ferne oder aber in der Nähe als auffällig einzustufen. Weil jedoch einige Probanden, nach den MKH-Messergebnissen zu urteilen, gar keine vertikale Komponente aufwiesen, könnten die Kurven eventuell von horizontalen Fusionsdefiziten beeinflusst worden sein.

Der Kurventyp war bei 5 Korrektionsprobanden und bei 6 Kontrollprobanden auffällig, da er keine Gerade bildete. Die meisten Probanden zeigten Kurven des Typs II oder III in der Ferne. Das bedeutet, dass sie in eine vertikale Richtung Prismen verstärkt annahmen, ohne Änderungen in der Auswanderung zu erkennen. In entgegengesetzter Richtung wurden bei geringen Prismenwerten große Auswanderungen sichtbar.

Die Vermutung liegt nahe, dass die Richtung, in der Prismen eine stärkere Auswanderung hervorriefen, mit der MKH-Hyperphorierichtung übereinstimmen könnte. Dies traf bei 10 der 11 Probanden zu. Somit liefern die vertikalen Fusionsbreiten zumindest Anhaltspunkte für die Richtung der vertikalen $AP_{(D)}$. In einem dieser asymmetrischen Fälle (JR) wurde am Polatest jedoch keine Hyperphorie ermittelt. Durch die MKH konnten horizontale Prismen erfolgreich Stereosehgleichgewicht herstellen. Deshalb scheint in diesem Fall keine vertikale Komponente vorzuliegen. Das Messergebnis könnte also möglicherweise eine Folge horizontaler fusionaler Vergenzen sein.

Verbindungen zwischen FD-Kurventyp und $AP_{(D)}$ -Status

Alle 20 Probanden wurden dahingehend untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen dem $AP_{(D)}$ -Status und dem dazugehörigen $FD_{(USA)}$ -Kurventyp gibt. Es wurde bereits im Grundlagenkapitel 5.2.5 vermutet, dass Probanden mit dem $AP_{(D)}$ -Status $FD_{(D)}$ II/ 3-6 wahrscheinlich bei Esophorien eher zum Kurventyp II und bei Exophorien zum Typ III neigen könnten. In diesem sensorisch verfestigten Status kann bizenrale Abbildung in vielen Fällen nur bedingt hergestellt werden. Im Rahmen dieser Diplomarbeit ist bei 14 von 20 Probanden unklar, ob bizentral gesehen wurde, da sich kein Stereosehgleichgewicht herstellen ließ. Deshalb könnte vermutet werden, dass viele dieser Probanden

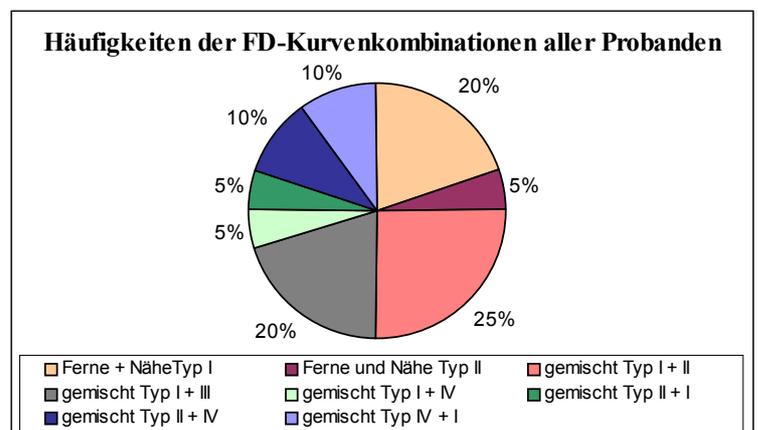


Diagramm 6.4-31

$FD_{(USA)}$ -Kurven des Typs II und III zeigen sollten. Im Diagramm 6.4-31 wurde dargestellt, welche Kurventypen in Ferne und Nähe auftraten. Nur ein Viertel aller Probanden hatten in Ferne und Nähe die gleichen Kurventypen, alle anderen Probanden zeigten Mischformen.

Alle Kurventypen, die nicht dem Typ I entsprechen, deuten auf binokulare Defizite hin. 70% der Probanden zeigten zumindest in der Ferne einen Kurventyp I. Neben dem Kurventyp I traten in der Nähe sehr häufig Kurventyp II und III auf. 25% aller 20 Probanden besaßen in der Ferne einen Kurventyp I und in der Nähe einen Kurventyp II. Alle diese Probanden (3 Korrektions- und 3 Kontrollprobandinnen) hatten Esophorien in Kombination mit einer Hyperphorie nach MKH-

Messungen. Ein Proband erreichte Stereosehgleichgewicht durch eine hohe Korrektur am Stereotest (es wurden etwas mehr Ba-Prismen in der Nähe gefunden). Bei 5 weiteren Probanden wurde die letzte Korrektur am Valenztest gegeben, wobei sich die Teststellung zwar optimieren, aber nicht in beiden Filterstellungen auf null bringen ließ. Das heißt, in allen dieser 5 Fälle lagen alte, sensorisch verfestigte Zustände vor. Es gab in dieser Studie mindestens 5 weitere Fälle mit ähnlichen, alten Eso-Vertikalphorien, die ganz andere Kurven-Kombinationen zeigten. Daher kann aus den aufgezeigten Zusammenhängen keine Regel abgeleitet werden.

Von den Probanden, die in der Ferne einen Kurventyp I zeigen und in der Nähe einen Typ III, konnte laut MKH nur bei einer Probandin eine zu erwartende Exophorie, in Ferne und Nähe nachgewiesen werden. Alle anderen waren Esophoriker. Bis auf eine Probandin zeigten alle Nahexophorien am Nahpolatest mit voller Fernkorrektur. Es könnte also vermutet werden, dass der Kurventyp III besonders häufig erscheint, wenn Nahexophorien auftreten. Am Nahpolatest zeigten sich jedoch noch bei 10 weiteren Probanden Nahexophorien, die andere Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurven präsentierten.

Leider konnten keine weiteren Zusammenhänge aufgedeckt werden. Im Verlauf der Untersuchungen stellten sich auch widersprüchliche Ergebnisse heraus. Es gab z.B. einige Fälle von Exophorien, die zumindest in der Ferne Kurven des Typs II besaßen, der eigentlich nur bei Esophorien zu erwarten wäre. Leider bleibt unklar, warum diese Exophorien bei der $FD_{(USA)}$ -Kurventestung dazu neigen, Prismen Ba eher anzunehmen als Bi. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, dass 2 dieser Probandinnen (CF, SD), entweder durch die Prismenkorrektur oder im darauf folgenden Visualtraining verstärkt Probleme hatten, Bi zu kompensieren. Sie konnten jedoch bis zu $35-45^{cm}/m$ Ba in Ferne und Nähe problemlos fusionieren. Diese Probandinnen zeigten in den Sehfunktionsmessungen, nach den Maßnahmen in der Nähe, deutliche Anzeichen einer Esophorie (hohe FCC - und AC/A -Werte). Diese Fälle demonstrieren Parallelen zu den Theorien Skeffingtons, der Exophorien nur als adaptive Reserven vorhandener Nahesophorien betrachtete (siehe Kap. 5.5). Diagnosen des genauen $AP_{(D)}$ -Status fehlten, so dass im Rahmen dieser Arbeit keine Zusammenhänge zwischen sensomotorischen Anomalien und auftretenden Kurvenformen aufgedeckt werden konnten. Die Thesen zu Ursachen der Kurvenformen aus Kap. 5.2.5 können daher nicht alle bis ins Letzte bestätigt werden.

Auswirkungen der MKH-Korrekturen auf die $FD_{(USA)}$ -Kurven

Bei Erfolg einer Prismenkorrektur würde man aus amerikanischer Sicht erwarten, dass sich entweder die ursprüngliche $FD_{(USA)}$ reduziert, eine $FD_{(USA)}$ -Kurve des Typs I um den Koordinatenursprung abflacht bzw. der flache Teil der Kurven des Typs II und III um den Koordinatenursprung geschoben würde. Man ginge nicht davon aus, dass vom Typ I abweichende Kurven, durch Prismen in diesen Typ gewandelt werden können. Im Folgenden soll untersucht werden, inwiefern die MKH-Prismen diese Kriterien bedienen konnten.

Es sei jedoch vorweg gesagt, dass 6 von 10 Prismenprobanden zu diesem Zeitpunkt, trotz getragener Prismenkorrektur, aufgrund von nachrutschendem Tonus, bereits unterkorrigiert waren. Deshalb würde man nur wenige Veränderungen des $FD_{(USA)}$ -Werts erwarten. Eventuell konnte jedoch, entsprechend deutscher Kriterien, in Fällen erfolgreicherer MKH-Prismenkorrekturen, ein optimierter sensorischer Status die Fusion verbessern (Fusionsbreiten), die Neigung der Kurven beeinflussen und eventuell sogar den Kurventyp ändern.

$FD_{(USA)}$

Der Tabelle 6.4-5 kann entnommen werden, wieviele Probanden jeder Gruppe innerhalb der 1. Messung eine $FD_{(USA)}$ besaßen. Es wird deutlich, dass durch amerikanische $FD_{(USA)}$ -Teste in der Nähe bei 9 von 10 Fällen eine Exo- $FD_{(USA)}$ ermittelt wurde. Man sollte vermuten, dass ähnlich wie am Pola-Kreuztest, Hemmungen die Fusion in der Nähe reduzierten und somit trotz Esophorie Exo-Abweichungen entstanden. Bei den amerikanischen $FD_{(USA)}$ -Messungen zeigten jedoch 2 weitere Probanden Exo-Abweichungen in der Nähe. Erklären lässt sich dieses Ergebnis durch den Umstand, dass während dieser Messung, anders als bei der MKH, noch keine Fernkorrektionsprismen vorgehalten wurden.

Bei den Kontrollprobanden kamen bei amerikanischen Messungen in der Ferne häufiger Eso- $FD_{(USA)}$ s vor als in der Korrektionsgruppe.

	Fern-Exo $FD_{(USA)}$	Fern-Eso $FD_{(USA)}$	Nah-Exo $FD_{(USA)}$	Nah-Eso $FD_{(USA)}$	vertikale $FD_{(USA)}$
Korrektionsgruppe	4	2	9	0	5
Kontrollgruppe	1	5	6	1	4

Tabelle 6.4-5

Der Fern- $FD_{(USA)}$ -Wert hat sich durch die Prismenkorrektion nur für 3 Probandinnen (GK, CF, KM) leicht reduziert. Nur eine unter ihnen (CF) zeigte, nach deutschen Kriterien, einige Erfolge. Die zwei anderen Teilnehmer wiesen zu diesem Zeitpunkt einen moderaten Prismenwertanstieg auf. Für 3 weitere Prismenprobanden (JR, SD, EM) verschlechterte sich der $FD_{(USA)}$ -Wert sogar leicht. JR zeigte nach deutschen Kriterien einen Korrektionserfolg, die beiden anderen Fälle hingegen wiesen sehr widersprüchliche Ergebnisse auf und schwankten zwischen Exo- und Esophoriewerten. Eventuell war für die stärkere Auswanderung an den Testen ein nachrutschender Tonus verantwortlich, der durch einen verbesserten sensorischen Status möglicherweise erstmals motorisch kompensiert wurde.

In der Nähe konnte dafür in 5 von 10 Fällen eine bestehende Exo- $FD_{(USA)}$ eindeutig reduziert werden. In 3 dieser Fälle (EK, JR, KM) wurde der Wert voll korrigiert, obwohl selbst bei MKH-Nachkorrekturen, zumindest bei JR und KM, immer noch eine Exophorie am Kreuztest bestand. In der Nähe traten keine zusätzlichen oder höhere $FD_{(USA)}$ -Werte auf.

Bei den Kontrollprobanden stellten sich in gleichem Maße wie bei den Prismenprobanden Schwankungen in der Ferne heraus, jedoch verbesserten sich in der Nähe nur 3 von 10 Probanden geringfügig. Unter diesen Probanden befand sich MF2, die sich insgesamt, auch nach deutschen Kriterien, enorm verbesserte und diesmal bei der Nah- $FD_{(USA)}$ null erreichte. In zwei weiteren Fällen (SF, FW) traten erstmals Eso- $FD_{(USA)}$ Werte auf, die auch am Polatest-Nahkreuz immer Esophorien zeigten.

In der Vertikalen wiesen 3 von 5 auffälligen Prismenprobanden (EM, SD, GK) keine $FD_{(USA)}$ mehr auf. In der Kontrollgruppe wurden hingegen 2 Probanden zusätzlich auffällig. Die Verbesserungen in der Prismengruppe sind auf eine höhere Stabilität der korrigierenden vertikalprismatischen Werte zurückzuführen. In den 2 Fällen, da sich die vertikale $FD_{(USA)}$ kaum änderte (KD, CF), wurden auch in der Nachkontrolle mittels der MKH höhere $AP_{(D)}$ -Werte ermittelt

Kurventyp

In der Ferne änderten sich die horizontalen $FD_{(USA)}$ -Kurven der Prismenprobanden vom Typ her kaum.

Bei einer nach deutschen Kriterien erfolgreich korrigierten Probandin (MF1), wandelte sich ein Typ II in Typ I (siehe Diagr. 6.4-32 und 33). Es gab jedoch bei einem ebenso erfolgreich korrigierten Probanden (JR) auch die umgekehrte Wandlung vom Typ I in eine Kurventyp II.

Bei den Kontrollprobanden traten ebenso 2 Fälle von Abweichungen in positive und negative Richtung auf.

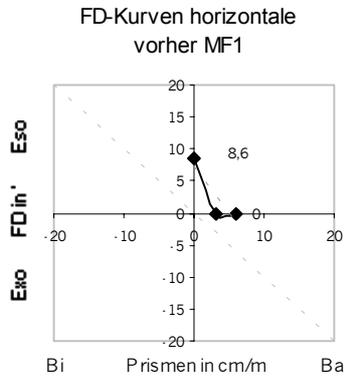


Diagramm 6.4-32

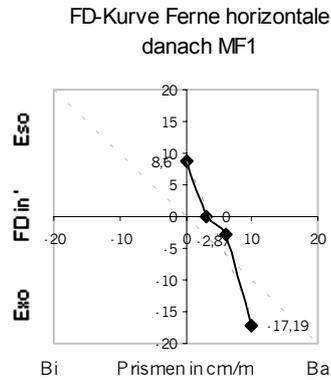


Diagramm 6.4-33

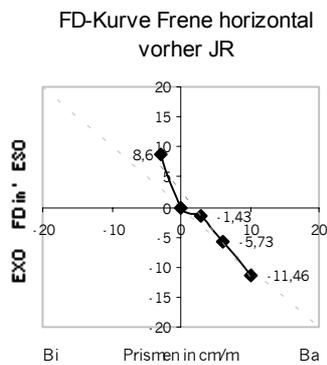


Diagramm 6.4-34

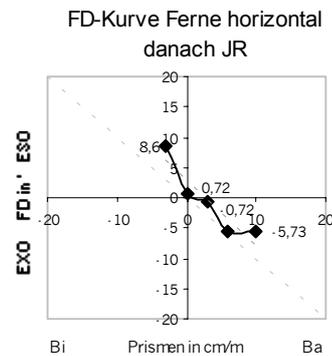


Diagramm 6.4-35

In der Nähe hingegen änderte sich bei keinem Probanden der Kontrollgruppe der Kurventyp.

In der Prismengruppe konnten jedoch jeweils zwei Kurven des Typs III in einen Kurventyp I gewandelt werden. Man kann diesen Prozess deutlich am Beispiel der Probandin GK den Diagrammen 6.4-36 und 6.4-37 entnehmen.

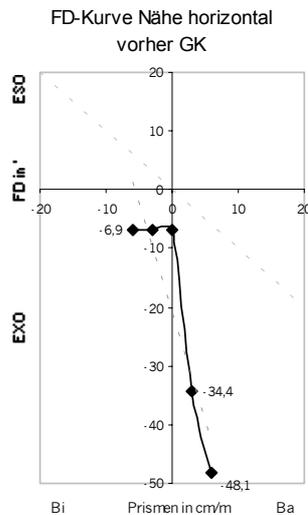


Diagramm 6.4-36

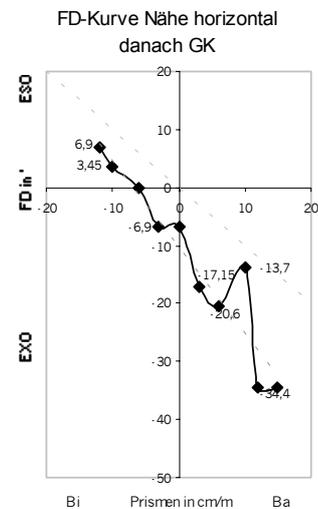


Diagramm 6.4-37

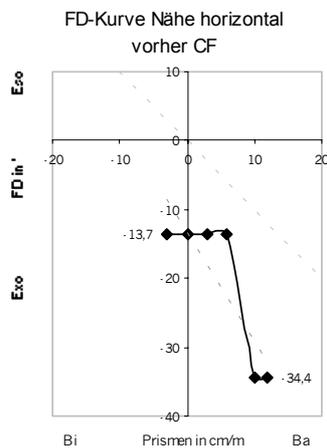


Diagramm 6.4.4-13

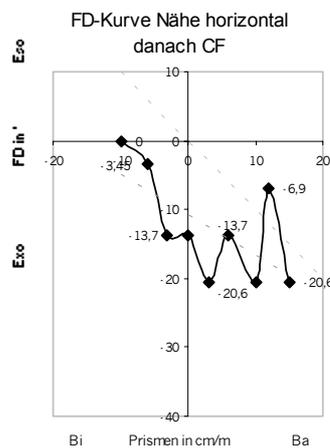


Diagramm 6.4.4-14

Beim Vergleich der Diagramme 6.4-38 und 6.4-39 stellt man fest, dass bei Prismenprobandin CF in der Nähe ein vorhandener Kurventyp IV im Begriff ist, sich zu verändern. Die $FD_{(USA)}$ -Kurve nach der Prismen-Korrektionszeit zeigt jedoch, durch einen stark schwankenden Verlauf, noch eindeutig eine vorhandene Instabilität im Akkommodations/ Vergenz System, die sich subjektiv aufgrund von Angaben

über noch bestehende Beschwerden bestätigt wurde. Stärkere Veränderungen bezüglich des Kurventyps traten hingegen bei den vertikalen Kurven auf. Alle 5 von 10 Prismenprobanden (EK, JR, EM, CF, SD) mit auffälligen Kurventypen zeigten mit der MKH-Korrektur vertikale Kurven des Typs I. Jedoch wiesen auch die Hälfte der Kontrollprobanden diesbezüglich Verbesserungen und nur in einem Fall eine Verschlechterung auf, so dass der Erfolg wiederum nur schwer auf die alleinige Wirkung der Prismen zurückzuführen ist.

Steigung der Kurven um den Koordinatenursprung

Die Steigung der horizontalen $FD_{(USA)}$ -Kurve sollte im Normalfall zwischen $3,0^{cm}/m$ Ba und Bi einen Winkel von 45° nicht überschreiten. Im Kap. 5.2 und 5.3 wurde ausführlich erläutert, dass hohes Vergenzadaptationsvermögen die $FD_{(USA)}$ -Kurven abflachen lässt. Je flacher die Kurve um den Koordinatenursprung ausfällt, desto weniger Symptome sollten auftreten. In diesen Fällen dürfte sich ein Vergenzsystem extrem schnell auf steigende Vergenz- und Akkommodationsansprüche einstellen können. Das visuelle System reagiert dann z.B. flexibler auf neue refraktive Werte oder auf Dezentrationen von Brillengläsern. Man geht auf amerikanischer Seite davon aus, dass Visualtraining die rapide Vergenzadaptation verbessert und somit $FD_{(USA)}$ -Kurven abflachen lässt. Man erwartet jedoch von Prismen diesen Effekt nicht. Vielmehr sollen Prismen die $FD_{(USA)}$ -Kurven verschieben können. Tritt z.B. ein flacher Teil der Kurve nur bei $3^{cm}/m$ Ba auf und der Rest der Kurve verläuft steil, so würden $3^{cm}/m$ Ba den flachen Teil um den Koordinatenursprung platzieren. D.h. erhöhte Vergenzadaptation kann nun in der gebräuchlichen Vergenzposition genutzt werden.

Vor der getragenen Prismenkorrektur zeigten nur 2 Probanden (KD, SD), für die Ferne und Nähe, sowie eine weitere Probandin (KM), nur für die Nähe Steigungen unter 45° . KD und KM hatten nach MKH-Messergebnissen beide sensorisch auffällige Exophorien.

In der Kontrollgruppe gab es nach diesem Kriterium ebenfalls 4 von 9 unauffälligen $FD_{(USA)}$ -Kurven. (Eine Probandin (EL) konnte nicht in die Auswertung einbezogen werden, da starke Hemmungen eine Messung der $FD_{(USA)}$ -Kurven unmöglich machten.) In der Nähe zeigten 3 von 9 Kontrollprobanden unauffällige Winkel zwischen $3,0^{cm}/m$ Ba und Bi.

Man kann dem Diagramm 6.4-40 entnehmen, dass die Korrekptionsprobanden im Gegensatz zu den Kontrollprobanden in der Ferne durchschnittlich auffälligere Steigungen zeigten, sich jedoch in der Nähe, wiederum im Gegensatz zu den Korrekptionsprobanden, leicht reduzierte durchschnittliche Gradzahlen ergaben. Da alle Probanden am Polatest ähnliche sensomotorische Zustände präsentierten und bis auf eine Kontrollprobandin alle Symptome aufwiesen, ist zunächst unklar, warum diese Unterschiede zu Tage traten.

Im Diagramm 6.4-40 zeigen die blauen Säulen alle Werte vor der Korrekptions- bzw. Kontrollzeit

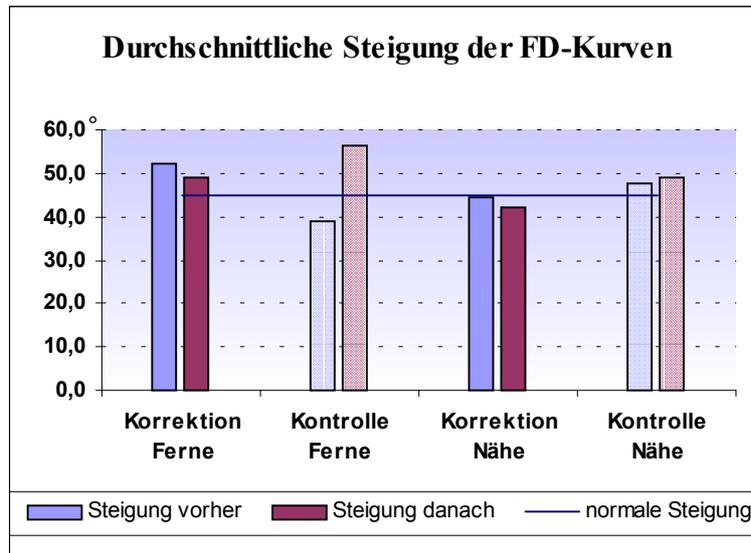


Diagramm 6.4-40

und die violetten die Werte danach. Die blaue waagerechte Linie gibt den oberen Normwert an. Für die Kontrollprobanden stehen die gemusterten, für die Korrekptionsprobanden dagegen die unifarbene Säulen.

Man kann erkennen, dass in der Ferne die Steigung der Kurve um insgesamt 3° abfiel und in der Nähe um 2° . Diese leichte Verbesserung ist darauf zurückzuführen, dass sich 2 Probanden (EK und GK) unter die 45° -Grenze verbessern konnten. In der Nähe konnten nur die Werte von KM positiv beeinflusst werden. Alle diese Korrekptionsprobandinnen erreichten nach deutschen Kriterien durch die MKH-Korrektion einen auffällig verbesserten monokularen und binokularen Visus, jedoch kein Stereosehgleichgewicht. Eine Probandin (CF) die Stereosehgleichgewicht durch die Nachkorrektur erreichte, verschlechterte sich jedoch sogar in der Neigung der Kurven in Ferne und Nähe. Auf mögliche Ursachen dieser anscheinenden Widersprüchlichkeit wird im Kap. 6.5.5 ausführlich eingegangen. Bis auf eine Kontrollprobandin (SF) zeigten in der Ferne alle anderen in der 2. Messung steilere Kurven. Es ist offensichtlich, dass auch diese Sehfunktion nur bedingt reproduzierbar zu sein scheint. Somit reduziert sich die Aussagekraft der Verbesserung der Korrekptionsprobanden. Trotz ausschließlich geringfügiger Verbesserungen in der Korrekptionsgruppe kann generell nicht davon ausgegangen werden, dass MKH-Prismen die rapiden Vergenzadaptationen beeinflussen können. Hierzu müssten Probanden vor und nach der Aufdeckung einer stabilen MKH-Vollkorrektur untersucht werden. Im Kap 6.5.5 wird analysiert, inwiefern Visualtraining die Neigung der Kurven veränderte.

Fusionsbreite

Es liegen leider keine Informationen darüber vor, welche Fusionsbreiten unter den Bedingungen der $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessungen erwartet werden. Ein verbesserter sensorischer Status sollte jedoch eingeschränkte Fusionsbreiten in beide Richtungen erhöhen können.

Für jeweils 3 Probanden stiegen die Fusionsbreiten Richtung Bi (KD, GK, CF) und Ba (MF, GK, SD) an. Die Zunahme der Fusionsbreite ging, außer bei GK, in Richtung der vorhandenen $AP_{(D)}$. D.h. es muss nicht unbedingt ein positives Zeichen sein, sondern könnte auch bedeuten, dass sich Tonus löste. Bei den Kontrollprobanden änderten sich die Fusionsbreiten nur geringfügig. MF2 und

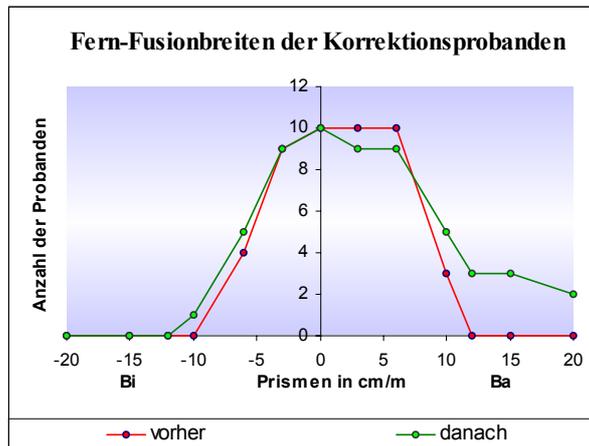


Diagramm 6.4-41

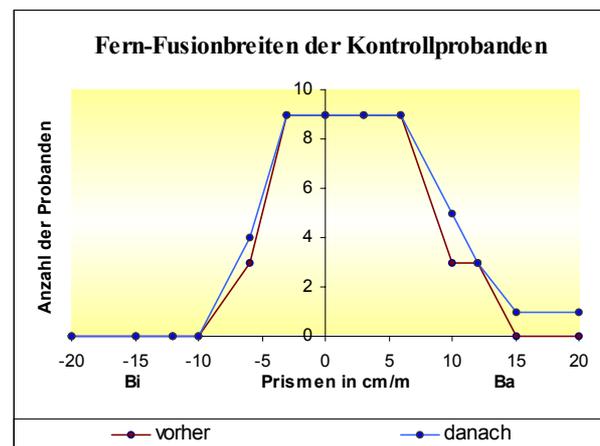


Diagramm 6.4-42

SF zeigten mehr Fusionsvermögen Richtung Ba (in Richtung ihrer $AP_{(D)}$). Diese beiden Kontrollprobandinnen sind die einzigen, die während der Kontrollzeit eine Verbesserung ihrer Symptome wahrnahmen (siehe Kap. 6.6.4). Beim Probanden OD verschob sich die Fusionsbreite bei der zweiten Messung in Richtung Bi.

Die Diagramme 6.4-41 und 6.4-42 zeigen im direkten Vergleich die Anzahl der Korrektions- und Kontrollprobanden, die eine bestimmte Menge von Prismen Ba und Bi ohne Anzeichen von Suppressionen und Diplopie fusionieren konnten. Dabei repräsentiert die rote Kurve jeweils die Situation vor der Korrektions- bzw. Kontrollzeit („vorher“) und die grüne Kurve die Situation hinterher („danach“). Man kann erkennen, dass in beiden Probandengruppen die 2. Messung großflächigere Kurven ergab. Bei den Korrektionsprobanden waren sie jedoch stärker ausgeprägt.

Beim Vergleich der Fusionsbreiten vor und mit getragener Korrektion in der Nähe stellt man fest, dass sich sowohl in Richtung Bi, als auch in Richtung Ba mehrere Probanden (EK, JR, GK, CF) verbessern konnten. Sie zeigten dabei durchschnittlich $12,5^{cm/m}$ höhere Fusionsbreiten bis max. $15^{cm/m}$ und minimal $10^{cm/m}$. Bis auf GK wiesen diese Probanden auch nach deutschen Kriterien sensorische Verbesserungen auf (Visusanstieg, Stereosehgleichgewicht, nur geringfügige Nachkorrekturen nötig, weniger Hemmungen bei JR und EK). Zwei weitere Exophoriefälle (KD, KM) erreichten außerdem jeweils $5^{cm/m}$ mehr Kompensationskraft in die Phorie kompensierende Richtung (Ba). Diese beiden Probandinnen erzielten, nach deutschen Kriterien, nur wenige Verbesserungen. In diesen 2 Fällen wären also mittlere Nachkorrekturen nötig gewesen.

Die Diagramme 6.4-43 und 6.4-44 machen die Veränderungen graphisch deutlich.

Man kann erkennen, dass die grüne Kurve im Diagramm 6.4-43, welche bei den Korrektionsprobanden die Zunahme an Fusionsbreiten „danach“ repräsentiert, sehr viel mehr Fläche einnimmt. Bei den Kontrollprobanden kann man diese Zunahme an Fusionsbreiten nicht so deutlich erkennen. Hier hat sich die Kurve "danach" insgesamt etwas in Richtung Ba verschoben. Dabei haben 4 Esophorieprobanden weniger Bi, dafür deutlich mehr Ba kompensieren können, was eher negativ zu werten ist. Der Proband OD zeigte jedoch in beide Richtungen gleichermaßen eine Erhöhung der Fusionsbreite bis zu $17,0\text{ cm/m}$. Daraus kann man schließen, dass Fusionsbreiten in wenigen Ausnahmen ebenfalls hohen Schwankungen unterliegen können.

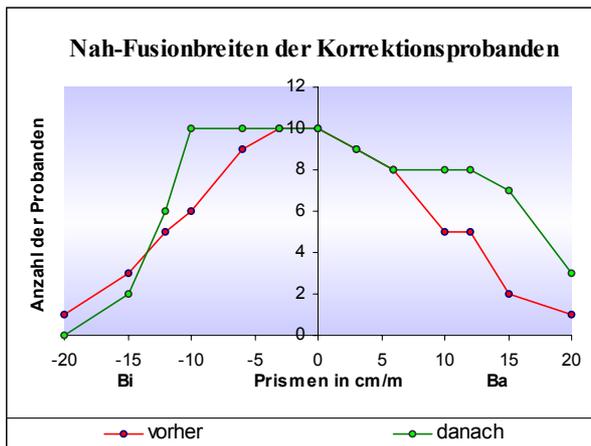


Diagramm 6.4-43

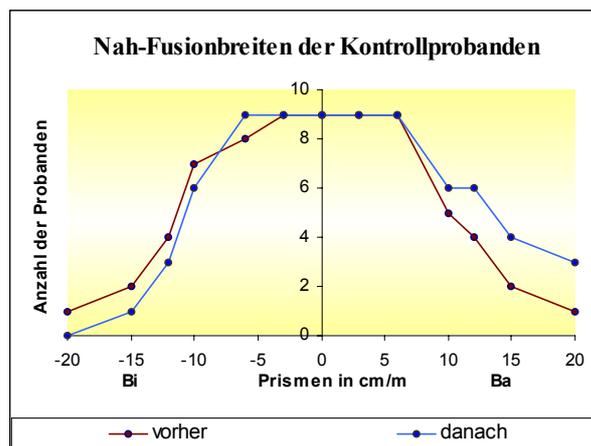


Diagramm 6.4-44

Zusammenfassung

Die MKH-Prismen konnten vor allem Sehfunktionen in der Nähe verbessern.

Vor der Prismenkorrektur zeigten 9 von 10 Probanden eine Nahexophorie, obwohl sie nach deutscher Messung hauptsächlich Esophorien besaßen. Es scheint so, als hätten die Prismenkorrekturen zumindest in 5 Fällen die Exotenz in Form einer $FD_{(USA)}$ reduzieren können, während in der Kontrollgruppe weniger auffällige Verbesserungen messbar waren.

In der Korrektionsgruppe konnte in 3 Fällen, wiederum in der Nähe, ein auffälliger Kurventyp in einen Kurventyp I gewandelt werden. Eine derartige Wandlung zeigte sich bei den Kontrollprobanden in keinem Fall. Nach amerikanischer Theorie wird dieser Effekt allerdings weder von Prismen noch von VT erwartet. Eventuell zeigt sich hier eine deutliche Wirkung, die nur von MKH-Prismen ausgelöst werden kann.

Obwohl die $FD_{(USA)}$ -Kurven in Ferne und Nähe für 2 Probanden abgeflacht werden konnten, lässt sich, aufgrund von Schwankungen innerhalb dieser Sehfunktion, nicht eindeutig auf einen Erfolg der MKH-Korrektur schließen.

Die Probandin GK war in der Lage, bei geringen Verbesserungen des sensorischen Zustands laut MKH, ihre $FD_{(USA)}$ -Kurvenwerte in der Ferne, in der Nähe und ebenfalls in der Vertikalen am meisten zu verbessern (in 6 Kategorien). Trotzdem wiesen die Kurven noch klare Defizite auf. Bis auf einen Visusanstieg konnten, nach deutschen Kriterien, keine weiteren Vorteile durch die Prismenkorrektur nachgewiesen werden. Die Probandin selbst konnte auch subjektiv keine positiven Veränderungen feststellen. Es war ihr noch nicht möglich, ihre Prismenbrille kurzzeitig, ohne starke Sehstörungen oder Asthenopien abzusetzen.

Weitere Fälle, die sich in 4 Punkten der $FD_{(USA)}$ -Kurvenkriterien verbessern konnten, waren KM, CF und EK. Nur die beiden Letztgenannten zeigten objektiv am Polatest deutliche Erfolge ihrer MKH-Korrektion. Alle 3 Probanden empfanden subjektiv deutliche Verbesserungen, wobei im Falle von CF trotzdem weiterhin beeinträchtigende Symptome auftraten. Diese drei Probanden erhielten nach der Prismenkorrektion alle VT . Der Erfolg sämtlicher angewandten Maßnahmen wurde für diese Probandinnen im Kap. 6.5.2 detailliert besprochen.

6.4.5 Vergleich der amerikanischen Diagnose mit dem $AP_{(D)}$ -Stadium

Gab es Probanden mit $AP_{(D)}$ und Asthenopien, die nach amerikanischen Kriterien unauffällig waren?

Alle in dieser Studie untersuchten Probanden hatten eine dekompenzierte und größtenteils sogar verfestigte $AP_{(D)}$, die bis auf eine Ausnahme Beschwerden verursachte.

Laut amerikanischer Diagnose waren alle Probanden auffällig. In einigen Fällen war es jedoch schwierig, sich auf eine bestimmte Diagnose festzulegen, da Messwerte widersprüchlich ausfielen. Z.B. hatten 2 Probandinnen (MF 1, SF) trotz vorhandener Esophorie am *Covertest* (auch laut $AP_{(D)}$) einen zurückgesetzten Nahkonvergenzpunkt, der laut amerikanischer Theorie bei Konvergenzinsuffizienzen aufgrund von Konvergenzschwäche auftritt. Diese Probandinnen zeigten jedoch keine Konvergenzschwäche an Nahkonvergenzbreitenmessungen, jedoch eindeutig esophorietytische Probleme, binokular Minuswerte zu kompensieren. In diesen beiden Fällen bestätigten jedoch auch amerikanische FD -Messungen, dass die Probandinnen eine $Eso-AP_{(USA)}$ besaßen und nicht als KI einzustufen sind.

In welcher Beziehung stehen die amerikanische und deutsche Diagnosen zueinander?

Anhand der wenigen Probanden können keine verifizierbaren Zusammenhänge aufgedeckt werden. Vergleicht man jedoch die wenigen Probanden, bei denen der deutsche Status klar bestimmt werden konnte, so zeichnen sich geringe Tendenzen von Beziehungen zwischen amerikanischen und deutschen Diagnosen ab. Am häufigsten waren Eso-/Vertikalphorien vertreten. Alle Probanden, deren Status eine $FD_{(D)}$ II/ 2 nicht überschritt [TG, MF1, SF], besaßen eine KE (Nahesophorie) oder eine allgemeine Esophorie laut amerikanischen Kriterien. Bei diesen Probanden waren alle Teste, die binokulare positive Akkommodation erforderten, wie z.B. PRA- und BAF-Test reduziert. Zusätzlich wurden sehr hohe MEM - und FCC -Werte gefunden. D.h., diese Probanden akkommodieren zuwenig, um fusionale Divergenzen einzusparen.

Probanden, deren Status älter war (JR, DM, MF2), zeigten häufiger Konvergenzinsuffizienzen. D.h., in diesen Fällen wurden am *Covertest* oft Exophorien in der Nähe, teilweise jedoch auch in der Ferne bestimmt. In der Nähe zeigten zusätzlich die $AP_{(D)}$ und $AP_{(USA)}$ -Werte hohe Nahexophorien. Alle diese Probanden hatten reduzierte Nahkonvergenzpunkte und die MEM - und FCC -Werte waren niedrig. Das bedeutet, dass aufgrund der gegebenen Konvergenzschwäche akkommodative Konvergenz die Fixation der Augen in der Nähe unterstützen. Einige dieser Probanden hatten außerdem einen Akkommodationsexzess, wobei dieser auch bei Exophorien und generell bei jüngeren

FD-Stadien auftrat. Ähnliche Auffälligkeiten wurden ebenfalls bei Probanden bestimmt, deren Status aufgrund eines fehlenden Stereosehgleichgewichtes nicht ermittelt werden konnte. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass auch sie sehr alte Anpassungsstadien aufweisen.

Für Akkommodationsdefizite ließ sich keine Tendenz ableiten. Akkommodationsexzesse traten häufig in Zusammenhang mit Konvergenzinsuffizienzen auf, jedoch auch mit allgemeinen Esophorien und in Fällen von Exo-AP_(D)S.

Es gab jedoch auch Ausnahmen. Bei OD und FW war der MKH-Status nicht eindeutig, trotzdem konnte ihre Korrektur nur am Zeiger und Stereotest bestimmt werden. Beide hatten trotz der Möglichkeit einer sehr alten AP_(D) eine allgemeine Esophorie laut amerikanischer Diagnose. Eingeschränkte Konvergenznahpunkte konnten auch bei Konvergenzexzessen und allgemeinen Esophorien auftauchen, trotzdem deuteten alle anderen Messwerte auf die jeweilige Diagnose hin.

Prinzipiell ergeben die ermittelten Tendenzen in verschiedener Hinsicht einen Sinn. Gerade bei sehr alten FD_(D)s treten oft starke zentrale Hemmungen auf. Diese könnten Hintergrund der Konvergenzinsuffizienzen sein.

Einfluss der Prismenkorrektur auf die amerikanische Diagnose

Aus den Diagrammen 6.4-45 und 46 kann entnommen werden, dass zumindest 2 von 6 Fällen ein bestehender Akkommodationsexzess durch die Prismenkorrektur aufgelöst werden konnte und sich zusätzlich eine Vergenzfehlfunktion in eine Konvergenzinsuffizienz wandelte.

Es wurde bereits in Kap. 6.4.3 dargestellt, dass in der Korrektionsgruppe Sehfunktionen in ihrer Anzahl statistisch signifikant auf Normwerte verbessert werden konnten. Trotzdem blieben bei jedem Probanden mindestens 4 Sehfunktionen eingeschränkt, so dass amerikanische Optometristen nicht von einem vollen Erfolg der Behandlung bzw. Korrektur ausgehen würden. Es wäre also in 7 Fällen die gleiche Diagnose getroffen worden. Jedoch müssten sich auch die 3 fehlenden Probanden noch dem amerikanischen Management unterziehen.

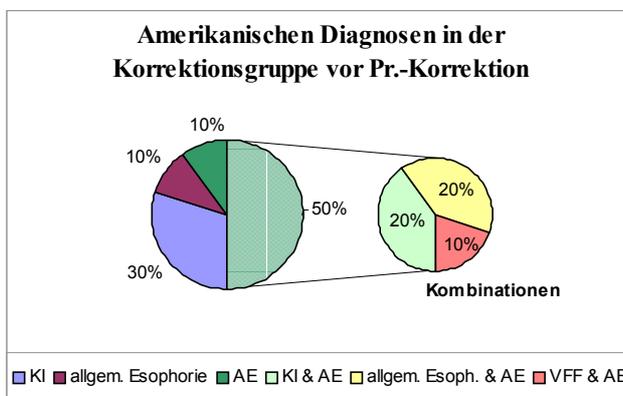


Diagramm 6.4-45

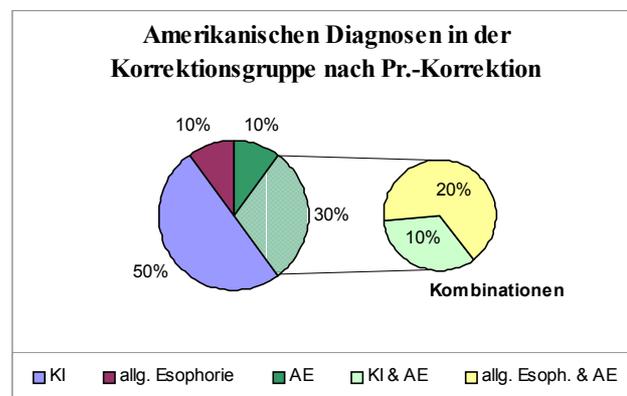


Diagramm 6.4-46

Der Einfluss der Prismenkorrektur relativiert sich weiter, wenn man die Diagnosen der Kontrollgruppe vor und nach der Kontrollzeit miteinander vergleicht (Diagr. 6.4-47 und 48). Auch in dieser Gruppe trafen zwei Probanden mit Messwertschwankungen von $2-4^R_{\text{min}}$, bei der zweiten Messung der monokularen Akkommodationsdynamik, die Normwerte. Ein Konvergenzexzess wandelte sich laut *Covertest*-Ergebnissen in eine allgemeine Esophorie, da sich Nah und Fernesophoriewerte angeglichen. Trotzdem geht aus dem Kap. 6.4.3 hervor, dass insgesamt nur sehr wenige Sehfunktionen auf Normwerte verbessert werden konnten.

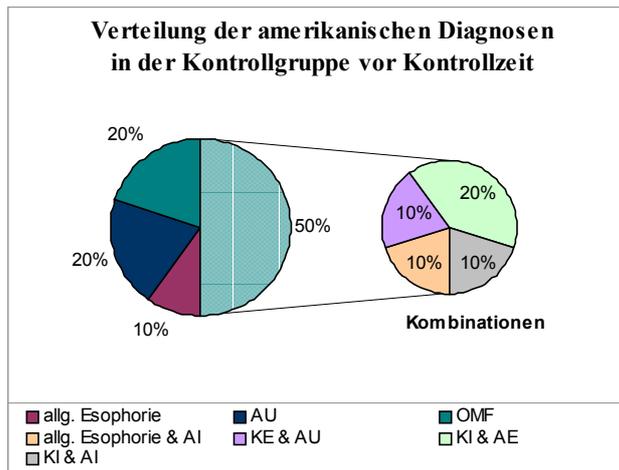


Diagramm 6.4-47

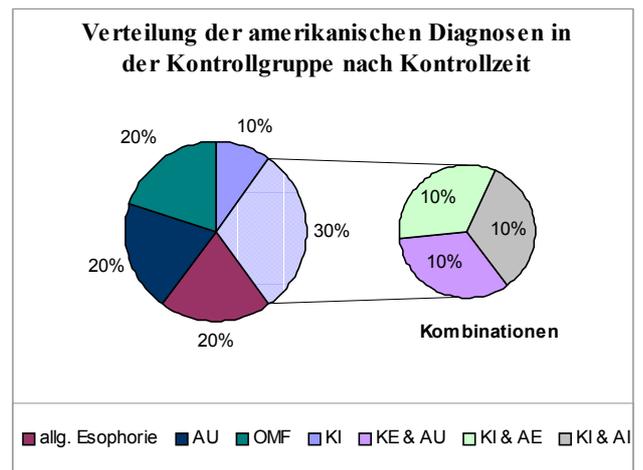


Diagramm 6.4-48

6.5 Auswertungen der Messergebnisse zur Visualtrainings-Studie

Im Kap. 6.2.2 wurde der Ablauf der Anamnese und im Kap.6.2.5 der Ablauf der Voruntersuchungen, des Trainings und der Nachuntersuchungen für die Visualtrainingstudie ausführlich dargestellt.

6.5.1 Kriterien für die Auswahl der Probanden

Die ausschlaggebenden Kriterien für die Auswahl der Probanden waren:

1. (noch bestehende) Defizite innerhalb der Sehfunktionen oder im sensomotorischen Status nach deutschen Kriterien
2. eine hohe Motivation und Ausdauer zur Durchführung des Visualtraining

2 der 4 Visualtrainingsprobanden (EM, CF) hatten zum Zeitpunkt des Trainingsbeginns, wenn auch stark reduzierte, jedoch noch immer einschränkende Asthenopien oder Sehstörungen.

Wie bereits im Kap. 6.4.3 dargestellt worden ist, konnten die MKH-Prismen nach deutschen Kriterien in keinem Fall mit Sicherheit einen vollen Erfolg erzielen. Außerdem gelang es nicht, alle Sehfunktionen in die Norm anzuheben.

Von den 4 Probanden waren 2 nahezu emmetrop und 2 hyperop. Alle Probanden zeigten aus Gründen des Komforts und der Ästhetik starkes Interesse, die Brille entweder ganz abzusetzen oder zumindest gelegentlich Kontaktlinsen zu tragen. Bislang hatten die meisten Probanden enorme Beschwerden, wenn sie zeitweilig auf Prismen verzichteten.

In diesem Teil der Studie soll untersucht werden, ob durch Training noch bestehende Asthenopien und Sehstörungen oder aber Beschwerden, die beim Verzicht der Prismen auftreten, abgestellt werden können. Desweiteren soll analysiert werden, inwiefern Sehfunktionen, die durch Prismen nur bedingt angesprochen wurden, weitere Verbesserungen erfahren können (Neigung der $FD_{(USA)}$ -Kurven, monokulare Akkommodationsdynamik). Der interessanteste Aspekt dieser Studie wird jedoch sein, welchen Einfluss die Trainingsprozesse auf den sensomotorischen Status nach deutschen Kriterien (MKH) nehmen.

6.5.2 Fallbeschreibungen

EK: Esophorie/ rechte Hyperphorie → Akkommodationsexzess

Beschwerden

EK berichtete vor der prismatischen Korrektur, dass ihr linkes Auge gelegentlich nach innen driftet. Sie selbst nahm mitunter Diplopie wahr. Viel mehr beunruhigte sie jedoch, dass sie nach Entspannungsphasen oder Meditationsübungen manchmal mehr als 30min in der Ferne extrem verschwommen sah. Ab und zu "ziepte" es hinter ihrem linken Auge. Während der Naharbeit hatte sie oft nach kurzer Zeit Konzentrationsprobleme und verlor beim Lesen häufig die Zeile.

EK ermüdete im Kino extrem schnell, beim Fernsehen dagegen so gut wie gar nicht. Aufgrund der Symptome wurde ihr empfohlen, die Beschwerden vom Augenarzt und auch vom Neurologen abklären zu lassen, damit pathologische Gründe ausgeschlossen werden können.

Die augenärztliche Untersuchung ergab keine Hinweise auf krankhafte Veränderungen. Ein EEG ließ auf Unstimmigkeiten in den Hirnströmen schließen, jeder Verdacht auf pathologische Ursachen dieser Störung wurde jedoch durch eine zusätzliche MRT ausgeschlossen.

Prismenkorrektion

EK besaß laut deutscher Diagnose eine $FD_{(D)} II/4$ ($5,5^{cm}/m$ Ba; $1,25^{cm}/m$ BuR). Der größte Prismenanteil wurde an allen Stereotesten aufgedeckt. Vor der prismatischen Korrektion war der Visus monokular und binokular, während der Messungen extrem instabil. Oft musste kurz gewartet werden, bis die Probandin die Optotypen auflösen konnte. Diese Instabilität des Sehens zeigte sich ebenso am Valenztest. Hier wanderten das obere und untere Dreieck sehr unruhig auf der Skala gegeneinander. In FI-Stellung konnten keine Random-Dot-Bilder ausgewertet werden. Mit der vollen Korrektion wirkte der Valenztest stabil und in FN-Stellung mittig. Eine mit der Korrektion auftretende Diplopie der Dreiecke, die selbst am V11 gesehen wurde, konnte in FI-Stellung nicht verbessert werden. Mit dieser Korrektion wurde der Kreuztest ansatzweise in Überkorrektion durchgeführt. Der Visus verbesserte und stabilisierte sich dabei spontan monokular auf dem rechten Auge und binokular.

Die Sehfunktionen waren bei EK extrem eingeschränkt. Laut amerikanischer Diagnose besaß die Probandin einen Akkommodationsexzess. Aus diesem Grund waren ihre NRA-, MAF- und BAF-Werte für Pluswerte eingeschränkt, da negative Akkommodation monokular und binokular nur begrenzt ermittelt werden konnte. Sie zeigte Defizite in den Augenfolgewegungen, in den Akkommodationsamplituden und in allen Vergenzbreiten, ausgenommen die Konvergenzbreite in der Nähe.

Wie bereits in der Auswertung der Anamnese (Kap- 6.3.2 und 3) beschrieben, war EK aus Gründen des Komforts, der Ästhetik und der Abhängigkeit von ihrer Prismenkorrektion ($5,5^{cm}/m$ Ba und $1,25^{cm}/m$ BuR) am unglücklichsten mit ihrer Brille. Daher drängte sie schon nach 1monatigen Korrektionszeit auf Nachkontrollen, um die Brille wieder absetzen zu können.

Nach objektiven amerikanischen und deutschen Kriterien profitierte EK jedoch enorm von der Prismenkorrektion. Erstmals konnte sie nach 1monatiger Korrektionszeit den Random-Dot-Treppentest in beiden Filterstellungen mit sehr geringen Verzögerungen (3s) auswerten. Dabei hatte sie mit den getragenen Prismen keine Suppressionen mehr.

Die amerikanischen Testergebnisse bestätigten den Erfolg der Prismenkorrektion. Die Vergenzbreiten wurden in der Ferne in die Norm angehoben, die Akkommodationsamplituden fielen nach dem Trageversuch in den Bereich der einfachen Standardabweichung. Es verbesserten sich die Vergenzdynamik und die NRA-Ergebnisse. Trotzdem blieben der Akkommodationsexzess, die Nahdivergenzbreite und die Augenfolgebewegungen unangetastet.

Die Beschwerden und starken Sehstörungen der Probandin ließen sich durch den Einsatz der Prismen fast gänzlich beseitigen.

Visualtraining

EK ließ sich überzeugen, dass ein Training in ihrem Falle eine sinnvolle Alternative zum Korrektionsabbruch darstellt. Dabei war das gemeinsame Ziel, das Binokularsehen mit fortschreitendem Visualtraining soweit stabilisiert zu haben, dass die Probandin ihre Brille nur noch gelegentlich tragen muss. Bei diesem Versuch sollte vermieden werden, dass sich der alte defizitäre sensomotorische Zustand wieder einstellt.

EK trug ihre Prismenbrille noch einen weiteren Monat, bevor mit dem Training begonnen werden konnte. Danach setzte sie die Brille nach 2 Wochen Training ab und trug sie nur noch beim Lesen oder im Falle von Beschwerden.

Da es EK aufgrund der räumlichen Distanz nicht möglich war, die Trainingseinheiten regelmäßig zu absolvieren, führte sie das Training nach wenigen Unterweisungen selbständig durch. Dabei wurde sie telefonisch beraten und zum Fortschritt befragt. Diese Verfahrensweise hatte im Vergleich zu den anderen VT-Probanden den Nachteil, dass die Motivation zum Training nur bedingt aufrechterhalten werden konnte. Aus diesem Grund brach EK die Therapie vorzeitig ab, so dass ihr Training nicht auf die Ferne und die Vertikale ausgedehnt werden konnte.

Folgende Übungen wurden erfolgreich abgeschlossen:

- Brock Schnur, erst Divergenz, dann Konvergenz
- *Bug on String*, erst Divergenz, dann Konvergenz
- *Bar Reader* zur Vermeidung von Suppressionen beim Lesen
- *Mirror-Stereoskop*, erst Divergenz, dann Konvergenz
- *Quoit-Vektogramm* in 40cm, bis $12,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi und später $25^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba
- Sprungvergenzen Nah- Fern, Divergenz-Konvergenz
- *Aperture Ruler*; Divergenz bis Karte 7, später Konvergenz bis Karte 12
- *Eccentric Circles*; in 40cm Nähe bis zu 5cm ($12,5^{\text{cm}}/\text{m}$) Divergenz and 10cm Konvergenz ($30^{\text{cm}}/\text{m}$)
- *Eccentric Circels* mit Rotationen der zusammengehaltenen Karten
- Computer Random-Dot ($24,21^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi mit kleinem Quadrat und Basis außen $41,31^{\text{cm}}/\text{m}$ mit großem Quadrat)
- *Loose Lens Rock* +2,5/ -4,0dpt 20 x pro Minute monokular und binokular
- *Letter Tracing* (unter $1^{\text{min}}/\text{Auge}$)
- *Pursuits* (*Marsdenball*, Stift verfolgen)

keine Abschlussergebnisse, trotz absolvierter Übungen liegen vor bei:

- *HTS* (amerikanisches Computer Trainingsprogramm) - *Jump Vergence*
- *HTS-Pursuits Man*
- *HTS-Arrow Saccades*
- Nah-Fern *Hart Chart* (große Konzentrationsprobleme → $4,5^{\text{min}}/\text{Auge}$)

Fehlende Übungen zum erfolgreichen Abschluss des Trainings wären:

- +1,50/-1,50dpt *Flipper* mit Suppressionskontrolle an Vektogrammen, *Aperture Ruler*, *Eccentric Circles*
- *Near – Far Hart Chart*
- *HTS-Konvergenz* mit kleinem Fusionsobjekt

- Vektogramm Spirale
- Fusionstraining in der Ferne mit Vektogrammen
- Fusionstraining in der Vertikalen

Ergebnisse des Trainings

Die nachfolgenden Ergebnisse wurden erzielt, obwohl kein Korrektionsschritt wie geplant zu Ende geführt werden konnte und darüber hinaus vor den Abschlussuntersuchungen 1,5 Monate lang weder trainiert noch eine Prismenbrille getragen wurde.

Sensorischer Status nach deutschen Kriterien:

Der Visus blieb im Vergleich zum Visus mit Prismenkorrektion unverändert stabil und hoch. Am Polatest haben sich im Vergleich zur getragenen Prismenkorrektion einige sensorische Zustände wieder leicht verschlechtert. So traten erneut wechselseitig Hemmungen am Kreuztest auf, der leicht um Null schwankte. Am Valenztest wurden wieder Fusionsbewegungen der Augen in der Vertikalen sichtbar, wobei der Test nach einer kurzen Stabilisationsphase schließlich mittig wahrgenommen wurde. Dabei zeigten sich in FI noch immer ansatzweise doppelte Dreiecksspitzen. Alle Stereoteste zeigten in beiden Filterstellungen Nachverzögerungen von 3 Sekunden. Somit wurden sie ähnlich wie mit Prismenkorrektion wahrgenommen. Die Finger der Hand konnten nun erstmals in FI gesehen werden und auch die Treppe war ohne Nachverzögerung sichtbar. Eine sehr viel geringere Esophorie ließ sich diesmal nur am Zeigertest korrigieren. Aus den vorliegenden Ergebnissen kann man schließen, dass eine ursprüngliche Esophorie stark auf $1,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba und $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR verringert wurde. Nach dem VT bestand jedoch noch immer eine vertikale $FD_{(D)} II/2$, die allerdings nicht mehr zu Spontanverzögerungen führte.

Amerikanische Sehfunktionen:

Die dynamische Akkommodationsfähigkeit konnte monokular und binokular enorm gesteigert werden. Auch die relative negative Akkommodation kam auf den erwarteten maximalen Wert von +2,5dpt. Desweiteren wurde die Divergenzbreite in der Nähe weit angehoben. In Ferne und Nähe steigerte sich die Konvergenzbreite noch geringfügig. Am *Covertest* wurde Orthophorie in Ferne und Nähe ermittelt - ein Ergebnis, das bis zu diesem Zeitpunkt der Untersuchungen nur bei binokular unauffälligen Probanden gemessen worden war. Der hohe Wert der Vergenzdynamik konnte gehalten werden.

Es verschlechterten sich zwei Funktionen. Die Akkommodationsamplituden gingen fast auf ihren Ausgangswert um knapp eine Dioptrie auf beiden Augen zurück. Außerdem verschlechterte sich die horizontale $FD_{(USA)}$ -Kurve in der Ferne, indem sie wieder steiler als 45° verlief. Sie entsprach somit der Ausgangskurve. Die horizontale Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurve konnte in der Nähe jedoch wesentlich abgeflacht werden. Es wurde eine geringe, unkritische $FD_{(USA)}$ ermittelt. Aus diesen Ergebnissen könnte man schließen, dass in der Nähe angewandte Übungen verstärkt die Funktionen der angesprochenen Einstellmechanismen (z.B. Vergenzadaptation) optimieren. Das gilt hauptsächlich für den Nahbereich. Es wäre interessant, ob Probanden mit einem auf die Ferne ausgedehnten Training

ähnliche Fortschritte in allen Distanzen zeigen würden. Hierzu liefern die 3 weiteren Probanden Hinweise (siehe Kap. 6.5.5).

Ein Grund für die auftretende Nah-Exo- $FD_{(USA)}$ und für reduzierte Akkommodationsamplituden könnte die auch am Polatest registrierte erneute Zunahme von Hemmungen sein.

Zusammenfassung

EK konnte ihr Binokularsehen trotz des nicht zu Ende geführten Korrektions- bzw. Therapieversuchs enorm verbessern. Die Reduktion nahezu aller Symptome, abgesehen von einem gelegentlich auftretenden Akkommodationskrampf nach Meditationsübungen, blieb innerhalb von 6 Monaten nach Abbruch des Training bestehen.

Die Prismenbrille hatte anscheinend bei der enormen Stabilisierung des Sehens objektiv einen großen Anteil. Subjektiv führte EK allerdings den Erfolg hauptsächlich auf das Training zurück. In der kurzen Korrektionszeit konnte ein bestehender Akkommodationskrampf nicht gelöst werden.

Das Visualtraining war insofern sehr erfolgreich, dass es nach Absetzen der Prismenbrille den Status des Binokularsehens annähernd halten konnte. Die Phorie wurde sogar reduziert. Die noch fehlenden Sehfunktionen konnten optimiert werden, wobei sich vor allem ein Akkommodationsexzess löste. EK war erst nach dem Training durch erworbene Flexibilität ihres visuellen Systems in der Lage, ihre Prismenbrille je nach Bedarf ohne Eingewöhnungsschwierigkeiten zu tragen.

Mit dem Training wurde eine ursprüngliche Myopie von $-0,25\text{dpt}$ um $+0,5\text{dpt}$ in eine geringe Hyperopie von $+0,25\text{dpt}$ gewandelt. Nach Skeffingtons Theorie ist dieser Zustand als Erfolg zu werten, da eine geringe Hyperopie Nahpunktstress entgegenwirken kann.

Leider haben sich gegen Ende der Testreihe wieder leichte Hemmungen eingestellt und vertikal scheinen, nach Angaben am Valenztest, wieder $FD_{(D)}$ -Zentren für niedrige Sehaufgaben genutzt zu werden. Diese Erscheinungen können eventuell die Ursache für einen erneuten Rücklauf der Akkommodationsamplituden und erneuter Präsenz einer geringen Exo- $FD_{(USA)}$ in der Nähe an der *Wesson Card* sein. Trotz der beschriebenen Defizite konnte erst in diesem letzten Durchlauf der Random-Dot Handtest in FI-Stellung ohne Prismen bis ins Detail ausgewertet werden.

Es bleibt offen, ob diese Hemmungen durch eine Ausdehnung des Trainings auf die Vertikale und auf die Ferne reduziert werden könnte. Hierzu liefern die 3 weiteren *VT*-Probanden Hinweise. Es wäre interessant, herauszufinden, warum EK bei Entspannungs- bzw. Meditationsübungen einen Akkommodationskrampf aufbaut. Es ergibt sich die Frage, ob hier eventuell außerhalb des Wirkungsbereiches eines Trainings oder einer Prismenbrille Störungen im Zusammenspiel des sympathischen und parasympathischen Nervensystems eine Rolle spielen könnten. Zu diesem Thema liefert das Kap. 5.5.2 Hinweise. Demnach scheinen vegetative Prozesse im Sehen entscheidende Auswirkungen auf verschiedene Adaptationsprozesse und Symptome zu haben.

EM: Wechselnde AP_(D) mit unbestimmtem Status → Akkommodationsexzess und

Konvergenzinsuffizienz (latente Hyperopie)

Beschwerden

EM klagte über häufige Kopfschmerzen im Schläfen- und Stirnbereich. Sie sah regelmäßig, je nach körperlicher Konstitution, nach 30min bis 60min beim Lesen oder Malen verschwommen. Im Dunklen meinte EM wesentlich schlechter sehen zu können und sich dadurch sehr unsicher zu fühlen. Des Weiteren war sie überaus blendempfindlich.

Vor den Untersuchungen im Rahmen dieser Diplomarbeit trug EM ihre Hyperopiekorrektur von R/L +1,25dpt über 4 Monate konstant. In der ersten Refraktion wurden zusätzlich +0,75dpt ermittelt.

Leider wurde bei EM während einer vorangegangenen augenärztlichen Untersuchung übersehen, dass sie eine latente Hyperopie von insgesamt +3,0dpt auf beiden Augen besaß. Aus diesem Grund wurden die +0,75dpt nicht als Ausschlusskriterium für die Prismenstudie angesehen und keine weitere Erhöhung der Refraktionswerte erwartet.

Sehfunktionsstörungen

EM hatte massive Probleme mit Pluswerten an allen monokularen und binokularen Testen. Sie besaß demnach einen starken Akkommodationsexzess. Dieser könnte die Ursache dafür sein, dass sie ebenfalls in der Vergenzdynamik mit Ba-Werten außerordentliche Schwierigkeiten hatte. Außerdem befanden sich alle Vergenzbreiten unterhalb der Normwerte. Der NPC und auch die Akkommodationsamplituden zeigten enorme Einschränkungen.

Die $FD_{(USA)}$ -Kurven von EM fielen trotz des Kurventyps I extrem steil aus. In der Nähe zeigte sie eine sehr hohe $FD_{(USA)}$ von 60'. Sie war nicht in der Lage, die Fusion mit geringen Ba-Werten aufrechtzuerhalten (siehe Kap. 6.5.5).

Prismenkorrektur

Die erste Prismenkorrektur von insgesamt 5,0^{cm}/m Ba und 2,0^{cm}/m BoR wurde vornehmlich an Stereotesten - wie Zeigertest, Stereotest und Valenzetest - bestimmt. Nur ein geringer Anteil (1,0^{cm}/m Ba) wurde bereits am Kreuz ermittelt. Der Status konnte durch unveränderliche Prävalenzen am V-Test nicht eindeutig bestimmt werden. Das Kreuz befand sich nach der $FD_{(D)}$ -Korrektur kurzzeitig in Überkorrektionsstellung. EM besaß am Nahpolatetest eine vollmotorische Exophorie.

Die ermittelte Korrektur wurde 2 Wochen konstant getragen und führte zu massiven Problemen in der Ferne. Sie sah konstant verschwommen und anfänglich doppelt. Nach den Sehfunktionsmessungen zu urteilen hätte man mit dieser Reaktion rechnen können, da bei der Fernkonvergenzbreitenmessung schon ab 4^{cm}/m der Nebelpunkt und nach 6^{cm}/m der Abreißpunkt erreicht wurde.

Aus diesen Gründen wurde die Probandin erneut überprüft. Die MKH zeigte eine eindeutige Überkorrektur an. Die Korrektur wurde auf 1,25^{cm}/m Ba und 1,5^{cm}/m BoR abgeschwächt. Diese Korrektur wurde gut vertragen und konnte 2 Monate konsequent angewandt werden.

In der Abschlussuntersuchung der Prismenstudie nahm EM nach kurzer Zeit am Polatest den Kreuz- und Zeigertest allmählich in Exo-Stellung wahr. Innerhalb dieser Messung wurden $1,20^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi und $1,25^{\text{cm}}/\text{m}$ BoR ermittelt. Vermutlich haben vor allem Schwankungen in der binokularen Akkommodation die instabilen Werte in der MKH verursacht, trotzdem sind in der monokularen Refraktion keine höheren Werte angenommen worden.

Durch die Prismenkorrektur verbesserten sich einige Sehfunktionen, wie z.B. NPC um 4,5cm und die Akkommodationsamplituden um 1,25dpt, wobei beide Funktionen noch immer außerhalb der Norm lagen. Ihre NRA-Werte normalisierten sich. Des Weiteren konnten alle Vergenzbreiten angehoben werden. Dadurch befand sich die Konvergenzbreite nur noch in der Nähe außerhalb der Norm. EM war auch mittels Prismenkorrektur nicht in der Lage, die dynamischen Teste auszuführen. Sie hatte noch immer massive Probleme mit Plus- und BA-Werten.

Durch die Prismenbrille haben sich gelegentliche Diplopie und Kopfschmerzen abstellen lassen. EM hatte auch das Gefühl, räumlich besser sehen zu können.

Trotzdem bestanden mit Brille noch immer Probleme bei der Naharbeit. Die Probandin sah nach kurzer Zeit beim Lesen oder Malen oft verschwommen. In diesen Phasen konnte sie den Lesetext oder das Bild nur kurzzeitig scharf stellen. Diese Probleme traten häufiger gegen Abend, vor allem aber bei Müdigkeit und Hunger auf. Gelegentlich hatte EM auch Probleme, nach anhaltender Naharbeit in der Ferne scharf zu sehen. All diese Schwierigkeiten können auf einen noch immer bestehenden Akkommodationsexzess zurückgeführt werden.

Die Probandin fühlte sich abends auf der Straße noch immer unsicher. Auch die am Tage registrierte Blendempfindlichkeit konnte nicht aufgehoben werden.

EM war sehr daran interessiert, länger in der Nähe arbeiten zu können, weil sie sich, ihrem Berufswunsch entsprechend, stärker der Malerei zuwenden möchte. Vor der Prismenkorrektur war sie aufgrund von Konzentrationsproblemen und Sehstörungen nicht dazu in der Lage und nahm ein Studium der Geisteswissenschaften auf.

Das Visualtraining

Nach amerikanischen Kriterien wurde der Status von EM als Konvergenzinsuffizienz und Akkommodationsexzess eingestuft. Die Therapie erfolgte mittels eines typischen Trainingsplanes nach Scheiman und Wick (siehe Tabelle 6.5-1). Das Training begann am 2. Juni 02 und endete mit Verzögerungen aus gesundheitlichen und urlaubstechnischen Gründen erst am 22. Dezember nach 17 Sitzungen.

Die Tabelle 6.5-1 gibt Aufschluss über den zeitlichen Ablauf und die Ergebnisse des Visualtrainings. Diese Tabelle enthält alle wesentlichen Übungen, die am *The Eye Institute (TEI)* des *Pennsylvania College of Optometry (PCO)* in Philadelphia routinemäßig nach dem Prinzip Scheiman und Wicks angewendet werden. Man trainiert immer gleichzeitig aus jeder Kategorie der ersten Spalte eine der Übungen bis zum Abschluss. Erst danach wird mit der nächsten Übung fortgefahren. Wenn bei den Probanden Unlust oder Resignation aufkamen, wurden die Übungen teilweise unterbrochen und dafür andere vorweggenommen.

Convergence Insufficiency		
CATEGORY	ENDPOINT	DATE COMPLETE
VOLUNTARY CONVERGENCE		
• Brock String	1 inch	15. Aug.
• Bug on String	1 inch	Divergenz immer ruckartig geblieben
• Voluntary Convergence	can voluntarily converge with control	13. Sep. 02
BINOCULAR (NON-COMPUTER)	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Vectograms: Base Out		
Quoits	25 base out	15. Aug. 02
Spirangle	25 base out	25. Sept. 02
• Vectograms with Modifications to create jump vergence demand		ok
Cover/Uncover	25 base out	ok
+/- Flip Lenses	25 base out	13. Dez. 02
2 targets at different settings	25 base out	ok
• Vectograms Base In		ok
• Vectograms with modifications to create jump Base In demand	12 base in	ok
Quoits	12 base in	26. Okt. 02
Spirangle	12 base in	25. Sept. 02
• Aperture Rule: Base Out	card number 12	13. Sept. 02
• Aperture Rule: Base In	card number 6	25. Sept. 02
• Eccentric Circles: Base Out	4 inch separation	25. Sept. 02
• Eccentric Circles: Base In	2 inch separation	25. Sept. 02
• Eccentric Circles with rotation and versions	BO & BI with cards held together	13. Dez. 02
BINOCULAR (COMPUTER)	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Computer Orthoptics RDS: Base Out	45 base out	4. Aug. 02
• Computer Orthoptics RDS: Base In	15 base in	26. Aug. 02
• Computer Orthoptics RDS :Jump-Jump Verg	30 base out to 10 base in	26. Aug. 02
ACCOMMODATION	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Near-Far Hart Chart	10 feet to 2 inches	15. Aug. 02 (2min, 30s)
• Monocular loose lens rock : + to - lenses	+2.00 to -6.00 (20/30 print)	5. Okt. 02 (+2,5/-4,0dpt)
• Binocular accommodative rock using:		6. Nov. 02
Bar Reader	+1.50/-1.50	6. Nov. 02
Vectograms	+1.50/-1.50	22. Dez. 02
Aperture Rule	+1.50/-1.50	22. Dez. 02
Eccentric Circles	+1.50/-1.50	22. Dez. 02
OCULAR MOTOR (NON-COMPUTER)	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Hart Chart Saccades (1/10)	complete in 15 seconds, no errors	15. Aug 02
• Hart Chart Saccades (2/9,3/8.4/7,5/6)	complete in 120 seconds with no errors	15. Aug. 02
• Letter Tracking	complete in 60 seconds with no errors	13. Sep. 02
OCULAR MOTOR (COMPUTER)	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Pursuit man (random, speed 2)	90% for 2 minutes	25. Sept 02
• Arrow Saccades	0.80 latency, 90% accuracy, 2 minutes	25. Sept 02

Tabelle 6.5-1

In dieser Tabelle sind die bei EM angewandten Fern- und Vertikal-Vergenzübungen nicht enthalten, weil diese Übungen im Falle einer KI nicht zum Standardprogramm gehören. EM war auch in der Ferne fähig, *Eccentric Circles* in Richtung Konvergenz und Divergenz zu fusionieren und konnte in beide Richtungen, sowohl in Ferne als auch Nähe vertikale Prismen der Stärke 3cm/m fusionieren. Random-Dot-Bilder konnten von EM durch willentliche Kon- und Divergenz (4cm/m) ohne Hilfe von Polarisation fusioniert (*Magic Pictures*).

Ergebnisse Visualtraining

Durch das Visualtraining konnte ein Akkommodationstonus von +0,75-+1,0dpt gelöst werden. Nach 2/3 des Trainings ergab eine subjektive Refraktion die Werte von R: +3,0dpt und L: +3,25dpt, cyl. -0,25dpt, A 65°. Diese Werte wurden durch eine veranlasste Zykloplegie vom Augenarzt bestätigt. EM hatte jedoch enorme Schwierigkeiten die volle Refraktion anzunehmen. Sie war für 2 Wochen konstant um +0,25dpt genebelt, so dass die Korrektur auf beiden Augen nach 2 Wochen wieder auf +2,75 abgeschwächt wurde. Zu diesem Zeitpunkt konnte kein weiteres Plus ermittelt werden. Diese Korrektur erwies sich als sehr verträglich. Mit den neuen Werten verschlechterten sich, wie zu erwarten, wieder alle Konvergenz- und negativen Akkommodationsergebnisse, die im weiteren Verlauf des Trainings jedoch nahezu optimal beeinflusst werden konnten.

EM konnte sich in sämtlichen Sehfunktionen, vor allem aber in den dynamischen Testen und Fernkonvergenzbreiten, teilweise weit über die Normgrenzen hinaus, verbessern. Sie erreichte normale Akkommodationsamplituden und konnte bis zur Nasenspitze problemlos konvergieren.

Der Visus konnte monokular und binokular leicht gesteigert werden. Am Polatest traten keine Hemmungen oder Kontrastunterschiede mehr auf. Die MKH ergab nur noch 0,5^{cm}/m Bi und BoR. Diese Werte wurden jedoch am Valenztest ermittelt, der sich zwar stabilisieren, jedoch nicht voll korrigieren ließ. Folglich änderte sich der Status von EM nicht. An den Random Dot Testen verbesserte sich die räumliche Tiefe in FI-Stellung. Ihre ursprüngliche Nahexophorie konnte durch das Training aufgelöst werden. Leider wandelte sich diese dabei in eine vollmotorische Nahesophorie, deren Korrektur an den Fernsten abgelehnt wurde (siehe hierzu Kap. 6.5.6).

Die Beschwerden der Probandin reduzierten sich mittelmäßig bis stark. Sie war nicht mehr lichtempfindlich. Ihre Unsicherheit im Dunkeln konnte abgestellt werden. Im Verlauf des VTs begann EM wieder zu malen. Sie war jetzt in der Lage, bis zu 6 Std. ohne Konzentrationsbeschwerden oder Sehstörungen durchzuarbeiten und las gelegentlich umfangreiche Bücher in nur 3 Tagen. Diese Verbesserungen bewegten EM dazu, ihr Studium der Geisteswissenschaften aufzugeben und sich an den Kunsthochschulen im Fach Malerei zu bewerben. Sie gab selbst an, dass sich ihr Gesichtsfeld erweitert und dadurch die Orientierung auf der Straße enorm verbessert hätte.

Zusammenfassung

EMs latente Hyperopie führte zu starken binokularen Problemen und sensorischen Anpassungen. In der Ferne hatte sie eine akkommodative Esophorie, die je nach Akkommodationsinnervation in Größe und Richtung variierte.

Ein Akkommodationstonus konnte sich in der Prismenkorrektionszeit nicht lösen. Dieser trat erst durch Akkommodationsübungen im Verlaufe des Trainings zu Tage. Erst mit der vollständigen Pluskorrektur reduzierten sich die Beschwerden enorm, so dass sich für EM völlig neue berufliche Zukunftsperspektiven eröffneten. Nach dem Training lagen alle Sehfunktionswerte in den Normen und eine AP_(D) reduzierte sich fast auf null, während sich der sensorische Status in Form des Visus, der Stereotiefe und der Reduktion einer Nahexophorie stark stabilisierte.

Das Visualtraining war in ihrem Falle ein voller Erfolg. Im letzten Drittel der Trainingszeit konnte EM Kontaktlinsen tragen und auf Prismen vollständig verzichten. Zukünftig muss allerdings beobachtet werden, ob die am Polatest ermittelte Nahesophorie Probleme bereitet. In diesem Fall würde EM gemäß amerikanischer Praxis eine geringe Plusaddition erhalten.

Es kann nur vermutet werden, dass sich ihre tonische Akkommodation ohne Hilfe des VTs nur bedingt bzw. in einem sehr viel längeren Zeitintervall gelöst hätte.

CF: Exophorie incomitans → Akkommodationsexzess

Beschwerden

Während der Vorlesungen hatte CF nach ca. 1,5h enorme Probleme, Blickwechsel auszuführen. Es dauerte sehr lange bis sie in der Ferne und in der Nähe Schriften klar auflösen konnte. Es fiel ihr auf, dass sie dabei zunehmend den Kopf nach links drehte bzw. schief an ihrem Tisch saß.

Bei längeren Autofahrten sah CF nach ca. 2h oft doppelt. In diesen Situationen konnte sie sich nur helfen, indem sie ein Auge schloss und eine Pause einlegte. Sie litt in beinahe regelmäßigen Abständen von 4 Wochen an starker Migräne, die gewöhnlich von einem Kreislaufzusammenbruch und Erbrechen begleitet wurde. CF war zudem blendempfindlich, hatte Anstrengungsbeschwerden sowie rote, müde und tränende Augen nach 30minütigen Leseperioden.

Sehfunktionseinschränkungen

Der *Coverttest* ergab, dass CF eine Exo-Heterophorie besaß, die in verschiedenen Blickrichtungen extrem unterschiedlich ausfiel. Am höchsten war die HP beim Blick nach oben links ($14,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi; $1,5^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR). In der Primärposition konnten lediglich $1 - 2^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi und $0,25^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR gemessen werden. Diese Form von blickrichtungsabhängigen Augenfehlstellungen findet man häufiger unter Strabismen. Der Befund lieferte eine Erklärung für die auftretenden (Phorie reduzierenden) Kopfdrehungen. Die Art der Phorie resultiert aus der Beeinträchtigung eines Augenmuskels und musste dringend medizinisch abgeklärt werden. Der augenärztliche Befund lieferte keine Rückschlüsse auf pathologische Veränderungen. Es kann nur vermutet werden, dass die Muskelschwäche von einer kindlichen Kopfverletzung (im Alter von 6 Jahren) hervorgerufen wurde, weil kurz darauf erste Beschwerden auftraten.

CF hatte aufgrund eines reduzierten Konvergenznahpunkt, beeinträchtigter Akkommodationsamplituden, Konvergenzbreiten und *MEM*-Werte eine Konvergenzinsuffizienz. Probleme mit Pluswerten am *BAF*- und *MAF*-Test ließen darüber hinaus auf einen Akkommodationsexzess schließen. Außerdem waren die Nahdivergenzbreiten eingeschränkt. Die Vergenzdynamik konnte aufgrund Diplopieerscheinungen mit Bi nach kurzzeitigem Konvergieren nicht ermittelt werden. Da CF auch am Polatest eine Exophorie in allen Blickrichtungen besaß, kann diese Einschränkung nur auf sensorisch bedingte Störungen zurückgeführt werden.

Prismenkorrektur

CFs Korrektur von $4,25^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi und $0,75^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR konnte horizontal fast vollständig am Kreuztest und vertikal am Hakentest aufgedeckt werden. Mit der vollen Kreuzkorrektur bestand jedoch ein Widerspruch zur Basislage des Zeigertestes (Eso). Die Korrektur wurde daraufhin am Zeigertest vorgenommen, worauf der Valenztest Stereosehgleichgewicht angab.

Die Korrektur war für CF sehr gut verträglich. Mit der Prismenkorrektur konnte der Visus binokular angehoben werden. Die Beschwerden reduzierten sich daraufhin signifikant. Eine Migräne trat nur auf, wenn die Brille nicht getragen wurde. Die Kopfverdrehungen wurden durch die Brille gänzlich abgestellt. CF war weniger blendempfindlich. Sie vermutete jedoch während der Nachkontrolle, dass möglicherweise mehr Prismen benötigt würden. Gegen Ende der 2 Korrekturmonate waren zunehmend wieder jene alten Sehstörungen aufgetreten, die sich durch Verschwommensehen bei Fokuswechsel äußerten.

Die Nachkontrolle am Polatest bestätigte diese Vermutung. Die Prismen hätten in der horizontalen um $2,25^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi und in der vertikalen um $0,75^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR erhöht werden müssen, um Stereosehgleichgewicht herzustellen. In dieser zweiten Korrektur wurde zusätzlich der Valenztest auffällig.

Die Sehfunktionen haben sich mit den Prismen signifikant verbessert. Alle Werte wurden in die Normbereiche angehoben, bis auf die niedrigen *MEM*-Werte, den reduzierten *NPC*, die negativen Vergenzbreiten in der Nähe und die Bi-Vergenzdynamik.

Visualtraining

CF war für die Durchführung eines Visualtrainings hoch motiviert. Sie ist emmetrop und seit der Prismenkorrektur nicht in der Lage gewesen, ohne Schmerzen hinter dem rechten Auge mit begleitender Diplopie sehen zu können. Sie hoffte, durch das Training ihre Beschwerden weiter reduzieren und die Brille wenigstens gelegentlich absetzen zu können.

Zu Trainingsbeginn war die amerikanische Diagnose nicht mehr eindeutig, da sich bereits mehrere Sehfunktionen, bis auf die Nahdivergenzbreite und den *NPC*, verbessern ließen. Allerdings wurde erneut ein Akkommodationsexzess ermittelt. Die Therapie bezog sich aus diesem Grunde hauptsächlich auf das letztgenannte Problem, wobei das Verfahren Scheiman und Wicks Anwendung fand. Im Unterschied zu anderen Methoden wird hier das Vergenzsystem mittrainiert.

Das Training begann am 8. Juli 02 und musste aufgrund von Zeitproblemen der Probandin nach 15 Sitzungen am 9. Dezember 02 abgebrochen werden. Dennoch konnten beinahe alle Übungen erfolgreich abgeschlossen werden.

Folgende Übungen wurden nach dem TEI-Übungsplan absolviert:

<i>Accommodative Excess</i>		
<i>CATEGORY</i>	<i>ENDPOINT</i>	<i>DATE COMPLETE</i>
DIVERGENCE		
• Brock String	can diverge to 3 feet	24. Jul. 02
• Bug on String	Konvergenz/Divergenz	Konverg. bis zum Ende in Nähe ruckartig
BINOCULAR (NON-COMPUTER)	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Vectograms: Base In		
Quoits	12 base in	17. Sept. 02
Spirangle	12 base in	4. Nov. 02
• Vectograms with Modifications to create jump vergence demand		5. Dez. 02
Cover/Uncover	12 base in	ok
+/- Flip Lenses	12 base in	ok
2 targets at different settings	12 base in	ok
• Vectograms Base Out		
Quoits	25 base out	2. Aug. 02
Spirangle	25 base out	4. Nov. 02
• Aperture Rule: Base In	card number 6	4. Nov. 02
• Aperture Rule: Base Out	card number 12	4. Nov. 02
• Vectograms with modifications to create jump Base out demand	25 base out	ok
• Eccentric Circles: Base In	2 inch separation	4. Nov. 02
• Eccentric Circles: Base Out	4 inch separation	16. Okt. 02
• Eccentric Circles with rotation and versions	BO & BI with cards held together	25. Nov. 02
BINOCULAR (COMPUTER)	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Computer Orthoptics RDS: Base In	15 base in	12. Aug. 02
• Computer Orthoptics RDS: Base Out	45 base out	29. Aug. 02
• Computer Orthoptics RDS :Jump-Jump Verg	30 base out to 10 base in	29. Aug. 02
ACCOMMODATION	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Near-Far Hart Chart	10 feet to 2 inches	11. Sept. 02
• Monocular loose lens rock : + to - lenses	+2.00 to -6.00 (20/30 print)	16. Okt. 02
• Binocular accommodative rock using:	+2.5/-2.5	11. Nov. 02 (14 R/min)
Bar Reader	+1.50/-1.50	25. Nov. 02
Aperture Rule	+1.50/-1.50	9. Dez. 02
Eccentric Circles	+1.50/-1.50	9. Dez. 02
OCULAR MOTOR (NON-COMPUTER)	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Hart Chart Saccades (1/10)	complete in 15 seconds, no errors	11. Sept. 02
• Hart Chart Saccades (2/9,3/8,4/7,5/6)	complete in 120 seconds with no errors	11. Sept. 02
• Split Hart Chart	complete in 180 seconds with no errors	26. Sept. 02
• Letter tracking	complete in 60 seconds with no errors	11. Sept. 02
OCULAR MOTOR (COMPUTER)	ENDPOINT	DATE COMPLETE
• Pursuit man (random, speed 2)	90% for 2 minutes	11. Sept. 02
• Arrow Saccades	0.80 latency, 90% accuracy, 2 minutes	26. Sept 02
• Arrow Saccades	0.80 latency, 90% accuracy, 2 minutes	26. Sept 02

Tabelle 6.5-2

CF absolvierte ihr Training ebenfalls erfolgreich in der Ferne. Sie konnte in Ferne und Nähe 2^{cm}/m BoR und BuR fusionieren sowie komplizierte Random-Dot-Bilder ohne Polarisationshilfe mittels willentlicher Konvergenz oder Divergenz erkennen.

Ergebnisse des Visualtrainings

CF benötigt ihre Prismenbrille nur an der Universität, und zwar ausschließlich nach längeren Konzentrations- und Naharbeitphasen. Im Alltag setzt sie die Brille kaum noch auf. Nach wie vor hat sie leichte Probleme bei schlechten Lichtverhältnissen. Durch das Training ist sie jedoch in der Lage, wesentlich längere Naharbeitsphasen auszuhalten. Früher musste sie diese Tätigkeiten auf Grund von Beschwerden und Konzentrationsschwierigkeiten oft schon nach 30min abbrechen. CF hält den

Kopf auch ohne Prismenbrille nicht mehr schief. Auftretende Sehschwankungen können spontan durch das Aufsetzen der Prismenbrille behoben werden. Diplopie tritt kaum noch auf und kann im Bedarfsfall sofort durch bewusstes Steuern der Augen abgestellt werden.

CF berichtete im Verlauf des Trainings, dass sie durch kurze *VT*-Übungen (Augenbewegungen, Brockstring etc.) anklingende Kopfschmerzen ohne Medikamente abstellen konnte.

2 Monate nach Beendigung des Trainings konnte CF mitteilen, dass sie ihre Brille nur noch ca. 1 mal pro Woche für wenige Stunden benötigt und ansonsten beschwerdefrei ist.

bDie Sehfunktionen konnten bis auf die *BAF* und *FCC*-Werte alle in die Normbereiche angehoben werden. Defizite in diesen Werten basieren auf einem Anstieg des *AC/A* von 2 auf 6cm. Durch den daraus resultierenden hohen Anstieg der akkommodativen Konvergenz kann Minus nur bedingt durch fusionale Divergenz kompensiert werden (siehe hierzu auch Kap. 6.5.4 und 6.5.6).

CF zeigte im Verlauf des Trainings immer wieder starke Schwankungen in ihren Sehfunktionen. Es gab Tage, an denen sie problemlos alle Übungen absolvieren konnte. Dann wieder andere, an denen ihr bereits geringe Werte an *Bi* oder Minus Schwierigkeiten bereiteten. CF hätte sicher noch einige Trainingseinheiten benötigt, um ihr Sehen in einen dauerhaft stabilen Zustand zu bringen. Wie allen anderen Probanden wurde ihr empfohlen, wenigstens ein mal pro Woche *Eccentric Circles* und Akkommodationsübungen als Aufrechterhaltungsprogramm zu absolvieren.

Dennoch kann der Ausgang des Trainings als Erfolg gewertet werden, weil sich alle Sehfunktionen, vor allem aber Akkommodationsamplituden, *NPC*, Divergenzbreiten in der Nähe und *MAF*-Werte sowie die *FD_(USA)*-Kurven kontinuierlich verbesserten (*FD_(USA)*-Kurven: siehe 6.5.5). Dieser Trainingserfolg ist weitestgehend auf die sehr hohe Motivation und das große Interesse der Probandin an guten Ergebnissen zurückzuführen.

Obwohl CF stets berichtete, dass sich ihr Sehen mit der Prismenkorrektur immens stabilisierte, konnten am Polatest erstaunlicherweise nach dem Training nur noch $0,75^{\text{cm}}/\text{m}$ *Bi* und $0,25^{\text{cm}}/\text{m}$ *BuR* festgestellt werden. Diese Korrektur wurde hauptsächlich am Zeiger und nur gering am Valenztest ermittelt. Trotz dieser geringen Werte wies CF ohne Prismen kein Stereosehgleichgewicht auf. Es ist anzunehmen, dass ihr vor allem die vertikale fusionale Vergenz Probleme bereitete, welche durch die alte Korrektur aufgefangen werden kann. Die verbleibenden sensorischen Defizite in ihrem visuellen Status, könnten die noch gelegentlich auftretenden Funktionsstörungen und Schwankungen im Sehen hervorrufen. Der Visus von CF konnte gehalten werden. Während der MKH zeigten sich keine Hemmungen. Der D5-Test und die RD-Teste konnten ohne Verzögerungen und in voller Tiefe ausgewertet werden.

Am Nahpolatest zeigte CF erstmals eine Nahesophorie von $2,5^{\text{cm}}/\text{m}$ am Kreuztest. Durch eine Addition von +0,5dpt konnte diese vollständig korrigiert werden. Der Probandin wurde empfohlen, sich für die Naharbeit eine Lesebrille dieser Stärke anzuschaffen, falls sich weiterhin Probleme beim Lesen zeigen sollten. Die Nahesophorie ist ebenfalls auf den *AC/A*-Anstieg nach dem Training zurückzuführen.

Zusammenfassung

CF konnte ihre Lebensqualität nur durch eine kombinierte Behandlung ihrer sensomotorischen Störungen mittels MKH-Prismen und *VT* deutlich anheben. Sie wurde im Studium leistungsfähiger, akute Beschwerden konnten signifikant reduziert werden.

Ihre Sehfunktionen zeigen, entweder aufgrund einer nach dem Training auftretenden *AC/A*-Erhöhung oder durch verbliebene geringe sensorische Anomalien in ihrem visuellen Status (fehlendes Stereosehgleichgewicht), vor allem in der binokularen Akkommodationsdynamik weiterhin geringe Defizite.

Es wäre interessant, herauszufinden, ob die *AC/A*-Erhöhung aufgrund des Trainings provoziert wurde oder ob dadurch lediglich die Ursache für schon vorher bestehende Probleme mit Minuswerten offen gelegt werden konnten. Da noch in weiteren *VT*-Fällen ähnliche Prozesse abliefen, wurde im Kap. 6.5.6 (Einfluss Nahexophorien) auf mögliche theoretische Hintergründe vertiefend eingegangen.

KM: Exophorie mit unbestimmbarem Status → Konvergenzinsuffizienz

KM wies vor der Prismenkorrektur ebenfalls eine unterkorrigierte Hyperopie von +1,25dpt auf. Sie trug ihre Pluswerte jedoch 4 Wochen vor der Prismenkorrektur. Durch die sphärozyklindrische Korrektur veränderten sich weder die $AP_{(D)}$ noch Defizite in den Sehfunktionen.

Beschwerden

Seit ihrem 12. Lebensjahr litt die Probandin einmal pro Woche an einer starken Migräne. Der Schmerz zog sich vom Nacken bis zu den Schläfen. Sie verspürte dabei Druck auf den Augen. Oft dauerten ihre Kopfschmerzen 2 Tage an. Zusätzlich hatte sie Konzentrationsprobleme nach längeren Leseperioden von ca. 1h. Ihre Augen brannten dann oft und sie hatte Schwierigkeiten, zu fokussieren.

Sehfunktionseinschränkungen

KM hatte wie alle anderen Probanden auch einen Akkommodationsexzess. Sie zeigte Defizite in ihren Augenfolgebewegungen, den Akkommodationsamplituden, *NPC*, *MEM* (zu gering) und in der Nahkonvergenzbreite, so dass ebenfalls eine Konvergenzinsuffizienz diagnostiziert wurde. Die dynamischen Tests waren alle leicht auffällig. Plus und Ba bereiteten ihr allerdings mehr Schwierigkeiten.

Prismenkorrektur

Bei KM ließ sich auf den ersten Blick eine $FD_{(D)}$ I ermitteln, da die Kreuzkorrektur von $6,0^{cm}/m$ Bi die Exo-Wahrnehmung am Zeigertest vollständig korrigierte. Mit dieser Korrektur konnte jedoch kein Stereosehgleichgewicht hergestellt werden, wodurch der Status ungeklärt blieb. Der Visus der Probandin war jedoch auf beiden Augen gleich hoch ($1,5^{-2}$). Sie zeigte Hemmungen auf dem rechten Auge und hatte keine Einschränkungen am D5 oder an den RD-Testen.

Am Nahpolatest nahm KM nur den Zeigertest in Exostellung, jedoch keinen weiteren Test wahr.

Mit der Prismenkorrektion lösten sich all ihre Beschwerden fast vollständig auf. Kopfschmerzen waren nur noch sehr selten, und dann maximal einen halben Tag lang, zu verzeichnen. KM gab trotzdem ehrlicherweise zu, dass sie die Brille in Zukunft aus Gründen der Ästhetik und des Komforts nur gelegentlich tragen würde.

Am Polatest zeigte sich auch in ihrem Fall ein Prismenwertanstieg von $3,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi, der erneut den Zeigertest auswandern ließ und am Kreuztest voll korrigiert werden konnte. KM hätte diese Korrektur unter keinen Umständen annehmen wollen, da die bereits getragenen Prismen trotz höher brechender Gläser und kleiner Fassung ihren Anspruch an Ästhetik nicht entsprach.

Die bestehenden Hemmungen, die Nahexophorie und ein fehlendes Stereosehgleichgewicht konnten in der Korrekptionszeit von 2 Monaten nicht aufgelöst werden.

Die Prismenkorrektur ließ ihre Konvergenzbreiten und ihre monokulare Akkommodationsdynamik deutlich und die Vergenzdynamik knapp über den Normwert hinaus ansteigen. Die AA- und NPC-Werte blieben dabei unangetastet. Mit dieser Prismenkorrektur zeigte KM eine deutliche AC/A-Erhöhung auf 7cm. Diese Reaktion ähnelte dem Fall CF, die ebenfalls eine Exophorie besaß und erst nach dem VT einen Anstieg im AC/A-Verhältnis auf 6cm zu verzeichnen hatte. Auch KM bekam daraufhin binokulare Probleme mit Minuswerten, so dass sie ebenfalls den BAF-Test nicht bewältigte.

Laut amerikanischer Theorie wird ein Ansteigen des AC/A-Verhältnisses nach einer prismatischen Korrektur nicht erwartet. Trotzdem geben im Kap. 5.5 die Theorien der Verhaltensoroptometristen Aufschlüsse zu diesem Phänomen. Demnach sind Exophorien lediglich verfestigte Anpassungserscheinungen visueller Systeme, die während der Naharbeit zu Überkonvergenzen neigen. Wird die verfestigte Exophorie jedoch aufgelöst, könnte das eigentliche Problem (hoher AC/A) zu Tage treten.

Die Ergebnisse ließen darauf schließen, dass sich bei KM vor allem dann erneute Schwierigkeiten einstellen könnten, wenn sie die Brille längerfristig absetzen würde.

Aus diesem Grunde stimmte sie einem Visualtraining zu. Ihr Ziel war dabei, die Pluskorrektur bzw. die Prismenkorrektur nur gelegentlich zum Erhalt ihrer Beschwerdefreiheit tragen zu müssen.

Visualtraining

Mit dem VT wurde des Weiteren angestrebt, die noch defizitären Sehfunktionen anzuheben und eventuell ein Stereosehgleichgewicht am Polatest herzustellen. KM trainierte vom 2. August 02 bis zum 21. November 02 und nach den Abschlussuntersuchungen kontinuierlich nur noch 1 mal pro Woche als Erhaltungsprogramm. Es wurden 12 Trainingseinheiten absolviert.

KM erzielte zu Beginn ihres Trainings große Fortschritte, obwohl sie ihre Brille nicht mehr trug. Im weiteren Verlauf bekam sie jedoch massivere Probleme mit Minus und Bi-Werten. Aus diesem Grunde wurde ihr empfohlen, zumindest die Pluswerte regelmäßig zu tragen, weil diese für das Training sehr unterstützend wirkten. Leider nutzte sie ihre sphärozyklindrische Korrektur nicht regelmäßig. Deshalb könnte die Probandin im Vergleich mit allen anderen die meisten Schwierigkeiten beim Erreichen der gewünschten Endresultate gezeigt haben.

Besonders schwer fiel ihr, Feedbackmechanismen zur willentlichen Konvergenz und Divergenz zu benutzen. Aus diesem Grund gelang es ihr nur mühsam, eine abreißende Fusion wieder aufnehmen zu können.

Zusätzlich zum Fern- und Vertikaltraining wurden folgende Übungen abgeschlossen:

Convergence Insufficiency		
CATEGORY	ENDPOINT	DATE COMPLETE
VOLUNTARY CONVERGENCE		
• Brock String	1 inch	12. Aug. 02
• Bug on String	1 inch	Divergenz ruckartig
• Voluntary Convergence	can voluntarily converge with control	nur mit Hilfe eines Stiftes oder Finger
BINOCULAR (NON-COMPUTER)		
• Vectograms: Base Out		
Quoits	25 base out	18. Sept. 02
Spirangle	25 base out	-
• Vectograms with Modifications to create jump vergence demand		ok
Cover/Uncover	25 base out	ok
+/- Flip Lenses	25 base out	-
2 targets at different settings	25 base out	-
• Vectograms Base In		-
• Vectograms with modifications to create jump Base In demand	12 base in	-
Quoits	12 base in	nur bis 6cm/m Bi
Spirangle	12 base in	nur bis 6cm/m Bi
• Aperture Rule: Base Out	card number 12	2. Okt. Kon. bis Karte 11
• Aperture Rule: Base In	card number 6	2. Okt. Div. bis Karte 5;
• Eccentric Circles: Base Out	4 inch separation	26. Sept. 02
• Eccentric Circles: Base In	2 inch separation	nicht ganz
• Eccentric Circles with rotation and versions	BO & BI with cards held together	nein
BINOCULAR (COMPUTER)		
• Computer Orthoptics RDS: Base Out	45 base out	16. Okt. 02
• Computer Orthoptics RDS: Base In	15 base in	29. Aug. 02
• Computer Orthoptics RDS :Jump-Jump Verg	30 base out to 10 base in	nein
ACCOMMODATION		
• Near-Far Hart Chart	10 feet to 2 inches	11. Sept. 02
• Monocular loose lens rock : + to - lenses	+2.00 to -6.00 (20/30 print)	21. Okt. 02
• Binocular accommodative rock using:		21. Nov. 02
Bar Reader	+1.50/-1.50 (+2,5/-2,50)	21. Nov. 02
Vectograms	+1.50/-1.50	nein
Aperture Rule	+1.50/-1.50	nein
Eccentric Circles	+1.50/-1.50	
OCULAR MOTOR (NON-COMPUTER)		
• Hart Chart Saccades (1/10)	complete in 15 seconds, no errors	11. Sept.02
• Hart Chart Saccades (2/9,3/8,4/7,5/6)	complete in 120 seconds with no errors	11. Sept 02
• Letter Tracking	complete in 60 seconds with no errors	2. Okt. 02
OCULAR MOTOR (COMPUTER)		
• Pursuit man (random, speed 2)	90% for 2 minutes	16. Okt. 02
• Arrow Saccades	0.80 latency, 90% accuracy, 2 minutes	26. Sept. 02

Tabelle 6.5-3

Ergebnisse des Visualtrainings

KM konnte ihre Konvergenzbreiten sowie Akkommodationsamplituden anheben und sich in den dynamischen Testen weiter steigern. Ihre Nah-Divergenzbreite wurde jedoch erneut auffällig. Es normalisierten sich nur ihre NRA und PRA-Werte.

Am Polatest zeigte auch diese Probandin eine Reduktion der $AP_{(D)}$ auf 4cm/m Bi. Sie hatte keine Hemmungen mehr und ihre Nah-Exo-FD_(D) konnte abgebaut werden. Dies ist eindeutig auf das Training zurückzuführen, da sich die Nahexophorie über den gesamten Zeitraum ihres Optometriestudiums als stabil und sehr gut reproduzierbar erwies. Selbst die Prismenkorrektur zeigte in der Korrektionszeit nicht den geringsten Einfluss auf den Nahstatus. Durch das Training konnte allerdings kein Stereosehgleichgewicht hergestellt werden.

Nach dem Training haben sich die Beschwerden von KM nicht wieder eingestellt. Es wurden jedoch auch keine wesentlichen Verbesserungen wahrgenommen. Ihre Hyperopiekorrektur trägt sie nur zu Hause oder wenn ihre Augen müde werden. Nach 2 Monaten nahm sie keine weiteren Verschlechterungen wahr. KM berichtete jedoch, dass ihre wöchentlichen Übungen zur Aufrechterhaltung ihres Status jedes Mal für gewisse Zeit eine spürbar positive Wirkung zeigen.

Zusammenfassung

KMs Beschwerden haben sich hauptsächlich durch die Prismenbrille abstellen lassen. Das Training könnte dazu beigetragen haben, dass sich ihr Status nach dem Absetzen der Prismenbrille nicht wieder verschlechterte und keine erneuten Beschwerden auftraten. Trotzdem konnte das Visualtraining nicht in allen Übungen erfolgreich abgeschlossen werden. Die Schwierigkeiten resultierten aus einer unkorrigierten Hyperopie von +1,25dpt und einem hohen AC/A. Gerade diese Kombination rief Probleme mit Bi- und Minuswerten hervor.

Das Training konnte jedoch eine bestehende Nahexophorie abbauen und Hemmungen reduzieren.

6.5.3 Anamneseauswertung

Auswirkungen des Trainings

Im Kap. 6.5.2 wurden fallspezifisch alle Auswirkungen des VTs auf Asthenopien und Sehstörungen beschrieben. Durch das Training erlernten die Probanden Feedbackmechanismen, die ihnen halfen, ihr Sehen qualitativ einzuschätzen und potentiellen Störungen durch bewusstes Anwenden von Steuermechanismen für das Sehen entgegenzuwirken. Alle Probanden waren nach dem Training in der Lage, ihre Prismen ganz abzusetzen oder sie nur gelegentlich, bei auftretenden Beschwerden, ohne Eingewöhnungsprobleme zu benutzen. EK trägt die Brille z.B. nur im Kino oder nach Meditationsübungen, wenn sich ein Akkommodationskrampf entwickelt. CF nutzt die Brille nur an der Universität, nach langen Konzentrationsphasen, vielen Blickwechseln oder wenn schlechte Lichtverhältnisse ihr Sehen herabsetzen. EM verzichtet gänzlich auf die Prismen, da ihr Problem durch eine aufgelöste latente Hyperopie hervorgerufen worden war und erfolgreich abgestellt werden konnte. KM benötigt lediglich ihre Hyperopiekorrektur von Zeit zu Zeit, und zwar nur dann, wenn sie viel liest oder müde ist.

Wurden Beschwerden auf das Training zurückgeführt?

Alle Probanden konnten während der VT-Phase keine Beschwerden auf das Training zurückführen. Die Probanden beschrieben, dass ihre Augen nach den Übungen manchmal etwas müde waren. Gelegentlich kam es zu einem leichten Druckgefühl in der Augenpartie. Diese Symptome lösten sich jedoch nach kurzer Zeit (innerhalb von 20 min) wieder auf. Danach nahmen vor allem zwei Probandinnen eine Art Entspannung der Augen wahr. Teilweise belebten die Übungen auch den Kreislauf.

Bei einer Probandin konnten anklingende Kopfschmerzen oft durch das Training aufgelöst werden. Alle Probandinnen wurden regelmäßig darauf hingewiesen, nicht länger als 20 min am Tag zu üben. Werden Asthenopien durch das Training erzeugt, so ist dies immer ein Zeichen dafür, dass zu lange trainiert wurde. Zu viel Training kann sich sogar beeinträchtigend auf den visuellen Status auswirken. Aus diesem Grunde waren die Probanden angehalten, ihre Symptome genau zu beobachten.

Einfluss auf die Lebensqualität

Alle 4 Probandinnen gaben an, dass sich ihre Lebensqualität durch das Training verbessert habe.

Am meisten schätzten sie, ihre Brillen nicht mehr ständig tragen zu müssen. Eine Probandin war erst durch das Training in der Lage, ihrem Berufswunsch nachzugehen, da ihr das *VT* ermöglichte, lang anhaltende Naharbeit auszuführen.

Motivation

Von den 4 Probandinnen hatten 2 Probleme mit der kontinuierlichen Motivation für das Training. Bei EK erschwerte die bestehende räumlichen Distanz die Einhaltung der wöchentlichen Sitzungstermine. Sie war gezwungen, sich ständig selbst hinsichtlich Überwindung der äußeren Umstände zu motivieren, Alle Probanden gaben an, dass sie immer dann am meisten Motivation entwickelten, wenn sie die Übungen leicht absolvieren konnten.

Es kann festgestellt werden, dass motivierte Probanden am schnellsten und deutlichsten Erfolge erzielen. Daraus kann man schließen, dass die wichtigste Aufgabe eines Trainers darin besteht, angemessene Ziele zu setzen und den Probanden immer darüber aufzuklären, welchen Sinn die ausgewählten Übungen haben.

Es fiel auf, dass die meisten der Probandinnen ihre ursprünglichen Beschwerden im Trainingsverlauf vergaßen. Aus diesem Grund sollte man der Empfehlung verschiedener Autoren nachgehen und den Probanden nahe legen, während des Trainings ein Tagebuch zu schreiben. In diesem Tagebuch sollten alle Beschwerden vor dem *VT*-Beginn und die trainingsbedingten Veränderungen aufgeführt werden. Für jede Hausaufgabe sollten hier alle Schwierigkeiten und Erfolge dokumentiert werden. Mit diesem Hilfsmittel könnte man die Probanden besser zum Training motivieren, die erreichten Fortschritte würden deutlicher nachvollziehbar werden.

Training oder Prismen?

Alle Probanden gaben an, dass sie nach ihren Erfahrungen mit Prismen und *VT*, zum Abstellen ihrer ursprünglichen Beschwerden, das Training den Prismen vorgezogen hätten. Eine Probandin hätte sich nur dafür entschieden, wenn durch das *VT* auch ohne Prismen-Unterstützung gleiche Erfolge garantiert gewesen wären. Diese Aussagen kamen, obwohl sich zwei Probandinnen oft zum Training überwinden mussten. Die Mehrzahl schrieb eher dem Training die Erfolge beim Abstellen der Beschwerden zu. Grund hierfür scheint die aktive Einbeziehung der Probandin in den Prozess ihres Sehens zu sein. Sie wurden intensiv geschult, das Sehen zu beurteilen und positiv zu beeinflussen. Die Prismenbrillen vermittelten den Probandinnen das Gefühl, abhängig und ausgeliefert zu sein. Dies erwies sich vor allem für die Emmetropen als Problem.

6.5.4 Generelle Einflüsse auf die Sehfunktionen

Während eines Visualtrainings werden wechselseitig eine Vielzahl von Sehfunktionen angesprochen und deren Werte an die Norm angepasst. Aus diesem Grund besteht die Erwartungshaltung, dass sich Sehfunktionen, die durch Prismenkorrekturen nicht angesprochen wurden, infolge des Trainings stabilisieren müssten.

Vor dem Training wurden alle Probanden nur in den wesentlichen Sehfunktionen erneut getestet. Zwischen den Abschlusskontrollen der Prismenstudie und dem Beginn des Trainings lagen leider unvermeidliche, verschieden lange Zeitspannen. EK begann ihr Training schon nach einem Monat, KM erst nach 5 Monaten, EM nach 2 Monaten und CF nach 2,5 Monaten.

EK setzte ihre Prismenbrille nach ca. 1-2 Wochen Visualtraining ab. KM trug ihre Prismenbrille mit Trainingsbeginn gar nicht mehr. EM nutzte ihre Brille bis 2 Monate vor Trainingsende und CF immer nur dann, wenn sie Beschwerden wahrnahm (zum Ende ca. 1 Mal pro Woche). Den Probanden wurde bewusst freigestellt, wann sie ihre Brille aufsetzen. In erster Linie stand der Erfolg der Therapie im Vordergrund. Daher wurde auf die Bedürfnisse der Probanden und nicht auf einheitliche wissenschaftliche Intervalle Wert gelegt.

Nach Abschluss des Trainings sind vor den Untersuchungen 1 Woche lang keine Übungen mehr angesetzt worden. Nur EK bildete dabei eine Ausnahme, weil sie leider erst 1,5 Monaten nach Abbruch des Trainings zu den Nachuntersuchungen erscheinen konnte. Sie ist auch die einzige, die das Training aus zeitlichen und Motivationsgründen nicht ganz zu Ende führte (siehe Kap. 6.5.2).

Alle Abschlusskontrollen der Sehfunktionen wurden ohne prismatische, jedoch mit sphärozyklindrischer Vollkorrektur durchgeführt.

Folgende Diagramme geben Auskunft über die Werte der Sehfunktionen einer ersten Messung vor der Prismenkorrektur (vor Pr.-Korr.), mit der Prismenkorrektur (mit Pr.-Korr.), vor dem *VT*-Beginn (vor *VT*) und nach Abschluss des *VTs* (nach *VT* ohne Prismen). Die blaue Linie gibt Aufschluss über den jeweiligen Normwert der Sehfunktion und der hellblaue Bereich über die Richtung unauffälliger Werte. Bei einigen Sehfunktionen zeigt der hellblaue Bereich jedoch die Normspanne innerhalb der einfachen Standardabweichung an (z.B. *AA*, *NPC*, *NRA*, *PRA*, *MEM*, *FCC*). Auf der x-Achse wurden jeweils die Initialen der Probanden, auf der y-Achse die Höhe der Messwerte abgetragen. Die eckigen Messwertpunkte kennzeichnen die Ergebnisse der Prismenstudie, die runden dagegen die der *VT*-Studie. Rote Punkte bezeichnen die Ausgangswerte und grüne die Ergebnisse nach Abschluss der Korrektur bzw. Therapie.

Einfluss auf die monokulare Akkommodationsdynamik (*MAF*)

Wie dem Kap. 6.4.3 entnommen werden kann, hatten die MKH-Korrekturen in der Korrektionszeit von 1-2 Monaten nur bei wenigen Probanden einen positiven Einfluss auf die monokulare Akkommodationsdynamik. Hierzu gehörten KM und CF, die in den Nachkontrollen knapp den Normwert von 11^R_{\min} überschritten.

Vor dem *VT*-Beginn sanken die *MAF*-Werte jedoch bei EM auf null und bei CF bis kurz unterhalb des Normwertes. Leider wurden diese Werte bei EK vor dem Training nicht erhoben. Ein möglicher Grund für die leichte Reduktion der Werte könnte darin bestehen, dass die Probanden bis zum Trainingsbeginn die Prismenbrille in ihrer Freizeit häufiger absetzten. Aus dem Diagramm 6.5-1 geht eindeutig hervor, dass nach dem Training ausnahmslos eine enorm hohe Dynamik erzielt worden ist. Die Werte lagen alle zwischen 17 und 20 Runden pro Minute.

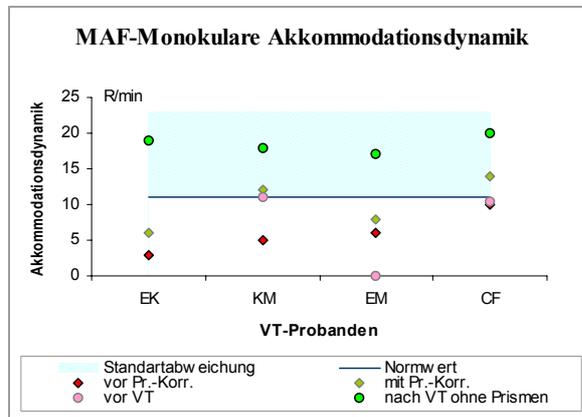


Diagramm 6.5-1

Einfluss auf die binokulare Akkommodationsdynamik (BAF)

Erstaunlicherweise zeigte EK schon nach einem weiteren Monat mit der getragenen Prismenkorrektur den enorm hohen *BAF*-Wert von $18^R/\text{min}$. Auch KM hatte innerhalb der 5 Monate, in denen sie sporadisch Prismen trug, einen leichten Anstieg dieses Testwertes zu verzeichnen, so dass sie schon vor dem Training in die Norm fiel.

Nach dem Training konnten sich vor allem KM und EM weiter steigern.

Leider bestand CF am Ende der amerikanischen Messungen den Test der binokularen Akkommodationsdynamik nicht, weil ihre Fusion schon nach 3 Runden für Minuswerte abbriss. Im Kap. 6.5.2 wurde in ihrer Fallbeschreibung auf mögliche Ursachen und Hintergründe eingegangen (AC/A-Erhöhung, sensorischen Instabilität).

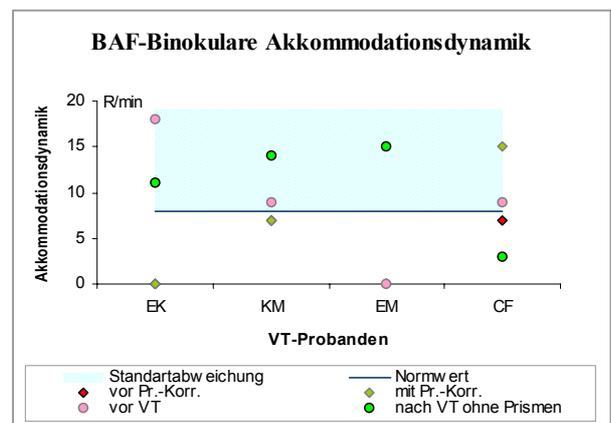


Diagramm 6.5.4-2

Einfluss auf die Vergenzdynamik

Obwohl bereits die Prismenkorrekturen bei 8 von 10 Probanden die Vergenzdynamik optimieren konnten, traten bei CF Probleme mit Bi und bei EM mit Ba auf. Nach dem Visualtraining hatten alle Probanden ohne ihre Prismenkorrekturen ausnahmslos hohe *VF*-Werte, die zwischen 17 und $20^R/\text{min}$ lagen. CF zeigte

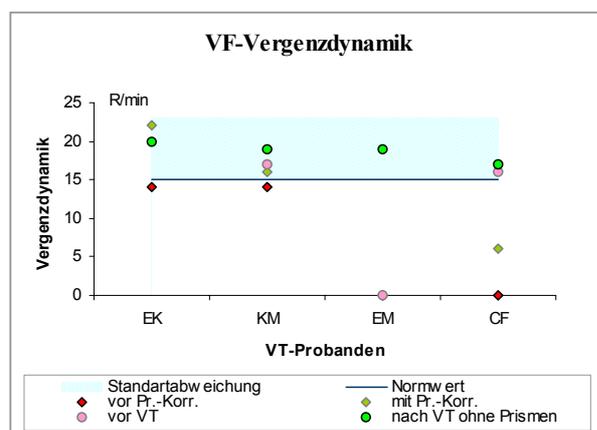


Diagramm 6.5.4-3

nach ihren Problemen mit *BAF*-Minuswerten keine Schwierigkeiten, diese Übung auszuführen. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Zeichen dafür, dass sie Adaptationsprobleme im Akkommodationsystem unter *closed loop* Bedingungen aufweist, jedoch nicht im Vergenzsystem (siehe Kap. 5.4). Der Anstieg ihres AC/A-Wertes von 2 auf 6cm, unterstützt diese These, da eine hoher AC/A auf Schwierigkeiten in der Akkommodationsadaptation hinweist. Somit ist der fusionale Divergenzanspruch in ihrem Fall besonders hoch.

Einfluss auf die Akkommodationsamplituden (AA)

Die Akkommodationsamplituden stiegen nach dem Training vor allem bei EM und CF, die den Trainingsergebnissen zufolge als erfolgreichste *VT*-Fälle bezeichnet werden können. Auch KM wurde durch das Training befähigt, sich zumindest im unteren Normbereich zu verbessern. Nur EKs *AA*-Werte reduzierten sich nach dem Training wieder leicht. Sie blieben jedoch trotzdem eine halbe Dioptrie über ihren ursprünglichen Werten stabil. Grund für diese Reduktion könnten laut Analyse des sensomotorischen Status durch die MKH erneut zeitweilige disparate Fusionen in der Vertikalen und geringfügige Hemmungen sein.

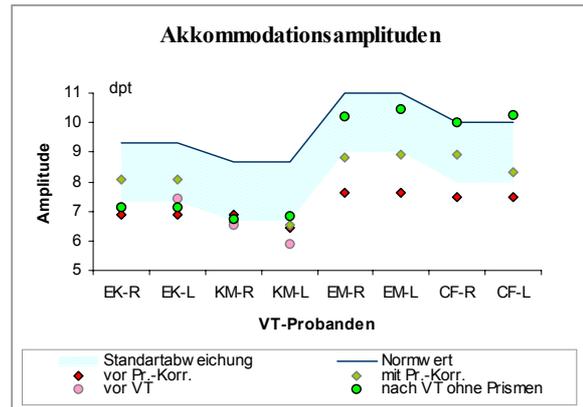


Diagramm 6.5.4-4

Einfluss auf Nahkonvergenzpunkte

Die Nahkonvergenzabreißpunkte konnten bei keinem der vorher auffälligen Probanden (KM, EM, CF) durch die Prismen in die Norm von 5cm angehoben werden. Nach dem Training waren EM und CF erstmalig in der Lage, das Akkommodationsobjekt ohne Diplopierscheinungen bis an die Nasenspitze zu führen. Die Diagramme 6.5-5 und 6 geben Auskunft über die Abreiß- und Wiedervereinigungspunkte dieser Sehfunktion. EM und CF demonstrierten mit ihren Werten, dass die ursprünglichen Konvergenzprobleme durch das Training überwunden werden konnten.

KM gelang diese Übung nur bei Fixation einer Kugelschreiberspitze oder der Brockschnur. Bei detaillierten Akkommodationsobjekten riss die Fusion schon bei 13cm vor den Augen ab. Aus diesen Gründen ist zu vermuten, dass *VT* die Fusionsprobleme nicht eindeutig abstellen konnte.

Die Ursache hierfür ist höchstwahrscheinlich in der fusionsbeeinträchtigenden Hyperopieunterkorrektur von KM zu suchen (siehe Kap. 6.5.2).

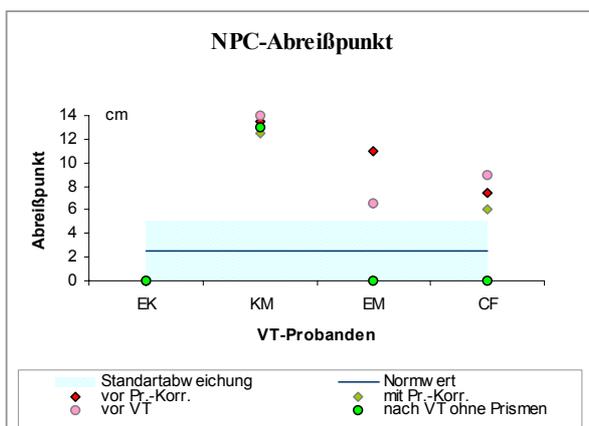


Diagramm 6.5-5

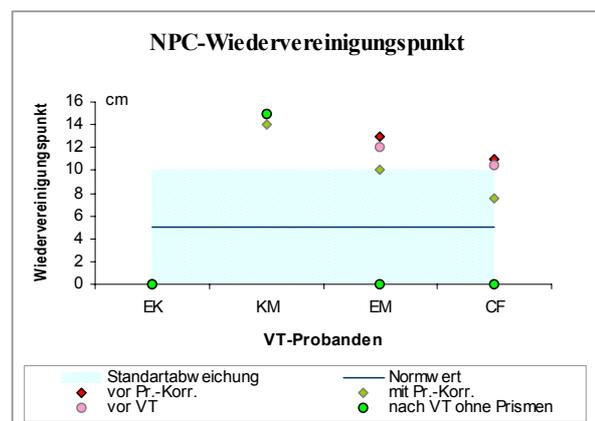


Diagramm 6.5-6

Einfluss auf die Vergenzbreiten

Insgesamt kann festgestellt werden, dass nach dem VT alle Probanden ausnahmslos ihre Vergenzbreiten oberhalb des Normwertes in Ferne wie auch Nähe bringen und halten konnten. Erstaunlich ist hierbei, dass die von den MKH-Korrekturen generell nur wenig beeinflussbaren Divergenzbreiten in der Nähe bei allen 4 Probanden auf 16cm/m, d.h. eindeutig oberhalb des Normwertes, angehoben werden konnten.

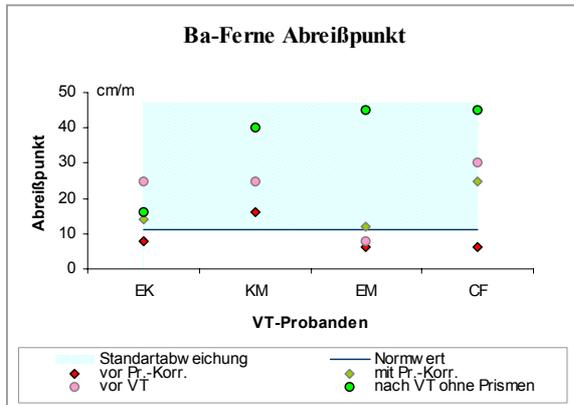


Diagramm 6.5-7

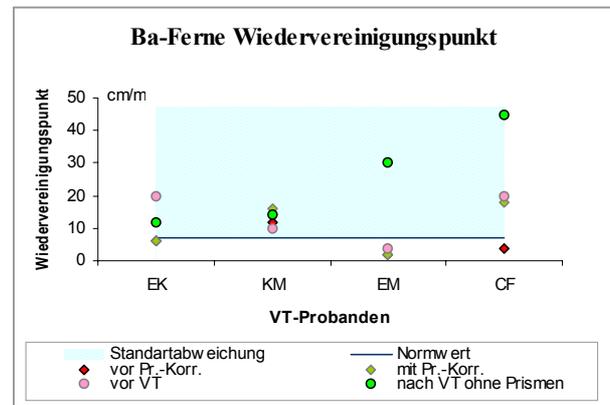


Diagramm 6.5-8

Allgemein zeigte EK von allen Probanden trotz der erreichten Normwerte weniger Vergenzbreiten nach Absetzen der Prismen in der Ferne. In der Nähe konnte sie sich jedoch eindeutig verbessern. Sie ist die einzige Probandin, bei der nicht in der Ferne trainiert werden konnte. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass zumindest bei den erfolgreich therapierten Probanden EM und CF das Ferntraining einen Einfluss auf die Vergenzreserven ausübte.

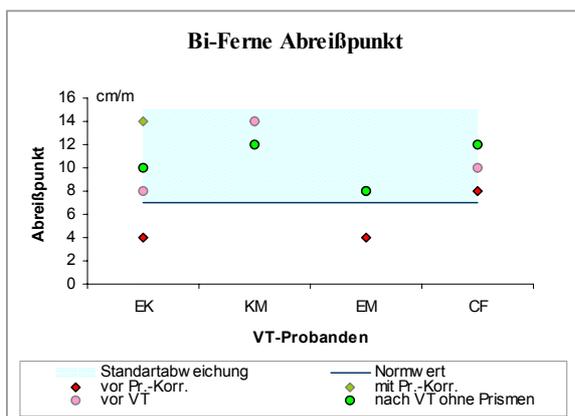


Diagramm 6.5-9

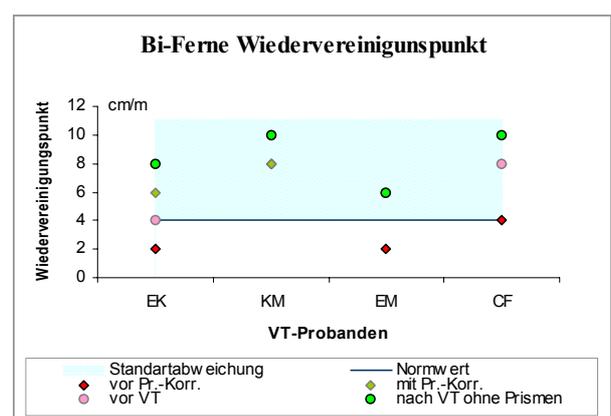


Diagramm 6.5-10

Von allen Probanden zeigte KM die meisten Probleme, bei vorhandener Diplopie Fusion wiederherzustellen. Sie konnte im Training nur wenige Feedback-Mechanismen benutzen, um festzustellen ob sie konvergieren oder divergieren muss. Die meisten Defizite wurden dem jedoch bei dem Divergenz-Wiedervereinigungspunkt deutlich. Mit hoher Wahrscheinlichkeit erschwerte die fehlende Hyperopiekorrektur bei gleichzeitig hohem AC/A diese Sehfunktion. Ihre Schwierigkeiten in dieser Sehfunktion können dem Diagr. 6.5-14) entnommen werden.

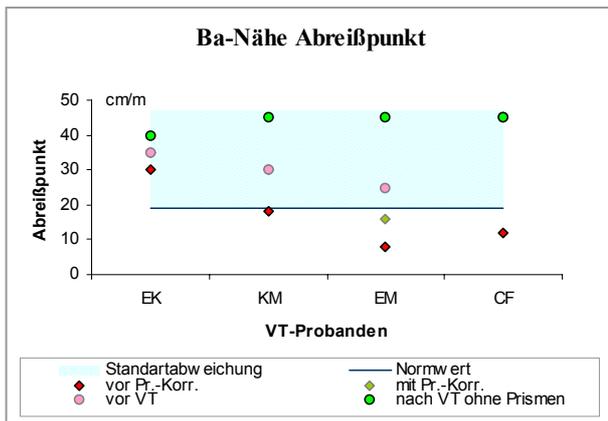


Diagramm 6.5-11

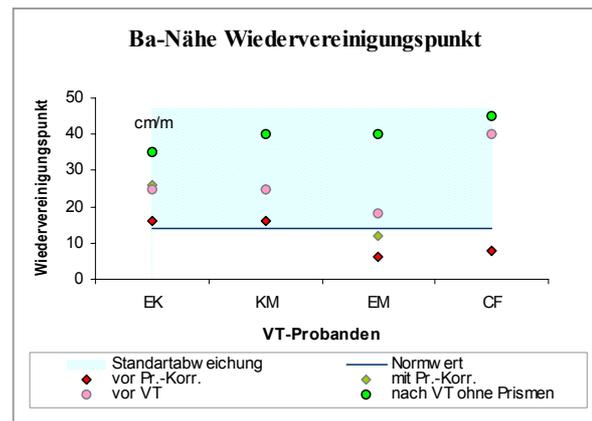


Diagramm 6.5-12

Das Visualtraining hatte enormen Einfluss auf die Konvergenzbreite in Ferne und Nähe bei EM, die vorher auch mit Prismenkorrektur teilweise noch diesbezügliche Probleme zeigte. Dabei erstaunt ebenso, dass EM bei Diplopie sofort die Fusion wieder aufnehmen kann. Diese Sehfunktion wurde eindeutig durchs Training erzielt. Die Probanden wurden ständig angehalten, bei vorhandener oder provozierter Diplopie die Fusion so schnell wie möglich wieder aufzunehmen und dabei auch zu erkennen, in welche Richtung ihre Vergenz bewusst angesprochen werden muss.

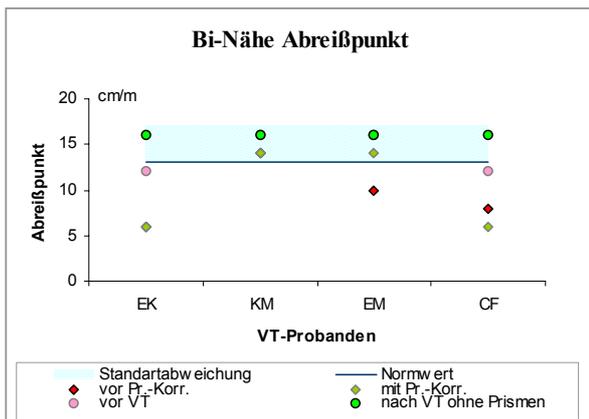


Diagramm 6.5-13

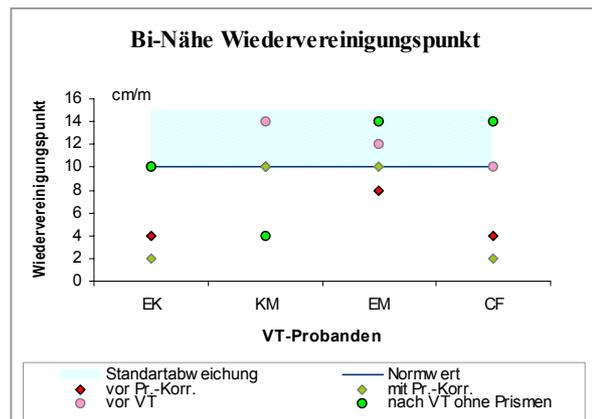


Diagramm 6.5-14

Den Diagrammen 6.5-7 bis 14 können alle Abreiß- und Wiedervereinigungspunkte sämtlicher Messungen der Konvergenz und Divergenz entnommen werden. Am erfolgreichsten konnte sich CF in allen Punkten verbessern.

Auswirkung auf die Akkommodationsantwort

Bei den beiden exophoren Probanden bestand nach dem Training ein hoher AC/A von 6cm. Auch bei EM erhöhte sich der AC/A durch das Training von 2 auf 4cm. Diese Veränderung des *stimulus* AC/A kann man auch an weiteren Sehfunktionen wie z.B. der Akkommodationsantwort wahrnehmen. Die Diagramme 6.5-16 und 16 zeigen alle MEM- und FCC-Ergebnisse, die sowohl innerhalb der Prismen- als auch VT-Studie aufgenommen wurden.

Mit Ausnahme von EK in der Sehfunktion *MEM*, zeigen alle Probanden, die das Training abgeschlossen haben, Messwerterhöhungen in der Akkommodationsantwort. D.h. alle Probanden neigen nach dem Training geringfügig zur Unterakkommodation. Vor allem CF zeigte vor dem Training eine zu starke binokulare Akkommodation in der Nähe, die man auf eine unterstützende Reaktion der bestehenden Konvergenzschwäche (*NPC*) zurückführen könnte. Nach dem Training gelang es, die Konvergenzschwäche aufzulösen. Daraufhin tendierten CF und auch EM in der *FCC*-Funktion eindeutig dazu, für die Sehaufgabe in 40cm Nahabstand ungenügend zu akkommodieren. Oft zeigen Esophorien derartig hohe *FCC*-Werte, weil durch Einsparung akkommodativer Konvergenz die erforderliche fusionale Divergenz reduziert werden kann.

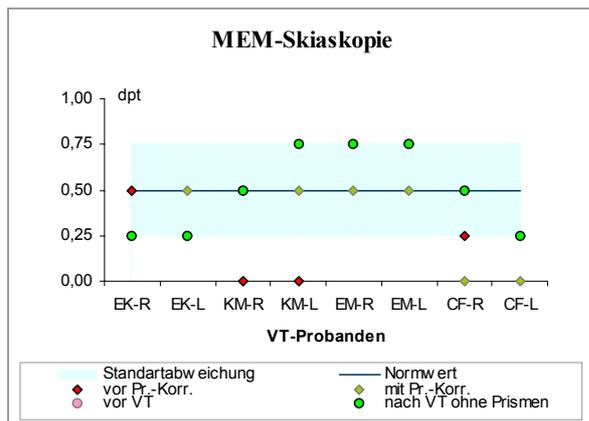


Diagramm 6.5-15

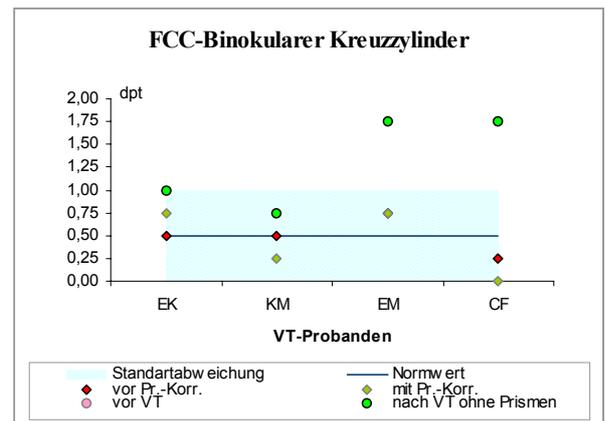


Diagramm 6.5-16

Aus diesem Grund ist schon aus den *FCC*-Ergebnissen, zumindest bei EM und CF, abzulesen, dass diese Probandinnen aufgrund der *AC/A*-Erhöhung zu Überkonvergenzen neigen. Am Nahpolatest wurde bei allen Probanden (bis auf EK, die unauffällig war) eine Reduktion der ursprünglichen Nahhexophorie bzw. trotz Vollkorrektur sogar vollmotorische Nahesophorien am Kreuztest ermittelt. Im Kap. 6.5.6 werden diese Zusammenhänge noch einmal mit Hilfe der in den Kap. 5 erarbeiteten amerikanischen Theorie erörtert.

Einfluss auf die negative und positive relative Akkommodation (PRA und NRA)

Das Training konnte vor allem im Fall KM die PRA und NRA-Werte normalisieren. Der etwas zu hohe NRA-Wert deutete eine latente Hyperopie an, die jedoch aufgrund der Ergebnisse früherer augenärztlicher Untersuchungen ausgeschlossen wurde.

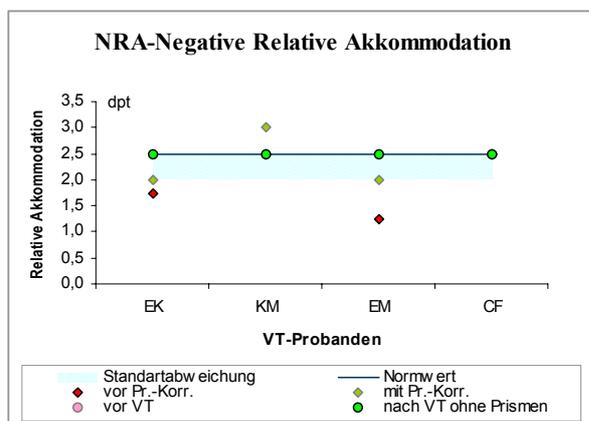


Diagramm 6.5-17

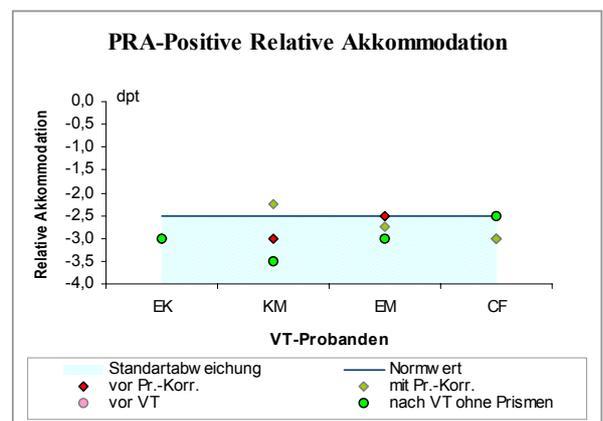


Diagramm 6.5-18

Es erhöhte sich bei KM lediglich der Wert des linken Auges um +0,25dpt nach dem Training bei gleichzeitigem Anstieg des Minuszylinderwertes um -0,25dpt. In allen anderen Fällen konnten die durch Prismen verbesserten Werte in der Norm gehalten werden.

Einfluss auf weitere Sehfunktionen

Nur EK war noch vor Trainingsbeginn in ihren Augenfolgebewegungen auffällig. Ihre Augen bewegten sich teilweise ruckartig und verloren kurzzeitig die Fixation. Nach dem Training konnten diese Unregelmäßigkeiten nicht mehr festgestellt werden.

Die Heterophorien änderten sich nach Absetzen der Prismenbrillen nicht wesentlich. Die Probanden zeigten vor dem Training mit Prismen und nach dem Training ohne Prismen in Ferne und Nähe geringe Exophorien (zwischen $0,5 - 3^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi).

Die Probandin CF besaß eine Phorie *incomitans*. Sie hatte vor der Prismenkorrektion in der Augenposition links oben eine Einstellbewegung am alternierenden *Covertest* von $14^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi und $1,5^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR. Mit den Prismen konnten nur noch $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi und $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR gemessen werden. Nach Absetzen der Prismen wurden die gleichen Werte ermittelt. Aus diesem Ergebnis könnte man laut amerikanischer Theorie schlussfolgern, dass das visuelle System durch das Training die Fähigkeit erworben hat, durch vermittelte Vergenzadaptation den hohen fusionalen Vergenzaufwand in dieser Augenposition zu reduzieren. Subjektiv ist der Probandin diesbezüglich aufgefallen, dass sie ihren Kopf nicht mehr schief hält sowie gerade am Tisch sitzen und arbeiten kann.

6.5.5 Einfluss $FD_{(USA)}$ -Kurven

Ein Visualtraining hat laut amerikanischer Philosophie immer dann Erfolg, wenn rapide Vergenzadaptation erhöht werden können (siehe Kap. 5.3.1). Wird dies erreicht, so flachen die $FD_{(USA)}$ -Kurven vor allem um den Koordinatenursprung (KU) ab. Steile $FD_{(USA)}$ -Kurven zeugen von schlechtem Vergenzadaptationsvermögen und Fusionsproblemen. Probanden ohne Symptome haben häufig Kurven des Typs I, die im Verlauf zwischen $3,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba und Bi nur bis 45° geneigt sind. Die grau gestrichelte Linie symbolisiert den Normwert der Kurvensteigung von 45° . Im Kap. 5.2 wurde die Kurvenanalyse im Detail besprochen.

$FD_{(USA)}$ -Kurven Ferne

EK

In den Diagrammen 6.5-19 bis 21 wurden die Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurven der Probandin EK vor der Prismenkorrektur, nach einem Monat Prismenkorrektur und nach dem Visualtraining dargestellt.

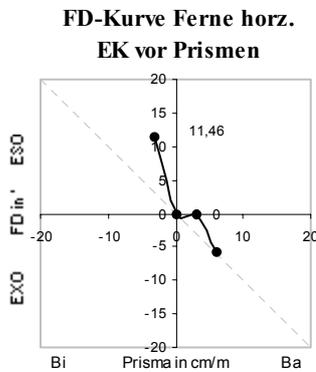


Diagramm 6.5-19

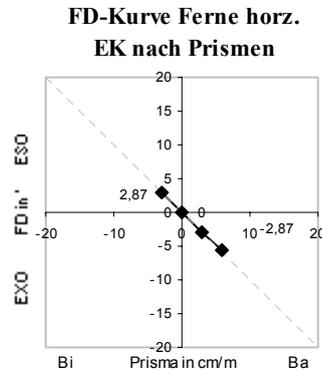


Diagramm 6.5-20

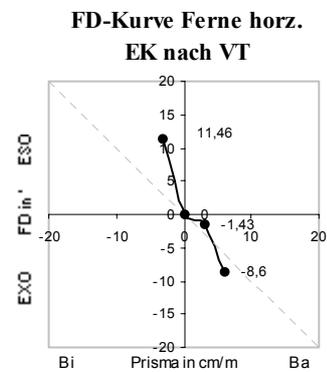


Diagramm 6.5-21

Man kann deutlich erkennen, dass die Prismenkorrektur die Kurve um den Koordinatenursprung abflachen konnten. Nach Absetzen der Prismen wandelte sich die Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurve wieder in ihre ursprüngliche steile Form. Bei EK wurde das Training nicht auf die Ferne ausgedehnt. Die $FD_{(USA)}$ -Kurven in der Ferne scheinen demnach nicht vom Nahtraining angesprochen zu werden. Bei allen anderen Probandinnen zeigten die $FD_{(USA)}$ -Kurven in der Ferne nach dem Ferntraining flachere Kurven.

KM

Bei der Probandin KM kann trotz Prismenkorrektur und *VT* eine geringe Exo- $FD_{(USA)}$ beobachtet werden, die jedoch noch in der Norm lag. Da sich während der Prismenkorrektionszeit Muskeltonus löste, wurden demnach motorische Anteile auch am $FD_{(USA)}$ -Test sichtbar.

Vor der Prismenkorrektur (Diagr. 6.5-22) war die $FD_{(USA)}$ -Kurve extrem steil. Danach wurde die Kurve insgesamt etwas flacher und symmetrischer, jedoch nicht zwischen dem markanten Bereich von 3cm/m Ba bis 3cm/m Bi. Nach dem Visualtraining flachte die Kurve wie gewünscht unter 45° ab. Zusätzlich wurde die Fusionsbreite in Richtung Ba leicht erhöht.

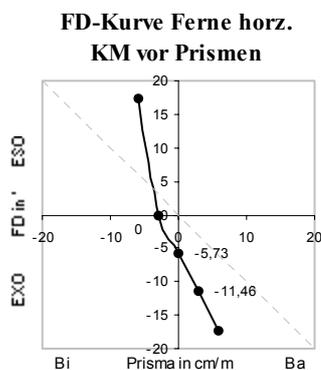


Diagramm 6.5-22

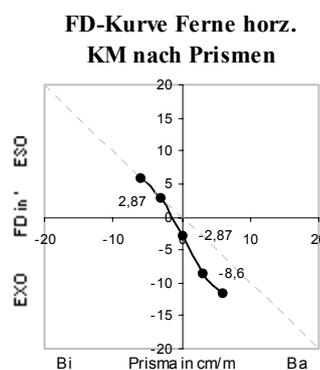


Diagramm 6.5-23

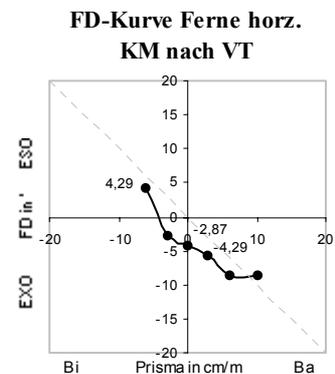


Diagramm 6.5-24

CF

Die Probandin CF zeigte in der Ferne ganz enorme Verbesserungen im Verlauf der $FD_{(USA)}$ -Kurve (siehe Diagr. 6.5-25 bis 27). Vor der prismatischen Korrektur hatte sie eine sehr geringe Fusionsbreite und ansatzweise einen Kurventyp II. Dieser Kurventyp ließ sich auch nicht durch die prismatische Korrektur verändern. Es erhöhte sich jedoch die Fusionsbreite geringfügig. Nach dem Visu-
altraining zeigte CF eine treffende Kurve des Typ I, die in der Mitte unter 45° geneigt war und extrem lang und symmetrisch ausfiel.

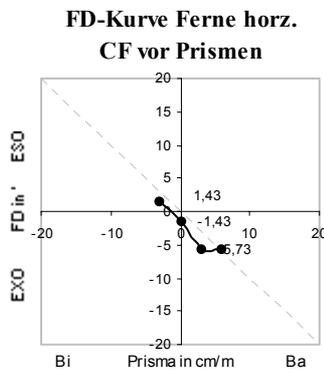


Diagramm 6.5-25

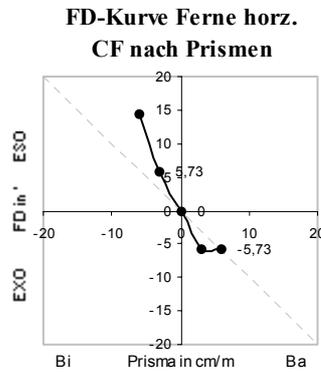


Diagramm 6.5-26

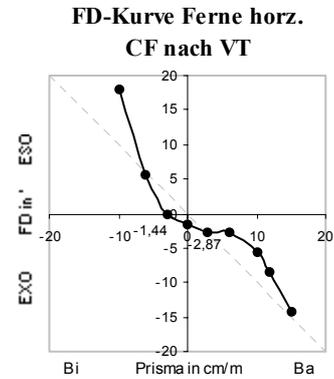


Diagramm 6.5-27

Im Vergleich zu der Kurve des Diagramms 6.5-25 kann man sehr gut nachvollziehen, warum frühere Diplopieerscheinungen mit der erlangten Fusionskraft ausblieben. Solch ein Kurvenverlauf wird nur bei Menschen mit ausgesprochen gutem Binokularsehen erwartet.

EM

Die Probandin EM hatte wie alle anderen vor der Prismenkorrektur eine extrem auffällige $FD_{(USA)}$ -Kurve in der Ferne (Diagr. 6.5-28). Es scheint, als hätte die geringe Ba-Korrektur eine verschlechternde Wirkung auf die $FD_{(USA)}$ -Kurve gehabt (Diagr. 6.5-29). Geringe Ba-Werte ließen die Fusion mit den getragenen Prismen sofort abreißen. Zusätzlich entstand eine nahezu auffällige Exo- $FD_{(USA)}$ in der Ferne. Mit diesem Verlauf deutete die FD-Kurve hier bereits an, dass bei EM ein Richtungswechsel der $AP_{(D)}$ hin zur Exophorie einsetzte, der am Polatest bestätigt wurde. Durch das Training konnten die $FD_{(USA)}$ leicht reduziert werden. Die Kurve verlief erst nach dem VT symmetrisch um den KU (siehe Diagr. 6.5-30).

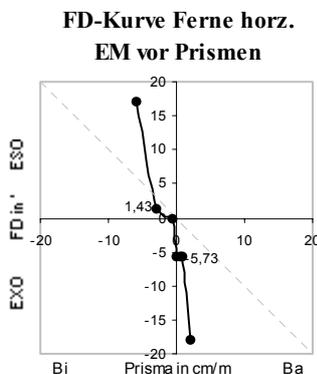


Diagramm 6.5-28

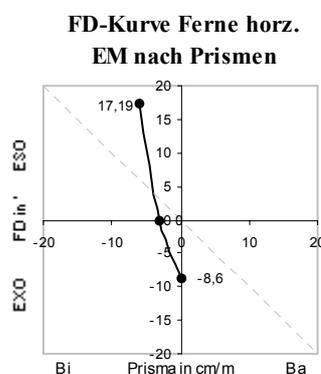


Diagramm 6.5-29

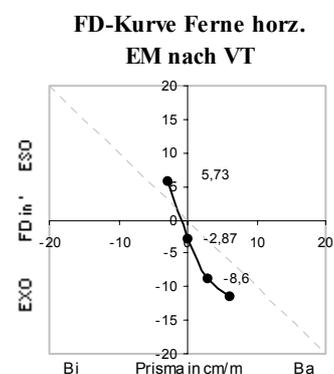


Diagramm 6.5-30

FD-Kurven Nähe

EK

EK hatte vor der Prismenkorrektur eine auffällige Exo- $FD_{(USA)}$, welche durch die Prismen abgestellt werden konnte. Außerdem gelang es, die Fusionsbreite zu erhöhen. Dem unruhigen Kurvenverlauf kann man entnehmen, dass bis zum VT Schwankungen im Akkommodations-Vergenzsystem auftraten (vergleiche Diagr. 6.5-31 bis 32).

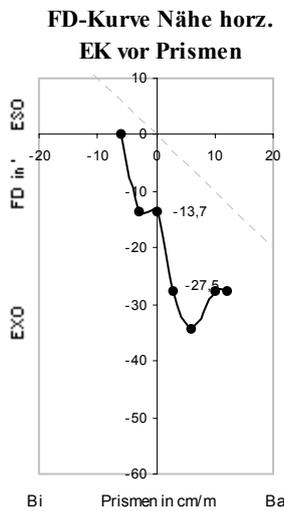


Diagramm 6.5-31

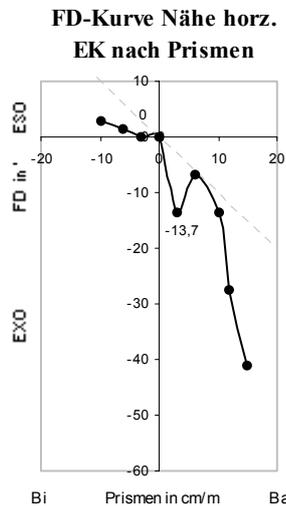


Diagramm 6.5-32

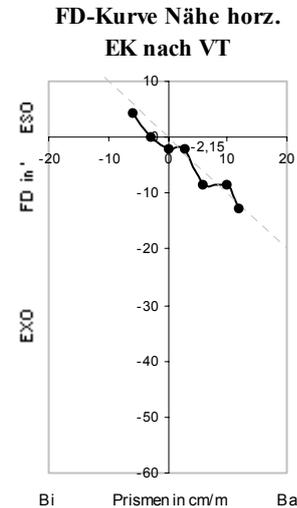


Diagramm 6.5-33

Nach dem Visualtraining zeigte sich zwar wieder eine geringe Exo- $FD_{(USA)}$, die jedoch im Vergleich zur ursprünglichen $FD_{(USA)}$ verschwindend niedrig ausfiel. Die Fusionsbreiten reduzierten sich nach dem VT unerheblich. Aus der geringfügigen Neigung der Kurve kann man dagegen schließen, dass die Fusionskraft angehoben werden konnte. Gleichzeitig wurde die Unruhe im Akkommodations-Vergenzsystem stark reduziert (siehe Diagr. 6.5-33).

KM

Die Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurven der Probandin KM sind schon vor der Prismenkorrektur 45° geneigt gewesen. Durch die Prismenkorrektur konnte dennoch eine bestehende Exo- $FD_{(USA)}$ korrigiert werden. Die FD-Kurve mit prismatischer Korrektur zeigte einen gleichmäßigen symmetrischen Verlauf, wobei sich die Fusionsbreite und die Abflachung erhöhte.

Nach dem Training flachte die Kurve extrem ab, doch es zeigte sich erneut eine minimale Exo- $FD_{(USA)}$. Auch die Fusionsbreiten reduzierten sich wieder etwas. Nur in ihrem Fall hatten ausnahmsweise die Prismen in der Nähe eine optimale Wirkung auf den Verlauf der Kurve (vergleiche Diagramm 6.5-34 bis 36). Es kann jedoch vermutet werden, dass vor allem die unterlassene Hyperopiekorrektur die Reduktion der besprochen Kurvenmerkmale hervorrief. KM trug nur zu dieser Messung ihre Pluswerte.

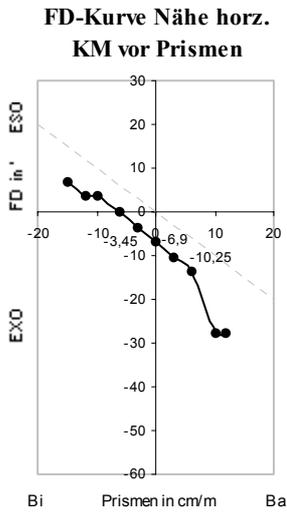


Diagramm 6.5-34

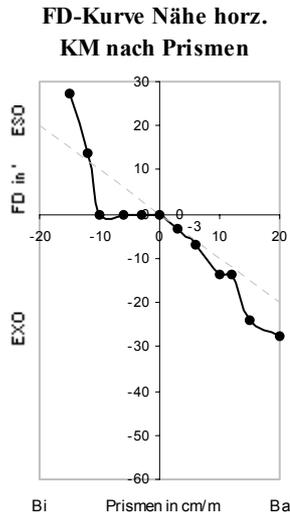


Diagramm 6.5-35

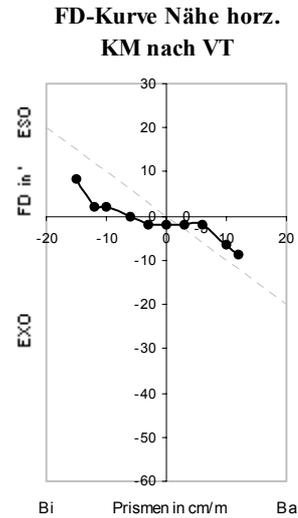


Diagramm 6.5-36

CF

Die Probandin CF zeigte auch in der Nähe eine erstaunliche Wandlung eines ihres seltenen und eigentlich nur schwer beeinflussbaren Kurventyp VI (Diagramm 6.5-37) in einen flachen unauffälligen Kurventyp I (Diagr. 6.5-39). Durch die Prismen konnte die hohe Exo- $FD_{(USA)}$ nicht reduziert werden. Zudem deuten die starken Schwankungen in der Kurve auf einen sehr instabilen Akkommodations- Vergenzzustand. Die Schwankungen könnten jedoch auch als Umwandlungsprozess des sonst sehr rigiden Kurventyps VI interpretiert werden (Diagr. 6.5-38). Nach dem *VT* gelang es, die Exo- $FD_{(USA)}$ vollständig zu reduzieren. Die Kurve ist zwar in Richtung Bi etwas eingeschränkt, zeigt jedoch im Prinzip einen sehr gleichmäßigen stabilen Verlauf (Diagr. 6.5-39).

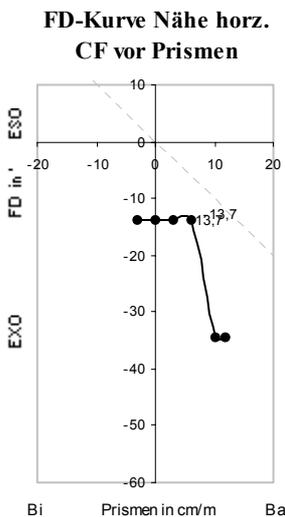


Diagramm 6.5-19

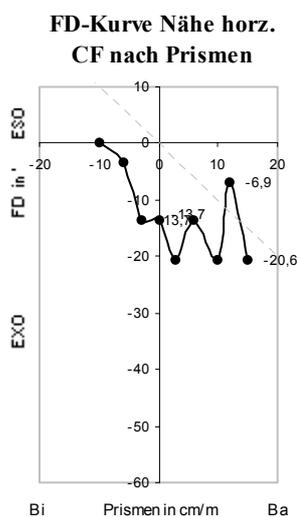


Diagramm 6.5-20

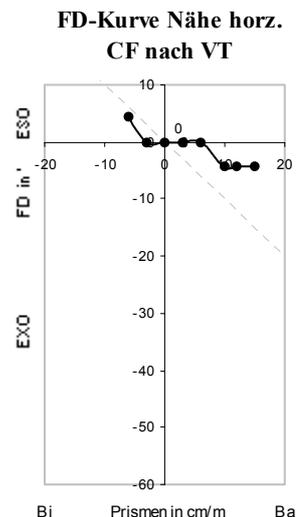


Diagramm 6.5-21

EM

Den Diagrammen 6.5-40 bis 42 können die Fusionsprobleme der Probandin EM im Nahbereich sofort entnommen werden. EM zeigte erst durch das Visualtraining eine deutliche Verbesserung des $FD_{(USA)}$ -Kurventyps und -verlaufs. Sie hatte Mühe, die *Wesson Card* in den ersten beiden Messungen überhaupt zu fusionieren. Die Kurven ähneln dabei einem Kurventyp II, der häufig bei Esophorien vorkommt. In Richtung Ba brach die Fusion durch ihre Nahkonvergenzschwäche sofort ab. Ihre $AP_{(D)}$ betrug vor dem Training 12-15^{cm}/m Bi bei $FD_{(USA)}$ -Werten zwischen 60–55'. Nach dem Training entsprach die Kurve einem Typ I. Sie verlief extrem flach und die große Exo- $FD_{(USA)}$ konnte vollständig reduziert werden. EM zeigte diese Erfolge auch am Nahpolatest, an dem nach dem Training erstmals keine Nahexophorie mehr nachgewiesen werden konnte. Diese Kurve spricht für einen vollen Trainingserfolg.

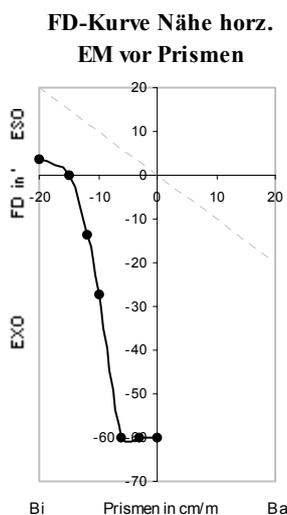


Diagramm 6.5-40

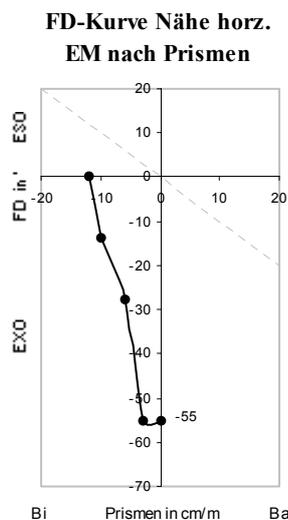


Diagramm 6.5-41

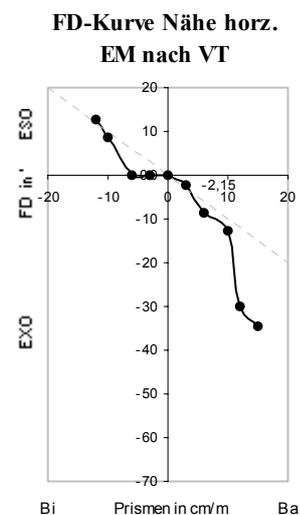


Diagramm 6.5-42

6.5.6 Generelle Einflüsse auf die MKH-Ergebnisse

Sensomotorischer Status nach deutscher Definition

Das Visualtraining konnte den binokularen Gesamt-Status der Probanden kaum ändern (siehe Tab. 6.5-4). Im Fall von EK wurde jedoch zumindest in der Horizontalen eine $FD_{(D)}$ II/ 2 in eine $FD_{(D)}$ II/ 1 gewandelt (siehe Tab. 6.5-5) In der Vertikalen musste der letzte Korrektorschritt jedoch noch immer am Valenztest durchgeführt werden. Da keine Überkorrektionserscheinungen mehr auftraten, konnte ihr Status von einer $FD_{(D)}$ II/ 4 auf eine $FD_{(D)}$ II/ 3 leicht angehoben werden.

Sensomotorischer Status nach deutscher Definition

Pr.	Status nach dtsh. Definition			Korrektion horizontal (cm/m)			Korrektion vertikal (cm/m)		
	vor Pr.-K.	nach Pr.-K.	nach VT	vor Pr.-K.	nach Pr.-K.	nach VT	vor Pr.-K.	nach Pr.-K.	nach VT
EK	II / 4	II/ 4	II/ 3	5,50	5,00	1,50	1,25	1,25	0,50
KM	I oder alt	I oder alt	I oder alt	-6,00	-9,50	-4,00	0	0	0
EM	II / 4 oder älter	II/ 1 oder alt	II/ 3	1,25	-1,00	-0,50	-1,50	-1,25	-0,50
CF	II/ 1	II/ 3	II/ 3	-4,25	-6,50	-0,75	0,75	1,50	0,25

Tabelle 6.5-4

Bei KM und EM konnte der sensorische Status mittels der MKH auch nach dem Visualtraining aufgrund eines fehlenden Stereosehgleichgewichts nicht eindeutig bestimmt werden. KMs AP_(D) wurde erneut am Kreuztest voll korrigiert. Auch bei EM konnte der letzte Korrektorschritt nur am Valenztest gefunden werden. Dabei sind bestehende Prävalenzen nur leicht reduziert worden, während sich Unruhen in der Testwahrnehmung legten. Bei CF wurden noch immer 0,25^{cm}/_m Bi am Valenztest ermittelt, daher blieb auch ihr Status unangetastet.

Horizontale Prismenverteilung

Prob.	Kreuztest (cm/m)			Zeigertest (cm/m)			Stereotest (cm/m)			Valenztest (cm/m)		
	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT
EK	1,00	3,00	-	-	1,00	1,50	3,50	1,00	-	1,00	-	-
KM	-6,00	-9,50	-4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EM	0,50	-1,00	-	0,25	-	-	-	-	-	0,50	-	-0,50
CF	-4,75	-4,50	-	0,50	-1,50	-0,50	-	-	-	-	-0,50	-0,25

Tabelle 6.5-5

Reduktion der AP_(D)-Größe

In allen 4 VT-Fällen konnte die AP_(D) signifikant in horizontaler und vertikaler Richtung reduziert werden (siehe Tab. 6.5-4). Besonders eindeutig lässt sich dieses Phänomen am Beispiel KM beobachten. Die Kommilitonin wurde im Verlauf des Studiums wiederholt mittels der MKH vermessen. Sie zeigte dabei eine erstaunliche Konstanz ihres Phoriewertes, der immer gleich bleibend

Vertikale Prismenverteilung

Prob.	Kreuztest (cm/m)			Doppel-Zeigertest (cm/m)			Hakentest (cm/m)			Stereotest (cm/m)			Valenztest (cm/m)		
	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	nach Pr.-K	nach VT
EK	-	0,50	-	-	-	-	0,50	-	-	0,25	0,75	-	0,50	-	0,50
KM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EM	-0,50	-1,25	-	-0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,50	-	-0,50
CF	-	-	-	-	-	-	0,75	1,25	0,25	-	-	-	-	0,25	-

Tabelle 6.5-6

6,0^{cm}/_m Bi betrug. Die Phorie der Probandin erhöhte sich wie auch im Fall von CF nach der Korrektionszeit um etwas mehr als ein Drittel des ursprünglichen Wertes. Dieser Messwertanstieg wird laut Haase als Aufdeckungsprozess der wahren Phoriegröße bezeichnet. Durch die Entlastung des Vergenzsystems würde sich demnach der plastischer Tonus im Vergenzsystem lösen.

Die Wertereduktion ging vor allem auf fehlende Motorik am Kreuztest zurück. Nach dem Visualtraining konnten hier bei 3 von 4 VT-Probanden (EK, EM, CF), deren Trainingsverlauf besonders erfolgreich verlief, kein Korrektionswerte ermittelt werden (siehe Tab. 6.5-7). Das Kreuz wurde im Falle von EM und CF erstmals ruhig und ohne Hemmungserscheinungen oder Kontrastdifferenzen

Motorische und sensorische Veränderungen insgesamt

Pr.	motorisch horizontal (cm/m)			sensorisch horizontal (cm/m)			motorisch vertikal (cm/m)			sensorisch vertikal (cm/m)		
	vor Pr.-K.	nach Pr.-K.	nach VT	vor Pr.-K.	nach Pr.-K.	nach VT	vor Pr.-K.	nach Pr.-K.	nach VT	vor Pr.-K.	nach Pr.-K.	nach VT
EK	1,00	3,00	0	4,50	2,00	1,50	0	0,50	0	1,25	0,75	0,50
KM	-6,00	-9,50	-4,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EM	0,50	-1,00	0	0,75	0	-0,50	-0,50	-1,25	0	-1,00	0	-0,50
CF	-4,75	-4,50	0	0,50	-2,00	-0,75	0	0	0	0,75	1,50	0,25

Tabelle 6.5-7

wahrgenommen. Diese stabile Wahrnehmung lässt ausschließen, dass sich die $AP_{(D)}$ -Anteile nur in ältere $FD_{(D)}$ -Stadien wandelten, die auf den Kreuztest keinen Einfluss haben.

Laut amerikanischer Theorie erhöht man mittels eines Visualtrainings das Vergenzadaptationsvermögen (siehe Kap. 5.3.1). Es besteht demnach die Möglichkeit, dass mit dieser erworbene Fähigkeit zum Aufbau eines plastischen Tonus, die motorische Komponente fast vollständig aufgefangen werden kann. Da dieser Muskeltonus keine Innervationsenergie verbraucht, verspüren die Probanden während dieser Entwicklung eine deutliche Entlastung.

Trotzdem existierten bei den Probanden noch immer $FD_{(D)}$ s, die durch das Training zwar geringfügig reduziert, aber nicht beseitigt werden konnten. Es ist verwunderlich, dass diese geringen Beträge nicht durch fusionale Vergenz aufgefangen werden konnten. Eventuell ist der Status während eines sensomotorischen Rückstellungsprozesses untersucht worden. Prismenkorrekturen benötigen gelegentlich sogar Jahre, um sensorisch verfestigte Zustände auflösen zu können. Aus diesem Grund könnte sich die Entlastung des Vergenzsystems durch Aufbau eines plastischen Tonus eventuell erst später auf den sensorischen Status auswirken.

Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass sensorische Rückstellprozesse durch das Visualtraining nicht angesprochen werden können. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zu vermuten, weil eindeutige Verbesserungen der Sehfunktionen, die auf sensorische Störungen basieren (*AA*, *NPC*, Hemmungen, Stereopsis etc.), anzeigen, dass bereits Rückstellungsprozesse einsetzen.

Es wäre interessant, herauszufinden, ob auch ein halbes Jahr nach Absetzen des Visualtrainings weniger Prismen am Polatest ermittelt würden oder sich die alten Zustände erneut einstellten.

Einfluss auf den Visus

Die Prismenkorrekturen konnten bereits in den Fällen von EK und CF den Visus anheben. Nach dem Visualtraining gelang es, diesen optimalen Visus aufrecht zu erhalten. Außerdem stieg bei der Probandin EM nach Abschluss des Trainings monokular (rechtes Auge) und binokular der Visus. Das rechte Auge zeigte zu Beginn des Trainings häufiger Hemmungserscheinungen, daher ist anzunehmen, dass dieser Visusanstieg mit der Reduktion von Hemmungen einherging.

Die Tab. 6.5-8 gibt Aufschluss über den Verlauf der Visussteigerungen. Der Visus wurde immer vor der MKH-(Nach)korrektur überprüft. Die graue Farbe symbolisiert einen leicht reduzierten Visus und die hellblaue Farbe Visuswertsteigerungen ab 2 Sehzeichen pro Visusstufe.

Prob.	Visus R in 4,6 m			Visus L in 4,6 m			Vbino in 5,8 m		
	vor Pr.-K	mit Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	mit Pr.-K	nach VT	vor Pr.-K	mit Pr.-K	nach VT
EK	1,5 -2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5-4	1,50	1,5-1
KM	1,5 -2	1,5 -1	1,5 -1	1,5 -2	1,5-1	1,5-1	1,5-2	1,5	1,5
EM	1,5-3	1,5-2	1,5	1,5-1	1,5-1	1,5	1,5 -3	?	1,5-1
CF	1,5-1	1,5	1,5	1,5-1	1,5	1,5	1,5-4	1,5-1	1,5

Tabelle 6.5-8

Einfluss auf das Stereosehgleichgewicht

Wie bereits angedeutet, hatte das Visualtraining in den untersuchten 4 Fällen keinen Einfluss auf die Herstellung eines Stereosehgleichgewichtes. Es konnte weder spontan ohne Prismen ein Stereosehgleichgewicht festgestellt werden, noch konnte es für die 2 Probandinnen KM und EM in irgendeiner Sitzung prismatisch hergestellt werden. Lediglich EK gab an, dass sich ohne Hilfe von

Prob.	Stereosehgleichgewicht			
	vor Pr.-K.	mit Pr.-K	nach VT ohne Pr.	mit MKH-Vollkorr.
EK	nein, sehr unruhig	(konst.) FI Dpl.	ja, kurz gew andert	FN 0; FI Diplopie
KM	nein	nein	nein	nein
EM	nein	nein	nein	nein
CF	nein	nein	nein	ja

Tabelle 6.5.6-6

Prismen die Dreiecke nach kurzen Einpendelungsprozessen am Valenztest in FN-Stellung mittig ausrichteten. Vor der Prismenkorrektur stabilisierte sich die Wahrnehmung des Valenztestes nicht von alleine.

Einfluss auf die Reduktion von Nahexophorien und Suppressionen

Die Tabelle 6.5-10 zeigt den Verlauf der Veränderungen von Nahexophorien und Hemmungerscheinungen. Die hauptsächlich graue Farbe der ersten beiden Spalten demonstriert, dass sich Nahexophorien und Suppressionen nach der 1-2monatigen Prismenkorrektionszeit nicht änderten. Lediglich EK profitierte diesbezüglich schon nach einem Monat von ihren Prismen.

Prob.	Nahexophorie			Suppressionen vor MKH		
	vor Pr.-K.	mit Pr.-K	nach VT ohne Pr.	vor Pr.-K.	mit Pr.-K	nach VT ohne Pr.
EK	nein	nein	nein	alternierend	nein	alternierend
KM	ja	ja	nein	RH	RH	nein
EM	ja	ja	nein, 1,0 Ba Naheso an K	R+L H	leichte H	nein
CF	nein	nein	nein, 1,75 Ba Naheso an K	RH	kaum H	nein

Tabelle 6.5-10

Vor und nach prismatischer Korrektur, wurde sowohl bei KM als auch bei EM eine Nahexophorie ermittelt. KM zeigte dabei eine Besonderheit. Sie nahm zwar das Polatesnahtest-Kreuz mittig wahr, jedoch konnte der Nah-Zeigertest mit der ersten prismatischen Korrektur nur mittels $4,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi korrigiert werden, die in der Ferne zur Unverträglichkeit führte. Bei der zweiten Korrektur brachten schon $2,0^{\text{cm}}/\text{m}$ den Zeiger in Nullstellung. Nach dem Visualtraining wurden an keinem Nahtest Fehlstellungen der Teste beobachtet. Bei dieser Wahrnehmung existierten in der Nähe erstmals keine Suppressionserscheinungen. Wie bereits dargestellt, kann man gerade im Fall KM von einer durchs Training bedingten signifikanten Veränderung ausgehen, da ihr Zustand über den Zeitraum des gesamten Studiums reproduzierbar konstant geblieben ist.

Die rosa Farbe gibt immer Verschlechterungen an. Im Falle von EM und CF soll sie darstellen, dass erstmals Nahesophorien am Polatest ermittelt werden konnten. Diese waren vollmotorisch nur am Kreuz korrigierbar. Entsprechend der Theorien amerikanischer Verhaltensoroptometristen erweisen sich Nahesophorien besonders bei Naharbeit als beeinträchtigend.

Durch mündliche Aussagen wurde jedoch bestätigt, dass ein Visualtraining gelegentlich Überkonvergenzen nach sich zieht. Man geht davon aus, dass ein Vergenzsystem bei vorhandener Konvergenzinsuffizienz oder eingeschränktem NPC durch die Konvergenzübungen etwas "überadaptiert".

Schon in der Auswertung der amerikanischen Sehfunktionen wurden diese Tendenzen in Form von AC/A-Werterhöhungen (von ca. 2 auf 4-6cm) und im Anstieg der FCC-Werte bei 3 von 4 Probanden deutlich sichtbar. Diese parallelen Tendenzen scheinen nahezu eindeutig vom Training hervorgerufen worden zu sein. Erfahrungsgemäß sollen sich diese Überkonvergenzen nach Abbruch des Trainings wieder reduzieren. In einigen Fällen machen sich jedoch auch geringe positive Additionen erforderlich.

Laut Skeffingtons Modell wurde durch das Training nur ein Adaptationszustand aufgehoben. Denn eine Konvergenzinsuffizienz ist häufig ein Zeichen von Kompensationen des Vergenzsystems durch eintretende Überkonvergenzen bei Nahpunktstress (siehe Kap. 5.5.4).

Im Kap. 5.4.5 gab die Studie Schors zur Veränderung des AC/A-Verhältnisses weitere Hinweise auf mögliche Ursachen der Induktion einer Nahesophorie durch die Erhöhung des AC/As mittels eines Visualtrainings.

In dem nach Scheiman und Wick praktizierten Training wird nicht AC/A spezifisch trainiert. Daher können vor allem schnell wechselnde Akkommodationsansprüche kombiniert mit Konvergenzhalteübungen den AC/A ungewollt erhöhen. Das liegt daran, dass die Vergenzadaptation gefördert und die Akkommodationsadaptation verringert wird.

Es müssen daher in Zukunft im Verlauf des VTs der AC/A und die Nah-AP_(D) überprüft werden, um die Übungen besser auf vorhandene Defizite abzustimmen. Den beiden Probanden (CF, KM) wurde aufgrund dieser Schlussfolgerungen empfohlen, vor den Akkommodationsübungen hauptsächlich schnell wechselnde Vergenzübungen zur Ermüdung des Konvergenztonusses zu absolvieren. Daraufhin sollten hohe Akkommodationsansprüche ausdauernd gehalten werden, um die Adaptationsfähigkeit der Akkommodation zu erhöhen. Auf Dauer könnte diese Trainingsanweisung den AC/A wieder verringern. Aussagen zum Ergebnissen dieser veränderten Trainingsanweisungen können zu diesem Zeitpunkt noch nicht getroffen werden.

Einfluss auf den Stereogrenzwinkel und auf das Random-Dot-Sehen

In der Tabelle 6.5-11 sind die Änderungen der räumlichen Wahrnehmungen des D5-Testes und der Random-Dot-Teste (RD) dargestellt worden. Die Angaben zu diesen Testen wurden immer vor der prismatischen Vollkorrektur am Polatest aufgenommen, um das visuelle System in seinem bestehenden Zustand zu evaluieren.

Vor der Korrektionszeit hatten vor allem EK und EM in FI-Stellung Schwierigkeiten am D5 und an den RD-Testen. Mit der getragenen Prismenkorrektur ließen sich vorhandene Verzögerungen vor allem am D5 abstellen. EK hatte noch immer leicht verzögerte Wahrnehmungen beim Betrachten des RD-Treppentestes. Der Handtest konnte von ihr nicht mit Sicherheit in FI-Stellung beurteilt werden. Bei EM verbesserten sich alle Stereoteste, obwohl sich zum Zeitpunkt dieser Messungen die Basislage ihrer Korrektur vermutlich aufgrund ihrer latenten Hyperopie umkehrte.

Prob.	Stereogrenzwinkel			Random Dot vor MKH		
	vor Pr.-K.	mit Pr.-K	nach VT ohne Pr.	vor Pr.-K.	mit Pr.-K	nach VT ohne Pr.
EK	30" mit V	30"	30"	FN verzögert, kein FI	ok aber mit V	ok, sofort
KM	30"	30"	30"	ok	ok	ok
EM	30", FI schwierig	30"	30"	FI kaum	ok, FI besser	ok, viel mehr Tiefe
CF	unsicher 30"	verzögert 30"	30"	ok	nur 4 Stufen	ok

Tabelle 6.5-11

CF verschlechterte sich kurioserweise trotz der prismatischen Korrektur. Im Verlauf des *VTs* bestätigte sich jedoch die Vermutung, dass CF insgesamt einen deutlich schwankenden visuellen Status besitzt. Von daher ist nicht anzunehmen, dass die Prismen diesen Rückschritt provozierten und diese Verzögerungen zu einem anderen Zeitpunkt vielleicht gar nicht wahrgenommen worden wären. Nach dem Training erkannten alle Probanden ohne Verzögerungen die besprochenen Stereoteste. Dabei stellten EK und EM fest, dass sie zuerst viel mehr Tiefe wahrnehmen konnten. EK gelang es nur in dieser Untersuchung, zu erkennen, dass der Daumen der RD-Hand nach rechts zeigt. Fast in jeder Vergenzübung mussten die Probanden disparate Fusionsobjekte permanent auswerten, um auftretende Suppressionen durch das Verschwinden räumlicher Wahrnehmungen zu kontrollieren. Vor allem mit EM und CF wurden auch im Visualtraining häufig RD-Bilder in die Übungen zum Abbau von Hemmungen integriert. Durch diesen Trainingseffekt konnten die Probanden gerade räumliche Auswertungen ohne Verzögerungen oder Lokalisationsprobleme vornehmen.

6.5.7 Schlussfolgerungen aufgrund der Auswertungen

Das Visualtraining erreichte bei allen Probanden das gemeinsame Ziel, abgestellte bzw. reduzierte Beschwerden und Sehstörungen nach Abbruch der Prismenkorrektur aufrecht zu erhalten. Von den 4 Probanden konnten 2 vollständig auf Prismen verzichten. 2 weitere Probanden setzten die Brille nur noch selten ohne Eingewöhnungsprobleme und je nach Bedarf auf. Es konnten zumindest bei einer Probandin (EM) Sehstörungen, die selbst mit Prismenbrille auftraten, abgestellt werden.

Innerhalb des Trainings war es allen Probanden möglich, Messwerte der Sehfunktionen über Normwerte hinaus zu steigern. Die größten Erfolge wurden für die monokulare Akkommodationsdynamik und die Nah-Divergenzbreite erzielt, die durch Prismen in der Korrektionszeit nur bei wenigen Probanden gering angehoben werden konnten.

Durch das Training traten bei 2 Probandinnen neue Defizite in den Sehfunktionen *BAF* und *FCC* auf, da der *AC/A*-Wert deutlich anstieg. Dieses Resultat ist amerikanischen Optometristen gerade beim Konvergenztraining bekannt. Vor allem Verhaltensoptometristen sehen in diesen Fällen Bestätigungen für ihre Nahpunktstressmodelle.

Möglicherweise sind diese Entwicklungstendenzen durch gezielte *AC/A*-spezifische Übungen zu vermeiden.

Die $FD_{(USA)}$ -Kurven konnten für die Mehrheit der Probanden für die Ferne und die Nähe durch das Training deutlich verbessert werden. Nur für jene Probanden, die auch in der Ferne trainiert wurden, optimierte sich der Verlauf der Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurven. Vermutlich wirkt sich deshalb ein Training in 40 – 70cm Abstand nicht auf die Anpassungsfähigkeit des visuellen Systems für weitere Distanzen aus.

Der Status der $AP_{(D)}$ s blieb größtenteils unangetastet. Bestehende Prävalenzen konnten nicht abgestellt werden.

Trotzdem wurden durch das Visualtraining Hemmungen und Nahexophorien am Polatest aufgelöst, wobei sich räumliches Sehen optimierte. Es ist anzunehmen, dass diese sensorischen Verbesserungen mit denen der Sehfunktionen parallel liefen oder dieselben sogar begünstigten.

Insgesamt ließen sich die ursprünglichen $AP_{(D)}$ s ausnahmslos bei allen Probanden durch das Visualtraining enorm reduzieren. Am Kreuztest konnte vorher in allen und nachher nur noch in einem Fall Korrekationsanteil ermittelt werden. Möglicherweise fehlen motorische Anteile aufgrund stimulierter Vergenzadaptationen. Diese könnten den Aufbau eines plastischen, energiearm arbeitenden Muskeltonusses fördern, wodurch wiederum die fusionale Vergenz (Motorik) entlastet würde.

Die Probanden, die das Training motiviert absolvierten und dabei interessiert waren, die Funktionsweise ihre Augen zu erforschen, wiesen die meisten Fortschritte auf. Leider scheint es selbst bei hoch motivierten Probanden schwierig zu sein, sich täglich zur Durchführung der Übungen zu überwinden.

Trotzdem würden die Probanden ein Training der prismatischen Korrektur vorziehen, da sie aktiv an der Entwicklung ihres Sehens beteiligt werden und ihre visuellen Prozesse beeinflussen lernen. Gerade Probanden, die keine sphärozyklische Korrektur benötigen, fühlen sich nach Wegfall der Beschwerden durch die Abhängigkeit von der Korrektur überfordert.

Aus dieser Studie können keine Rückschlüsse gezogen werden, ob ohne die vorher durchgeführte prismatische Korrektur auch nur ansatzweise entsprechende Ergebnisse erzielt worden wären.

Mit Sicherheit sind viele Prozesse des Sehens zunächst durch die Prismen stimuliert worden. Die Kontrollprobanden der Prismenstudie lieferten jedoch Hinweise darauf, dass mit jeder Prismenkorrektur positiv in visuelle Prozesse eingegriffen werden kann. Neben einigen Sehfunktionen lässt sich dadurch gelegentlich auch der MKH-Status verbessern. Aus diesem Grund erweist es sich als nahezu unmöglich, herauszufinden, welche Einflüsse das *VT* konkret auf den sensomotorischen Status laut MKH besitzt.

Es ist jedoch anzunehmen, dass *VT* einige Sehfunktionen, wie z.B. die monokulare Akkommodationsdynamik, schneller optimieren kann.

6.6 Zusammenfassung von Ergebnissen der Prismen- und VT-Studie

6.6.1 Erfolge der MKH-Korrekturen in Bezug zu Erfolgen des VTs laut amerikanischer Kriterien (Normwerte)

Sehfunktionen

Laut amerikanischer Kriterien haben die MKH-Korrekturen nur leichte Verbesserungen erzielt. In der Mehrheit der Fälle blieb die Notwendigkeit einer Behandlung durch VT, bei gleichzeitig auftretenden Beschwerden, jedoch bestehen. In 7 von 10 Fällen wäre nach der Prismenkorrektionszeit die gleiche Diagnose getroffen worden.

Für die wenigen Probanden, die ihre Brille gelegentlich für einige Stunden absetzten, konnten keine bedeutenden Unterschiede in den Veränderungen der Sehfunktionen oder des sensomotorischen Status laut MKH, im Bezug zu Probanden die permanent Brille trugen, aufgedeckt werden.

Prismenkorrekturen hatten einen großen Einfluss auf die Anhebung der Akkommodationsamplitude. In 70 % aller Fälle konnte sie um durchschnittlich 0,96dpt erhöht werden. Die AA verbesserte sich häufiger auf dem Führungsauge, das eventuell als erstes auf optimierte Sehbedingungen antwortet. Ein Nachweis, dass vor allem sensorisch verfestigte Zustände Reduktionen in der AA hervorrufen, konnte nicht erbracht werden.

Die Vergenzdynamik zeigte bei allen Korrektionsprobanden und bei 70 – 80% der Kontrollprobanden deutliche Defizite im Binokularsehen an. Diese Sehfunktion konnte durch Prismen bei 9 Probanden gegenüber der Kontrollgruppe statistisch signifikant verbessert werden, woraufhin nur noch 20 % der Korrektionsprobanden Normwerte unterschritten.

Die MKH-Prismen haben zunächst deutlichere Einflüsse auf die direkte Vergenzdynamik (VF) und indirekte Vergenzdynamik (BAF) zeigen können als auf die monokulare Akkommodationsdynamik. Die Veränderungen wurden insbesondere durch sensorische Rückstellung und weniger durch motorische Entlastungen hervorgerufen.

Durch MKH-Korrekturen ließen sich bei Esophorien mit Nahexophorietendenzen geringe refraktive Änderungen in Richtung +0,25 bis +0,5dpt feststellen. Die MKH-Korrektur reduzierte in diesen Fällen den motorischen Anteil der AP_(D) in der Ferne. Nahexophorien gingen entweder am Polatest oder an der *Wesson Card* zurück. Diese Reduktion des Akkommodationstonus kann daher entweder auf eine Entlastung der fusionalen Divergenz in der Ferne oder auf eine Entlastung der fusionalen Konvergenz in der Nähe zurückgeführt werden.

FD-Messungen

MKH-Prismen reduzierten in 30% der Fälle in der Ferne und in 50% der Fälle in der Nähe eine Exo- $FD_{(USA)}$. Die Ergebnisse der Kontrollprobanden stützen diese Aussage.

Auch *VT* konnte bei einem von 2 Probanden eine geringe Fern- $FD_{(USA)}$ reduzieren und sogar in 2 von 2 Fällen eine signifikant hohe Exo- $FD_{(USA)}$ in der Nähe voll korrigieren. 2 von 3 *VT*-Probanden, deren Nah- $FD_{(USA)}$ oder Fern- $FD_{(USA)}$ durch die Prismen voll korrigiert wurde, zeigten geringe Exotendenzen nach Ablegen der Korrekturen.

Nur in der Ferne traten nach den Prismenkorrekturen in 3 von 6 Fällen moderate $FD_{(USA)}$ -Werterhöhungen auf. Die Fernwerte haben sich voraussichtlich aufgrund von nachrutschendem Tonus ergeben, der erstmals von den Probanden voll motorisch kompensiert wurde. Es kamen nach der MKH-Prismenkorrektionszeit keine Prismenwerterhöhungen in Fällen einer KI vor.

Die Fusionsbreite konnte für die Nähe bei 40% der Korrektionsprobanden angehoben werden. Für die *VT*-Probanden dagegen ist die Fusionsbreite in der Ferne angestiegen und in der Nähe leicht, vor allem in Richtung Bi, zurückgegangen.

Die MKH-Korrekturen übten keinen wesentlichen Einfluss auf die Neigung der $FD_{(USA)}$ -Kurven aus. Da nach deutschen Kriterien jedoch auch durch die Prismenkorrekturen kaum Erfolge erzielt wurden, ist eine Aussage zur Beeinflussbarkeit der rapiden Vergenzadaptation durch MKH-Prismen nicht möglich. (3 orthophore Probanden wiesen bei nahezu allen $FD_{(USA)}$ -Kurven optimale Neigungen auf.) *VT* zeigte dagegen mehr Erfolge. Es konnte $FD_{(USA)}$ -Kurven um den Koordinatenursprung besonders effektiv abflachen.

Mit dieser Abflachung der Kurven wurden rapide Vergenzadaptation gefördert, die die Fusionskraft der Probanden eindeutig erhöhten. Vergenzadaptation wurden nur für die Sehdistanzen erhöht, die im Visualtraining angesprochen wurden. Ein reines Nahtraining wirkte sich, zumindest in einem Fall, nicht auf die Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurve aus.

Obwohl amerikanische Optometristen keine Wandlung von kritischen Kurventypen erwarten würden, konnten die MKH-Prismen in 3 Fällen eindeutig auffällige Kurventypen in einen Kurventyp I wandeln. Diese positive Veränderung trat bei keinem Kontrollprobanden auf.

Auch *VT* konnte die zwei, nicht dem Typ I entsprechenden Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurventypen (Typ 2 und Typ 4), in sehr gleichmäßige $FD_{(D)}$ I-Kurven umformen.

Nur für eine Korrektionsprobandin sind in 6 Punkten leichte Verbesserungen im Verlauf der $FD_{(USA)}$ -Kurven erzielt worden. Dieser Veränderungen zeigten dennoch keine Wirkung in der Reduktion ihrer Beschwerden. Die genannten Verbesserungen sind außerdem nicht annähernd mit denen der *VT*-Probanden zu vergleichen. Die Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurve blieb extrem auffällig.

6.6.2 Zusammenhang zwischen dem sensorischen Status laut MKH und der amerikanischen Diagnose

Sehfunktionen

Kein Proband, der nach deutschen Kriterien Defizite im Binokularsehen aufwies, wurde laut amerikanischer Diagnose als unauffällig eingestuft.

Esophorien jüngerer sensorischer Anpassungsstadien zeigen, laut amerikanischer Diagnose, häufig einen Konvergenzexzess oder eine allgemeine Esophorie.

Anpassungsstadien, die älter als eine $FD_{(D)}$ II/2 waren, wiesen häufiger Konvergenzinsuffizienzen auf.

Hohe Esophorien mit sensorisch verfestigten Zuständen neigen vermehrt zu Augenbewegungsstörungen.

Akkommodationsinsuffizienzen treten häufiger bei Probanden mit hohen motorischen Komponenten einer $Eso-AP_{(D)}$ auf. Dieser Anpassungszustand des visuellen Systems könnte fusionale Divergenzen für die Nähe reduzieren.

Für Konvergenzinsuffizienzen typische Merkmale, wie Akkommodationsstörungen, eingeschränkte $NPCs$ und Nahexophorien haben den gleichen Ursprung. Bei gleichzeitiger Verbesserung der AA , reduzierten sich gleichzeitig der NPC und die vorhandenen Nahexo-Heterophorien. Es ist anzunehmen, dass die prismatische Reduktion zentraler Hemmungen diese Änderungen hervorrief.

Ein Akkommodationsexzess trat in fast allen Anpassungsstadien auf. KI-Probanden hatten innerhalb dieser Studie etwas häufiger Akkommodationsexzesse als andere.

$FD_{(USA)}$ -Messungen

Die gesamte $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse ergab für die Nähe eine 100prozentige Treffgenauigkeit bezüglich der Vorhersage von Problemen im Binokularsehen, die Beschwerden verursachen. Es gab nur eine Kontrollprobandin, die keine Beschwerden äußerte. Diese zeigte als einzige eine unauffällige Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurve.

Die Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse traf nur in 85% der Fälle zur Vorhersage von Beschwerden bei Probanden mit nichtstrabismischen Binokularsehen zu.

Die Auswertung der vertikalen $FD_{(USA)}$ -Kurven gab keine zuverlässigen Hinweise auf Probleme.

Der $AP_{(USA)}$ -Wert fiel in Bezug zum $AP_{(D)}$ -Wert generell geringer aus. Bei 40% der 20 untersuchten Probanden wurde keine $AP_{(USA)}$ ermittelt. Aus diesem Grund können amerikanische Optometristen auch nicht immer eine assoziierte Phorie als Ursache akkommodativer und okulomotorischer Fehlfunktionen vermuten. Nur in einem, auch am Polatest sehr widersprüchlichen Fall, wurde eine falsche Basislage mit den $FD_{(USA)}$ -Testen ermittelt.

In den Fällen, die laut amerikanischer FD-Teste eine $AP_{(USA)}$ aufweisen, ergab die Kreuztestmessung laut MKH bei 50% höhere und für alle anderen annähernd gleiche Werte. Am $FD_{(USA)}$ -Test wurden nur in einem Fall höhere Werte ermittelt.

Die Auswertung der Messergebnisse der Nah- $AP_{(USA)}$ ergab, dass diese Messungen nur diffus mit der $AP_{(D)}$ -Messung korrelierte. Nach deutschen Kriterien würde man keine Erfolge dieser Prismenkorrektionswerte hinsichtlich der Verbesserung des sensorischen Status und der Verträglichkeit erwarten. Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass amerikanische Optometristen mit VT größere Erfolge in der Reduzierung von Beschwerden erzielen.

Vertikale $FD_{(USA)}$ -Messungen konnten nur bei der Hälfte aller Probanden, die laut MKH eine vertikale Phorie besaßen, gleichfalls eine $AP_{(USA)}$ ermitteln. Bei 4fach wiederholten *Covertest*-Messungen war es nur in 2 Fällen möglich, den vertikalen Anteil zu entdecken, jedoch nur zur Hälfte des Betrages. In zwei weiteren Fällen ermittelte der *Covertest* sogar die falsche Basislage. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass viele als Vergenzfehlfunktionen eingestufte Probleme von nicht entdeckten vertikalen $AP_{(D)}$ s hervorgerufen werden.

Es konnten keine Zusammenhänge zwischen $FD_{(USA)}$ -Kurvenformen und $AP_{(D)}$ ermittelt werden, da sich in der Mehrzahl der Fälle der genaue sensomotorische Status aufgrund eines fehlenden Stereosehgleichgewichtes nicht bestimmen ließ.

6.6.3 Einfluss des Visualtrainings auf den Status laut MKH im Vergleich zu MKH-Prismenkorrekturen

Einfluss auf den sensomotorischen Status nach VT ohne Prismenkorrektur

VT reduzierte in allen 4 Fällen deutlich die $AP_{(D)}$ am Polatest. Im Gegensatz hierzu erhöhte sich durch die getragene Prismenkorrektur bei 6 Probanden die ursprüngliche $AP_{(D)}$ signifikant.

Der sensorische Status der $AP_{(D)}$ blieb durch das VT vorwiegend unangetastet. Durch die Prismenkorrekturen veränderte sich der Status bei 3 von 10 Probanden, davon in zwei Fällen positiv und in einem negativ.

Durch VT konnte in keinem Fall Stereosehgleichgewicht gehalten bzw. erzeugt werden. Die Prismenkorrekturen waren dagegen fähig, bei 4 weiteren Probanden nach der Korrektionszeit annähernd Stereosehgleichgewicht herzustellen.

Nahexophorien konnten durch VT signifikant bei allen Betroffenen (3 von 4) abgestellt werden. Nur in 2 von 7 Prismenkorrektionsfällen dagegen, konnten Nahexophorien voll korrigiert werden.

Hemmungen wurden durch VT bei 3 von 4 Probanden abgestellt und durch Prismenkorrekturen bei 3 von 8 Betroffenen deutlich reduziert.

Räumliches Sehen konnte durch VT vollends optimiert werden. Dabei reduzierten sich hauptsächlich Stereoverzögerungen.

Auch durch die Prismenkorrekturen wurden Stereoverzögerungen an allen Stereotesten in den betreffenden 3 Fällen abgestellt. Alle Probanden hatten mit Korrektur vor und nach der Korrektionszeit einen hohen Stereogrenzwinkel.

Allgemeine Resultate

Das Visualtraining erreichte das von allen Probanden anvisierte Ziel, die durch Prismenkorrektur verzeichneten Erfolge hinsichtlich abgestellter bzw. reduzierter Beschwerden und Sehstörungen, auch nach Abbruch der PK aufrechtzuerhalten.

In einem Fall konnten Beschwerden nur durch VT abgestellt werden, weil das Training ermöglichte, eine, sich aufs Binokularsehen auswirkende, latente Hyperopie zu lösen.

VT konnte alle, von den Prismen weniger angesprochenen, defizitären Sehfunktionen über Normwerte hinaus steigern. Die größten Erfolge wurden beim Abstellen der Defizite in der monokularen Akkommodationsdynamik erzielt.

Durch allgemein übliche Vernachlässigung AC/A-spezifischen Trainings wurden zwar Nahexophorien abgestellt, jedoch Nahesophorien in Fällen von Exophorien erzeugt. Diese riefen zwar zum

Zeitpunkt der Nachkontrolle keine Beschwerden hervor, könnten jedoch in Zukunft möglicherweise Additionskorrekturen erfordern. In einem Exophorie-Fall wurden Nahesphorietendenzen bei gleichzeitigem AC/A-Wertanstieg auch durch eine Prismenkorrektur hervorgerufen.

6.6.4 Messwerttoleranzen in der Kontrollgruppe

Am Polatest

Wenn Messwertschwankungen in der Kontrollgruppe auftraten, so waren dies in der Regel Verbesserungen.

Die $AP_{(D)}$ -Größe schwankte in der Kontrollgruppe, trotz Ausschluss eines extremen Falles (EL), enorm um durchschnittlich $2,75^{cm}/m$ bis maximal $5^{cm}/m$. Dabei reduzierten sich motorische und sensorische Anteile. Bei zwei Probandinnen trat eine Verbesserung des $FD_{(D)}$ -Status von einer $FD_{(D)}$ II/ 3 bzw. 4 auf eine $FD_{(D)}$ II/ 1 ein. In dieser Gruppe reduzierte sich in einem Fall die Nahexophorie auf null. Bis auf 3 Probanden konnte bei allen weiteren ein besserer Visus ermittelt werden (bei einer Probandin, MF2, sogar um eine Visusstufe). Bei zwei Probandinnen (EL, SF) konnte in der zweiten Messung erstmalig ohne prismatische Korrektur der Random-Dot-Stufentest mit Verzögerungen in FI-Stellung ausgewertet werden. Keine Veränderungen wurden in der Wahrnehmung von Hemmungen, der Stereotiefe und der Erzeugung eines Stereosehgleichgewichtes erzielt.

In den Sehfunktionen

In den Ergebnissen der Sehfunktionsmessungen, konnten sich vor allem 2 Kontrollprobanden (MF2, SF) deutlich verbessern. Diese Probandinnen erzielten in der 2. Messreihe geringere $NPCs$ und wesentlich höhere Vergenzbreiten. MF2 zeigte zusätzlich die signifikanteste Erhöhung aller Messwertänderungen in den Akkommodationsamplituden von 2,25dpt. Keine der beiden Probandinnen konnte sich dagegen in den dynamischen Testen verbessern.

Allgemein traten die meisten Messwertdifferenzen in den Konvergenzamplituden auf. In den dynamischen Testen hingegen blieben die Defizite relativ stabil.

Die Probandinnen MF2 und SF stellten Reduktionen ihrer Asthenopien und Sehstörungen zum Ende der Kontrollzeit fest.

Mögliche Ursachen für positive Veränderungen

MF2 zeigte während der ersten Messreihe, in einer Phase hoher psychischer Anspannung durch Prüfungsstress, starke Beschwerden und Sehstörungen. Ihre Kontrollzeit lag in den Schulferien, nach denen die Asthenopien und visuellen Defizite verschwanden. Die Verbesserungen der Sehfunktionen gingen mit einer signifikanten Reduzierung der Eso- $AP_{(D)}$ von $9,75^{cm}/m$ auf $5,5^{cm}/m$ einher. SF trug vor der Kontrollzeit 2 Wochen lang eine Prismenvollkorrektur, mit der sie Stereosehgleichgewicht erzielte, die sie jedoch aufgrund von Unverträglichkeit wieder abbrach. Der Probandin war es (als Ausnahme) jedoch erst 8 Monate nach diesem Korrekturabbruch möglich, zur Nachkontrolle zu erscheinen.

Allgemeine Gründe für positive Messwertänderungen:

1. Die erste MKH-Messung stabilisierte den visuellen Zustand durch Stimulation bizentralen Sehens soweit, dass dieser sogar mindestens 2 Monate und im Fall SF sogar 8 Monate bestehen bleiben konnte.
2. Die Testung der Sehfunktionen geht zwar mit einer Belastung für das visuelle System einher, die ihrerseits jedoch eventuell bestimmte Mechanismen zu Kompensationszwecken reaktivieren könnte.
3. Möglicherweise haben vegetative Prozesse innerhalb der Phasen von Stress und Erholung einen großen Einfluss auf die Funktionsweise des visuellen Systems. Durch diese Prozesse könnten $AP_{(D)S}$ und defizitäre Sehfunktionen nur temporär erzeugt werden bzw. zeitweise durch Energiemangel Probleme verursachen.
4. Wiederholte Untersuchungen können Lerneffekte hervorrufen

6.6.5 Weitere interessante Zusammenhänge

Zwischen auffälligen *MAF*-Testwerten und Symptomen von Problemen im Fokuswechsel gibt es einen engeren Zusammenhang.

Es gibt ebenfalls einen Zusammenhang zwischen Nahexophorien und AE.

Bei 3 korrigierten Exophoriefällen, die zuvor als KI (in Fällen $AC/A = 1-2\text{cm}$) diagnostiziert wurden, traten bei Erfolg der Korrektur bzw. des *VTs* Nahesophorietendenzen auf. Diese äußerten sich in einem Anstieg der AC/A -Werte (in 2 Fällen auf 6cm), in Messwerterhöhungen des *FCC*-Wertes und desgleichen in Problemen, binokular Minuswerte zu kompensieren.

Nahpunktstressmodelle, die Exophorien als spezielle Adaptationsformen des visuellen Systems an Überkonvergenzen interpretieren, liefern Erklärungen für dieses Phänomen.

Besitzt das deutsche oder amerikanische System Lücken in der Aufdeckung visueller Defizite von Probanden mit Beschwerden?

Generell sind beide Untersuchungs- und Diagnosestrategien sehr zuverlässig in der Bestimmung visueller Defizite. Keines der beiden Systeme klassifizierte Probanden mit Beschwerden als unauffällig bzw. orthophor.

Trotzdem konnten in vielen Fällen horizontale und vertikale $AP_{(D)S}$ nach deutschen Kriterien, von amerikanischen Testen nicht aufgedeckt werden. Diese Lücke im amerikanischen System schließt eine alternative Korrekturmöglichkeit in Form von Prismenkorrekturen für Betroffene in den USA aus.

Die MKH konnte bei einer laut ihrer Kriterien orthophoren Probandin eine Nahesophorie am Nahpoltest nicht aufdecken. Die Probandin äußerte keine wesentlichen Beschwerden, jedoch vertrug sie Dezentrationen ihrer sphärozyklindrischen Korrektur schon bei minimalen Beträgen nicht. In diesen Fällen traten massive Asthenopien auf. Die Nahesophorie konnte nur mittels des *Covertestes* und durch die Auswertung der $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessung ermittelt werden.

Eine andere orthophore Probandin ohne Beschwerden bestand amerikanische Tests der dynamischen Akkommodation nicht. Ihr fielen auch im Nachhinein keine Schwierigkeiten bei Blickwechsel zwischen Ferne und Nähe auf. Im amerikanischen System basieren jedoch Diagnosen grundlegend auf Defiziten mehrerer, in Beziehung stehender, Sehfunktionen. D.h., diese Probandin wäre aufgrund einer Sehfunktion höchstwahrscheinlich nicht als auffällig eingestuft worden, es sei denn, sie hätte Beschwerden geäußert.

Aus diesen Beispielen geht hervor, dass eine Kombination beider Systeme für bestimmte Bereiche sinnvoll wäre. Gerade in widersprüchlichen Fällen oder bei Unverträglichkeiten von Prismenkorrekturen könnten Sehfunktionsmessungen mögliche Zusammenhänge und Ursachen, wie z.B. im Fall EM, offenbaren.

Umgekehrt könnte die MKH amerikanischen Optometristen in Fällen von Vergenzfehlfunktionen oder anderen nicht eindeutigen Fällen helfen, insbesondere latente vertikale aber auch horizontale Anteile einer assoziierten Phorie aufzudecken.

7. Auswertung zusätzlicher Untersuchungen an orthophoren Probanden

Einstellmechanismen, Sensorischer Zustand, Prismenadaptation

Im Rahmen dieser Arbeit kamen einige Fragen auf, über die eine speziell hierfür entwickelte Untersuchungsstrategie Aufschluss geben sollte:

Sind Probanden, die Orthophorie bzw. nur gering motorisch kompensierte $AP_{(D)}$ s nach MKH besitzen, auch binokular unauffällig im Sinne der amerikanischen Testergebnisse?

Cagnolati fand einen engen Zusammenhang zwischen Einschränkungen von Einstellmechanismen und dem sensorischen Zustand des Binokularsehens [Cagnolati W, 1987, S.158-159; Methling]. Daher könnte man annehmen, dass Einstellmechanismen bei orthophoren Probanden, durch vorhandenes bizenrales Sehen optimal innerviert werden können und somit in der Norm liegen sollten, wie sie Scheiman & Wick definierten.

Kann man, entsprechend deutscher Kriterien, durch künstliches Erhöhen des fusionalen Vergenzbedarfes auch spontan Fixationsdisparation und Hemmung erzeugen?

Die Ausbildung von Hemmungen und $FD_{(D)}$ s müsste dann in Richtung Divergenz und Konvergenz gleichermaßen auftreten bzw. ebenfalls gleichmäßig in beide vertikalen Richtungen. Nur wenn der Proband zuvor im Laufe seines Lebens schon einmal eine $FD_{(D)}$ in eine bestimmte Richtung entwickelt hatte, wäre zu vermuten, dass dieses Phänomen nur in eine bestimmte Richtung auftritt.

Ist der Polatest in der Lage, einen spontan erzeugten fusionalen Vergenzbedarf aufzudecken, wo typisch amerikanische FD-Teste bzw. dissoziierende Teste versagen?

Laut der Ergebnisse der Literaturecherche zum Thema Prismen- bzw. Vergenzadaptation, könnte man vermuten, dass das Aufdecken eines Muskeltonus mittels einer Prismenkorrektur den gleichen Vorgang innerhalb des visuellen Systems beschreibt, den amerikanische Optometristen als Prismenadaptation bezeichnen. Ist dies der Fall, so sollte die MKH durch den speziellen Aufbau des Polatestes und durch die angestrebte lange Verweildauer am Kreuztest, bei einem Orthophoriker in alle Richtungen gleichermaßen, den größten Anteil eines kurzzeitig erzeugten Vergenzbedarfes aufdecken können, bevor dieser Betrag vollends in einen plastischen Muskeltonus umgewandelt werden kann. So sollte es möglich sein, das amerikanische Modell zum Thema Prismen- bzw. Vergenzadaptation kritisch zu hinterfragen, als auch die Kritik der MKH-Gegner abzuwähren, dass Polatest-Korrekturen hohe Phorien durch kontinuierliche Prismenadaptation erzeugen können ("*eating prisms*"), die dann nur chirurgisch zu beseitigen seien [Brautaset RL; Jennings JAM, 5/2001, S.173].

Zur Beantwortung der ersten Frage scheint es interessant zu sein, ob die $FD_{(USA)}$ -Kurven dieser orthophoren Probanden dann auch dem Kurventyp I entsprächen und in der $3^{cm}/m$ Zone um den prismatischen Nullpunkt flacher als 45° geneigt sind, wie es Ogle und Co. für asymptotische Probanden beschrieben [Ogle, 1967, S.76].

Im Kapitel 6.4.3 wird beschrieben, dass es unter den 19 asthenopisch auffälligen Probanden mit $AP_{(D)}$ keinen einzigen Fall gab, bei denen gleichzeitig alle Sehfunktionen der Norm Scheiman & Wicks entsprachen.

Beständen bei den Messergebnissen der Einstellmechanismen und der amerikanischen $FD_{(USA)}$ -Kurven im Vergleich zur Polatest-Orthophorie unerwartete Defizite, so könnte man annehmen, die Untersuchungsmethoden der Amerikaner testen zusätzlich defizitäre Funktionen, die mittels der MKH nur schwer erfasst werden können. Tritt dieser Fall ein, so sollte dringend diskutiert werden, ob es sinnvoll wäre, beide Untersuchungsmethoden zu kombinieren. Nur so, könnte man dem betroffenen Klienten mit Asthenopien bzw. visuellen Störungen garantieren, keine Ursachen defizitären Binokularsehens zu übersehen. Desweiteren wäre abzuwägen, ob Prismen allein wirklich alle eingeschränkten Sehfunktionen wieder herstellen können.

Treten jedoch trotz Beschwerdefreiheit und Orthophorie Sehfunktionsdefizite auf, so würden sich die Normwertaussagen Scheiman & Wicks relativieren. Dies hätte als Konsequenz, dass nicht jede erfolgreiche MKH-Korrektur automatisch nach einer gewissen Tragezeit das Erreichen dieser angestrebten Werte bedingt.

Die Ergebnisse der zweiten Untersuchung sollen vor allem dem besseren Verständnis der Anpassung des Binokularsehens im Sinne des "Lebenslaufes einer Heterophorie" bezüglich Stresssituationen dienen. Amerikanische Optometristen gehen davon aus, mittels prismatisch induzierter fusionaler Vergenzen spontan eine FD zu erzeugen. Dies gelang laut Carter auch mit Testen, die zentrale Fusionsreize enthielten (siehe Kap. 5.3.1). Es sollte an dieser Stelle offen gelegt werden, ob solche Auswanderungen auch am Zeigertest zu beobachten sind, wenn entsprechend der $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessungen Vergenzanforderungen erzeugt werden. Gelingt dies, so würde man zumindest eine $FD_{(D)}$ I spontan erzeugen können, was einer Bestätigung der amerikanischen Theorien gleich käme.

Ausschlaggebend für die dritte Frage waren sowohl die verhärteten Vorurteile von Vertretern beider, in sich stimmigen Systeme, gegenüber dem jeweils anderen, als auch die Hintergründe der in Kapitel 5.3. erörterten Grundlagen zum Thema Prismenadaptation. Dort wurden auch dem amerikanischen Gedankenmodell zu den physiologischen Vorgängen der Prismenadaptation Haases Argumente zur Aufdeckung eines Muskeltonusses mittels der MKH gegenübergestellt.

7.1 Der Versuchsaufbau

7.1.1 Aufnahmekriterien/ Ausschlusskriterien

Zunächst wurde nach dem gleichen Schema wie in Kapitel 6.2.2 eine Anamnese durchgeführt. Die Probanden mussten körperlich gesund sein und sollten keine Medikamente eingenommen haben. Es durften weder Operationen noch Verletzungen an Kopf oder Augen aufgetreten sein und keinerlei Augenerkrankungen vorliegen. Desweiteren war für die Untersuchung von Bedeutung, dass in der Vergangenheit keine Sehschule absolviert wurde, weil beim Sehtraining dauerhaft wirkende Feedbackmechanismen möglich wären, welche die amerikanischen Untersuchungsergebnisse positiv beeinflusst hätten.

Die Probanden wurden hinsichtlich typischer asthenopischer Beschwerden und visueller Störungen befragt. Dabei war das bereits in Kapitel 6.2.2 beschriebene Schema ein Leitfaden für die Anamnese. Keine der dort angeführten Beeinträchtigungen durfte auf die Probanden zutreffen.

Eine vorhandene Fehlsichtigkeit spielte für diese Studie nur eine untergeordnete Rolle, obwohl nach Auffassung der *OEP*-Analyse, wie Birnbaum sie beschreibt (siehe Kapitel 5.5.4), bei einer Fehlsichtigkeit (Myopie, Astigmatismus sowie mittlere bis schwere Hyperopien) oft eine durch Nahstress (*nearpoint stress*) hervorgerufene Fehlfunktion zwischen Vergenz und Akkommodation zugrunde liegen soll [Birnbaum, 1997, S.47]. Diese Annahme ist jedoch nicht vordergründig in den Grundsätzen der MKH oder Scheiman & Wicks zu finden, auf welche in dieser Diplomarbeit vergleichend eingegangen wird.

Die Probanden entsprachen den Aufnahmekriterien allerdings nur, wenn eine vorhandene Fehlsichtigkeit seit mindestens einem Monat konstant und vollständig auskorrigiert worden war [Scheiman & Wick 1994, S.85].

Für alle 3 Fragestellungen wurden orthophore Probanden benötigt. Im Idealfall sollten diese im Sinne der MKH in Ferne und Nähe orthophor sein bzw. nur geringe vollmotorisch kompensierte $AP_{(D)}$ s aufweisen.

Da bei Probanden mit vorhandener $FD_{(D)}$ unter Belastung des visuellen Systems eventuell auf alte disparate Fusionen oder Korrespondenzen spontan zurückgegriffen würde und somit die Einstellmechanismen nicht optimal bizentral innerviert werden könnten, müsste man für den Versuchsaufbau zur 2. Fragestellung auf Probanden zurückgreifen, die im Laufe ihres Lebens noch keine $FD_{(D)}$ in eine bestimmte Richtung entwickelt hatten.

Für den 3. Teil der Studie wurden wiederum Probanden benötigt, die sowohl laut MKH orthophor waren, als auch nach amerikanischer Untersuchung keine $FD_{(USA)}$ besaßen und einen Kurventyp 1 aufwiesen. Eine FD ist aus amerikanischer Sicht Ursache bzw. Ersatz für eine eingeschränkte Funktion der Aktivierung der langsamen Vergenz (Tonusbildung). Sie wird deswegen als Hauptursache für asthenopische Beschwerden und Bildung von Heterophorien benannt [Birnbaum, 1993, S.5,6, 108].

7.1.2 Ablauf der Voruntersuchungen

Folgende Ablauf wurde für die Voruntersuchungen gewählt:

1. **monokularer und binokularer Visus Ferne**
2. **monokularer und binokularer Visus Nähe**
3. **monokulare Refraktion nach deutschen Kriterien** (siehe Kapitel 3.3.1)
4. **falls geringfügige Änderung (+/- 0,25dpt) nötig → erneute Visusbestimmung**

MKH

5. Polatest Ferne

→ Beurteilung von Kontrastgleichgewicht, Symmetrie der Testanteile, Hemmungen oder Stereoverzögerungen:

- (1) Kreuztest mindestens 5-10 min Verweildauer
- (2) Zeigertest
- (3) Doppelzeigertest
- (4) Hakentest
- (5) Stereotest
- (6) Valenztest
- (7) Differenzierter Stereotest
- (8) Random-Dot-Test (Treppe)
- (9) Cowen-Test
- (10) Kreuztest (5 min)

6. Polatest Nähe

→ gleiche Kriterien wie in Ferne:

- (11) Kreuztest mindestens 5-10 min
- (12) Zeigertest
- (13) Doppelzeigertest
- (14) Hakentest
- (15) Stereotest
- (16) Valenztest
- (17) Differenzierter Stereotest
- (18) Random-Dot-Test (Treppe)
- (19) Cowen-Test
- (20) Kreuztest (5 min)

Amerikanische Standardteste zur Diagnosefindung:

Um die Probanden nicht unnötig zu ermüden wurden hier nur die wesentlichsten Teste durchgeführt. (zur Erläuterung der einzelnen Teste siehe Kap. 3.1.2)

- 7. Covertest Ferne und Nähe**
- 8. AC/A Gradient**
- 9. Versionen/ Sakkaden**
- 10. MEM-Skiaskopie**
- 11. monokulare Akkommodationsamplituden**
- 12. Nahkonvergenzpunkt**
- 13. Vergenzbreiten der Divergenz und Konvergenz in Ferne und Nähe**
(Nebelpunkt/Abreißpunkt/Wiedervereinigungspunkt)
- 14. Binokulare Akkommodationsdynamik**
(wenn auffällig: Monokulare Akkommodationsdynamik)
- 15. Vergenzdynamik**

Auf die doch sehr aufwendigen Voruntersuchungen wurde eine mindestens 30minütige Pause eingelegt, bevor mit der eigentlichen Testreihe zur Prismenadaptation begonnen wurde.

7.1.3 Teste zur Prismenadaptation

Die Testreihe zur Prismenadaptation sollte in folgender Reihenfolge von statten gehen:

A. Horizontale $FD_{(USA)}$ -Kurven

→ Die amerikanische $FD_{(USA)}$ wurde an der *Wolf-Card* in der Ferne (4,60m) und an der *Wesson-Card* in der Nähe (40cm) abwechselnd bei Basis innen und außen in den Schritten: 3; 6; 10; 12; 15 und $20^{cm}/m$ bis zur Suppression, zum Nebelpunkt bzw. bis zur Diplopie gemessen (siehe Kapitel 5.5.2).

Aus Gründen der extremen visuellen Belastung durch die vielen Teste, wurde auf die Untersuchung der vertikalen $FD_{(USA)}$ -Kurven verzichtet.

B. Polatestung im Schnelldurchlauf

Ist der Proband nach den vielen Belastungen des Vergenz- und Akkommodationssystems immer noch orthophor?

C. Erzeugung eines künstlichen fusionalen Vergenzbedarfes

Die gewählten Prismen mussten innerhalb der Fusionsbreiten (fern des Nebelpunktes) liegen.

- a. $6^{cm}/m$ Basis außen = künstliche Exophorie
- b. $4-6^{cm}/m$ Basis innen (je nach Vergenzbreite Ferne) = künstliche Esophorie
- c. $1^{cm}/m$ Basis oben rechts = künstliche rechte Hyperphorie
- d. $1^{cm}/m$ Basis unten rechts = künstliche rechte Hyperphorie

Die Prismen wurden immer auf beiden Augen gleichmäßig verteilt.

Um das Vergenzsystem fusional zu beanspruchen, mussten die Probanden, gemäß der von North & Henson ermittelten Zeiten für Vergenzadaptationen unter zentraler Fusion, 3,5min lang binokulare Aufgaben lösen (wie z.B. *Random Dot Teste* in 6m Entfernung identifizieren oder lesen von einfachen Texten in der Nähe). Carter stellte fest, dass Probanden ihre $FD_{(USA)}$ innerhalb von 2-3min stark reduzieren konnten, solange die Augen zentrale Fusionsobjekte fixierten. Jedoch wesentlich langsamer, wenn nur periphere Fusionsobjekte vorhanden waren [Carter, 1965, S.142].

Polatestung

Hier sind die Teste zunächst im Schnelldurchlauf absolviert worden, um den binokularen Zustand auf Anteile von Motorik, Sensorik (spontane $FD_{(D)}$ sichtbar?) und auf Hemmungen zu untersuchen. Mindestens 10min lang wurden die Probanden daraufhin am Kreuztest korrigiert, bis keine unsymmetrische Auswanderung bzw. Richtungstendenz mehr wahrzunehmen war. Bei Bedarf wurde anschließend am Zeigertest und an den Stereotesten die Korrektur fortgeführt. Falls Prismen in der Messbrille verblieben waren, wurden diese zum Schluss entfernt und so lange am Polatest verblieben, bis sich der originale orthopore Zustand wiederherstellte.

7.2 Spekulationen

Bevor diese Untersuchung initiiert wurde, konnte man vermuten, dass der Polatest aufgrund seiner ausgeklügelten komplexen Aufbau- und Wirkungsweise in der Lage ist, die erzeugte $AP_{(D)}$ bei orthophoren Probanden relativ spontan aufzudecken.

In dieser Diplomarbeit wurde auf die grundsätzlichen Unterschiede der amerikanischen $FD_{(USA)}$ und dissoziierenden Teste (*Covertest*, *Maddox Rod*) gegenüber dem Polatest detailliert eingegangen. Der große Vorteil der MKH gegenüber den im Kapitel 5.2 beschriebenen Testen zur Untersuchung der Prismenadaptation besteht darin, dass bei der MKH mit geringen Prismenmengen und in langen Zeitintervallen, Schritt für Schritt, ein Muskeltonus sowie bestehende Hemmungen abgebaut werden können. Die Auflösung einer Prismenadaptation ist unter Fusion wesentlich kürzer (z.B. 20Min), als bei der Okklusion oder Dissoziation eines oder beider Augen (z.B. bis zu 8h) [Carter, 1965, S.150]. Zudem wurden von Carter als auch North & Henson Heterophorien oder $FD_{(USA)}$ s nur innerhalb sehr kurzer Zeitabstände (ca. 30s) gemessen. Daher konnte sich auch kein kontraktiler Tonus (so vorhanden) lösen.

Wird demnach mit beiden Augen auf den Kreuztest geschaut, so ermöglicht der ausschließlich periphere Fusionsreiz des Polatestrahmens dem Vergenzsystem leicht in Richtung Ruheposition auszuweichen und dabei Tonus aufzugeben. Ausgelöst wird diese Reaktion durch den physiologisch gegebenen größeren Abstand der Netzhautelemente in der Peripherie der Augen. Das heißt, man müsste eine Auswanderung von der Breite eines Balkens erkennen können, wenn ein fusionaler Vergenzbedarf besteht. Wandert der Balken viel weiter aus, so wird spontan der periphere Panumbereich dieser Netzhautelemente genutzt, um disparat zu fusionieren.

7.3 Hindernisse

Am schwierigsten gestaltete sich die Suche nach binokular unauffälligen Probanden mittels der MKH.

Obwohl für die Untersuchungen eine genügend große Anzahl an Kommilitonen zur Verfügung standen, gab es unter ihnen kaum jemanden, der orthophor im Sinne der MKH war (grobe Schätzung: 1/20 Studenten).

Für diese Studie konnten zwei Kommilitonen und eine Biologiestudentin gewonnen werden. Da diese Untersuchung nicht das Hauptanliegen dieser Diplomarbeit war und die Durchführung nur zur Untermauerung der Theorien diente bzw. Anregungen für umfangreichere Studien oder Diplomarbeiten zu diesem Thema liefern sollte, war die gegebene Probandenzahl ausreichend. Die folgende Studie liefert also nur Ideen, Vermutungen und neue Fragen für weitere Arbeiten.

Als zweites Problem gestaltete sich der Umfang der Untersuchungen. Normalerweise war eine Splittung über jeweils zwei Tage vorgesehen. Aufgrund von Zeitmangel zweier Probanden musste in diesen Fällen auf die Teilung verzichtet werden. Einschließlich einer halbstündigen Pause dauerten die Untersuchungen trotz schneller, routinierter Vorgehensweise im Schnitt 3 Stunden. Das heißt, es wurden sehr hohe Anforderungen an die Probanden und deren visuelle Systeme gestellt.

7.4 Ergebnisse

7.4.1 Probandin 1

Auffälligkeiten in der Anamnese

Die erste Probandin war 24 Jahre alt. Im Gespräch über die Verträglichkeiten ihrer Brillen bei hoher Anisometropie von 3,25dpt ergab sich, dass die Probandin in der Vergangenheit sehr empfindlich, z.B. mit Übelkeit und Kopfschmerz, auf Dezentrationen (ab $0,5^{cm}/m$) ihrer Gläser reagierte. Das Gleiche trat auf, wenn sich Ihre Glasstärken nur um 0,25dpt änderten. Ein Argument für diese empfindlichen Reaktionen der Probandin könnte sein, dass der neu anfallende fusionale Vergenzbedarf das visuelle System, zusätzlich zu blickrichtungsabhängigen Vergenzanforderungen, viel stärker als bei Iseikonien beansprucht (siehe hierzu auch: 'Anisophorie bzw. inkommittierende Heterophorie' [Stollenwerk, 9/1992, S.11]).

Außer dieser Empfindlichkeit auf die Dezentration ihrer Brillengläser hatte die Probandin weder asthenopische Beschwerden noch visuelle Sehstörungen, die auf binokulare Fehlfunktionen rückzuführen wären. Alle sonstigen Angaben entsprachen den Aufnahmekriterien.

Messwerte

sph	-7,00	V _{cc}	(4,6m) 1,5	V _{bin:} (4,6m) 1,5	PD: 63
sph	-3,75	V _{cc}	(4,6m) 1,5		

Tab.: 7.4-1

Mit ihrem Fernvisus konnte sie monokular und binokular am Polatest-Snellentest in einem 4,6m langen Raum die 1,5er Reihe fehlerfrei lesen. In der Nähe erreichte sie einen Visus von 1,25. Ihre Überrefraktion mit der gegebenen Brille ergab R/L keine Messwertänderungen. Die Probandin gab an, Ambidexter zu sein (Untersuchungsergebnis aus der Diplomarbeit von Silke Krüger_[Krüger, Dipl. WS01/02, TFH-Berlin]).

Der Polatest ergab für die Ferne und die Nähe eine Orthophorie.

Weitere Testergebnisse der Sehfunktionen im Überblick:

Test:	Testergebnis	Klassifizierung	
			Stabw.
Covertest Ferne:	2 cm/m Exophorie	1 cm/m Bi	± 2
Covertest Nähe:	1 cm/m Esophorie	3 cm/m Bi	± 3
AC/A Gradient:	3,5	4/1	± 2
Versionen:	nach links gleichmäßig (Divergenz): nach rechts kleinere Sakkaden (Konvergenz):		
Sakkaden:	kleinere Sakkaden (undershoots):		
MEM-Skiaskopie:	R: 0,50 dpt L: 0,75 dpt	+0,50 dpt +0,50 dpt	± 0,25 ± 0,25
Monokulare Akkommodationsamplituden:	AA _(HSA=0) = 11,50 dpt [AA _(HSA=15) = 14,3dpt] AA _(HSA=0) = 10,70 dpt [AA _(HSA=15) = 12,1 dpt]	10 dpt 10 dpt	+/- 2,0 +/- 2,0
Nahkonvergenzpunkt:	bis zur Nasenspitze	2,5 / 4,5 cm	± 2,5 / ± 3
Konvergenzbreiten Ferne:	kein Wert / 30 / 20	x / 11 / 7	± 7 / ± 2
Divergenzbreiten Ferne:	kein Wert / 12 / 10	x / 7 / 4	± 3 / ± 2
Konvergenzbreiten Nähe:	kein Wert / 45 / 30	x / 19 / 14	± 9 / ± 7
Divergenzbreiten Nähe:	kein Wert / 14 / 12	x / 13 / 10	± 6 / ± 5
Binokulare Akkommodationsdynamik:	20 cpm	8	± 5
Vergenzdynamik	18 cpm	15 Rund./min	

Tabelle 7.4-2

Formel für die Akkommodationsamplituden bei HSA = 0

$$AA_{(HSA=0)} = AA_{(HSA=15)} / (1 - e^* \times S'_{BR})^2$$

$$e^* = HSA + 1,5\text{mm} / 100 \text{ (in m)}$$

$$e^* = 0,0165\text{m}$$

Bsp.:

$$AA_{R(HSA=0)} = 14,3 / 1,244$$

$$AA_{R(HSA=0)} = 11,49\text{dpt}$$

Formel: 7.4-1

Schätzformel für den maximalen Akkommodationsaufwand entsprechend des Alters

$$\begin{aligned}
 &= 18 - \text{Alter} / 3 \\
 &= 18 - 24 / 3 \\
 &= \underline{\underline{10\text{dpt}}}
 \end{aligned}$$

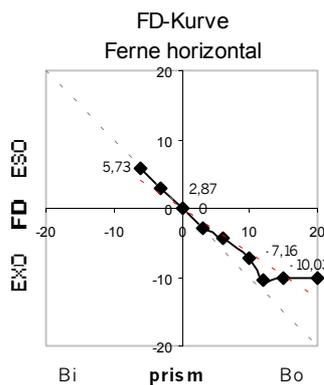
Formel: 7.4-2

Auswertung der Messergebnisse der Einstellmechanismen

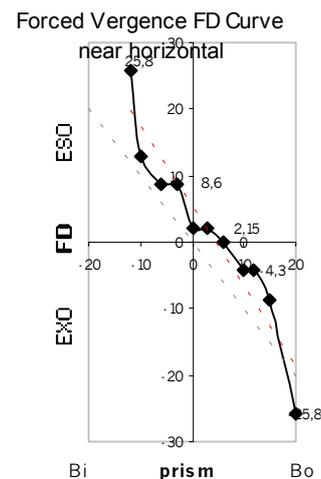
Der *Coverttest* ergab in der Ferne $2^{\text{cm}}/\text{m}$ Exophorie und in der Nähe $1^{\text{cm}}/\text{m}$ Esophorie. Die Nahwerte wichen dabei knapp von der Norm ab. Der Nah- $FD_{(USA)}$ -Test ergab ein ähnliches Bild von 2,15' (ca. $0,06^{\text{cm}}/\text{m}$) Esophorie auf der *Wesson Card*.

Insgesamt hatte die Probandin jedoch bemerkenswert positive Messergebnisse, die z.B. bei den Vergenz- oder den dynamischen Testen, aber auch bei den Akkommodationsamplituden gut über den Normwerten lagen. Solche Testergebnisse waren vorher bei keinem asthenopisch auffälligen Probanden in dieser Vollständigkeit erzielt worden.

Auswertung der $FD_{(USA)}$ -Kurven



Diagr. 7.4-1



Diagr. 7.4-2

Die $FD_{(USA)}$ -Kurve entspricht in der Ferne der Norm. Die Kurve ist zwischen dem $3,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba- und $3,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi-Bereich flacher als 45° geneigt. Sie zeigt ansatzweise die Tendenz eines Typs II (Esophorietendenz), da die $FD_{(USA)}$ in Richtung Ba für die drei letzten Prismenwerte nahezu konstant blieb.

In der Nähe zeigt die $FD_{(USA)}$ -Kurve eindeutig einen Kurventyp I an. Die Kurve beschreibt eine Eso-FD von 2,15' ($0,06^{\text{cm}}/\text{m}$) und eine $AP_{(USA)}$ von $6^{\text{cm}}/\text{m}$. Diese Kurve ist stärker als 45° geneigt, sowohl im Zentrum der Symmetrie als auch um den prismatischen Nullpunkt. Nach der amerikanischen Theorie wird dadurch deutlich, dass die Probandin Defizite aufweist, einen vorhandenen Vergenzbedarf mittels fusionaler Vergenz (Bildung von tonischer langsamer Vergenz) in der Nähe zu kompensieren.

Weitere geringfügige Auffälligkeiten der Probandin:

1. Die Probandin gab an, an allen Polatestcharts mit dem rechten Auge einen etwas blasserem Seheindruck zu haben. Die genauere Untersuchung ergab jedoch, dass sie nur außerordentlich kontrastempfindlich auf ihre sphärische Unterkorrektur von nur 0,125dpt reagiert. Schon -0,25dpt mehr Minus auf dem rechtem Auge ließen den Kontrast zu Gunsten des rechten Auges umschlagen.
2. Desweiteren war am Polatest Nähe und Ferne am Valenztest nur kurz und nur zu Beginn folgendes Phänomen zu beobachten. Die Probandin gab an, der äußere Strich der Skala verbinde die beiden Dreiecke und die Skala selbst erscheine rechts daneben blass, aber trotzdem räumlich im Hintergrund. Sie könne diese Skala aber auch nach links bringen und bei konzentriertem Hinschauen wandelte sich dieser Seheindruck wieder in das Standardbild (einem zentrierten Valenztest mit Isovalenz).

Eine Auswertung dieser Angabe ergab im Nachhinein, dass die Probandin die Dreiecke zusammen mit dem äußeren Strich der Skala foveal fixiert haben könnte und die Skalen dabei nasal disparat abgebildet und ausgewertet wurden.

Eigentlich hätten an dieser Stelle die Untersuchungen zum Thema Prismenadaptation abgebrochen werden können, weil die Existenz einer $FD_{(USA)}$ und ein zu steiler Kurvenverlauf Ausschlusskriterien sind. Dennoch wurde die Probandin in die Versuchsreihe der Prismenadaptation einbezogen, um aus diesem Fall Rückschlüsse auf die Funktionsweise des Binokularsehens ziehen zu können. Zudem waren die meisten Kriterien erfüllt. Die Probandin zeigte nach MKH Orthophorie in Ferne und Nähe. Die Fern- $FD_{(USA)}$ ergab ebenfalls eine Orthophorie und auch alle weiteren amerikanischen Testergebnisse entsprachen der Norm. Außerdem wurden die Prismenadaptationsversuche in der Ferne durchgeführt.

Prismenadaptation

1. Überprüfung der Orthophorie am Polatest

Ein erneuter Durchlauf des Polatestes in Ferne und Nähe ergab noch immer eine Orthophorie.

2. $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis außen (Ba)

Nachdem die Probandin $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba 3,5min lang getragen hatte, berichtete sie ein leichtes Verschwommensehen an den Polatestsnellenzeichen. Eventuell könnte man diese Aussage auf eine vorhandene Farbdispersion durch die Prismen begründen. Möglicherweise trat jedoch an dieser Stelle auch zwischen AC/A und CA/C ein erhöhter Desakkomodationsaufwand durch Rückkopplungen auf, der nicht kompensiert werden konnte.

Am Kreuztest ergab sich spontan eine Exowahrnehmung. Das Bild war sehr unruhig und spontan verschwanden in unregelmäßiger Folge der senkrechte und der wagerechte Balken.

Am Zeigertest wurde eine geringe Exophorie berichtet. Die Auswanderungen entsprachen den Beträgen der normalen Größe der Panumbereiche.

Die induzierte Exophorie wurde am Kreuz vollkommen korrigiert, wobei kompensierende Prismen, wie z.B. zwei Prismen mit Basislage rechts oder links (*yoked prism*), nicht getragen wurden. Sie führten zu starker Unruhe mit unbestimmter Richtungstendenz. Erst als alle Prismen restlos aus der Messbrille entfernt waren nahmen Hemmungen und Unruhe wieder ab.

3. $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis innen (Bi)

Bei $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi ergab sich ein ganz ähnliches Bild. Der Visus reduzierte sich gering auf beiden Augen. Am Kreuz wurde eine Esophorie von einer Strichbreite wahrgenommen. Am Zeiger ergab sich eine Tendenz in Richtung Esophorie, wobei sich der obere Zeiger zwischen dem 1. kleinen Strich rechts und der Skalenmitte befand. Der untere Zeiger wanderte weiter nach rechts bis auf den 1. kleinen Strich aus. Bei dieser genauen Beschreibung wird deutlich wie präzise und sensibel diese Probandin wahrnehmen konnte. Warum das Zeigerpaar jedoch nicht symmetrisch nach rechts wanderte ist verwunderlich, wird sich jedoch auch bei den nachfolgenden Probanden zeigen!

Am Kreuz zeigten sich immer stärker werdende Hemmungen. Die Probandin berichtete, dass "weiße Flecken auf den Balken entlanglaufen". Das rechte Auge suppressionierte häufiger als das linke. Am Kreuz konnten nur $4^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis innen reduziert werden. Nach dieser Reduktion war zwar der Seheindruck noch immer stark unruhig, es konnte jedoch keine bestimmte Richtung der Auswanderung ausgemacht werden. Auch am Zeiger zeigten sich jetzt ausschließlich Hemmungen, die Tendenz zur Esophorie war nicht mehr vorhanden.

Am Valenztest hingegen war eine Prävalenz zu erkennen. Beim Vorhalten verschiedener Basislagen entschied sich die Probandin eindeutig für die reduzierende Basislage (außen). In 0,50er Schritten wurde dann die induzierte Esophorie auf null reduziert. Schließlich ergab sich ein annäherndes Stereosehgleichgewicht.

Zurück am Kreuz traten noch immer alternierende Hemmungen auf. Der Seheindruck beruhigte sich nicht sofort, stabilisierte sich jedoch nach 2 Minuten wieder.

4. $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis unten rechts (BuR)

Bei $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR gab die Probandin an, das Kreuz verschiebe sich in alle erdenklichen Richtungen. Sie hatte große Mühe, eine spezielle Richtung angeben zu können. Der Doppelzeiger zeigte keine Auswanderung. Der Hakentest zeigte nur eine große Unruhe ohne spezielle Richtungstendenz. Mit viel gutem Willen konnte die Probandin angeben, dass $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ BoR den Seheindruck am Kreuz etwas stabilisierten. Jedoch brachte eine weitere Reduktion lediglich eine Tendenz Basis unten rechts. Das Kreuz kam ihr leicht verschwommen vor.

Am Valenztest hingegen konnte die Probandin jetzt eindeutig angeben, dass die beiden Dreiecksspitzen gegeneinander verschoben sind. Hier konnte sie beim Vorhalten verschiedener Basislagen eindeutig die reduzierende als angenehmer identifizieren. Das Reduzieren der gesamten enthaltenen Prismen ($0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR) führte zum Stereosehgleichgewicht.

Am Kreuztest stabilisierte sich daraufhin der Seheindruck innerhalb einer Minute.

5. 1,0cm/m Basis oben rechts (BoR)

Bei 1^{cm}/m BoR gab die Probandin an, das Kreuz blinke wie eine Ampel (starke Hemmungen). Dabei fehlte teilweise die gesamte Mitte vom senkrechten Balken in Filternormalstellung. Diese starken Hemmungen zum Ende der Untersuchungen hin könnten als Auswirkungen des andauernden Stresses auf das Vergenzsystem interpretiert werden. Der Zeiger machte keine Auswanderung deutlich, der Doppelzeiger jedoch eine minimale Tendenz BuR. Am Valenztest konnte die Probandin genauestens angeben, dass sich das obere Dreieck nach rechts und das untere nach links verschoben habe. Der gesamte Betrag konnte an diesem Test eindeutig aufgedeckt werden.

Zu diesem Versuch sei angemerkt, dass die Probandin eine Optometriestudentin war. Sie konnte nachvollziehen, wann ein Prisma in der Messbrille enthalten war und wann nicht. Auf kompensierende Prismen sprach sie nicht in erwarteter Weise an und reagierte ausschließlich mit Hemmungen. Bei diesem Ergebnis ist eine psychologische Komponente nicht auszuschließen und sollte entsprechend berücksichtigt werden. Jemand, der dem Test hätte nicht bewusst folgen können, wäre eventuell schon früher zu einem stabilen Seheindruck gekommen.

Ergebnisse des Prismenadaptationsversuches:

1. Es traten spontane Hemmungen an Kreuz- und Zeigertest auf.
2. Die Probandin entwickelte nach 3,5min Prismenkompensation spontan eine disparate Fusion am Zeiger- und Valenztest
3. Es wurde in jedem Fall der gesamte induzierte Vergenzbedarf aufgedeckt.
4. Nicht der gesamte Betrag konnte am Kreuz aufgedeckt werden, dabei störten zunehmend Hemmungen am Ende der Untersuchung.
5. Der Valenztest war von der Probandin am genauesten zu beurteilen, um die Vergenzruhestellung zu finden.
6. Am Zeiger zeigte sich eine unsymmetrische Auswanderung.
7. Prismen mit gleicher Basisrichtung (*yoked prism*) konnten das Sehen nicht in eine ruhige, hemmungsfreie Orthostellung führen.
8. Wie an dem Nah $FD_{(USA)}$ -Test ermittelt, ist die zu geringe Innervation der langsamen Vergenz hier eventuell Ursache dafür, dass die Probandin kaum Vergenzbedarf durch Tonusbildung reduzieren konnte (daher auch nicht am Kreuz ermittelbar). Sie neigte eher dazu, eine $FD_{(D)}$ zu entwickeln und diese am Valenztest beurteilen zu können. Dabei hat sich entweder innerhalb dieser wenigen Minuten eine $FD_{(D)}$ II/ 3 entwickelt oder es muss sich spontan Tonus gelöst haben der in eine $FD_{(D)}$ I überging sowie auf den Valenztest geschaut wurde, da nur an diesem Test der Restbetrag aufgedeckt werden konnte.

7.4.2 Probandin 2

Auffälligkeiten in der Anamnese

Diese Probandin ist ebenfalls 24 Jahre alt. Vor einem halben Jahr ließ sie vom Augenarzt einen Lidspaltenfleck abklären. Dieser wurde als unbedenklich eingestuft. Die Probandin bereitet gerade ihre Diplomprüfung vor und liest daher ca. 8-10 h am Tag. Währenddessen bekommt sie nur zur gewohnten Schlafenszeit Konzentrationsprobleme, nicht aber am Tage. Im Gegenteil, das Lernen und Lesen scheint sie sogar zu beleben. Der Probandin sind bisher weder asthenopische Beschwerden noch Sehstörungen aufgefallen. Sie benötigte noch nie eine optische Korrektur.

Beim Fehlen asthenopischer Beschwerden kann nie ausgeschlossen werden, dass der Proband Naharbeit bzw. anstrengende visuelle Tätigkeiten vermeidet und daher potentiellen Beschwerden entgegenwirkt. In diesem Fall ist dies eindeutig auszuschließen. Von besonderem Interesse war deshalb die Frage, ob die Messergebnisse der Binokularfunktionen ebenfalls, wie zu vermuten wäre, in der Norm liegen.

Messwerte

sph	plan	V_{cc}	1,2 ⁻³	V_{bin}: 1,5 ⁻¹	PD: 63
sph	plan	V_{cc}	1,5 ⁻⁵		

Tabelle 7.4-3

Mit ihrem Fernvisus erreichte die Probandin monokular am Polatest-Snellentest in einem 5,80m langen Raum mit dem rechten Auge einen Visus von 1,2⁻³ und mit dem linken 1,5⁻⁵. Binokular kam sie auf einen Visus von 1,5⁻¹. In der Nähe erreichte sie monokular und binokular einen Visus von 1,25.

Bei der Refraktion konnte keine Fehlsichtigkeit ermittelt werden.

Der Polatest ergab ein Refraktionsgleichgewicht am Cowen-Test und eine Orthophorie in Ferne und Nähe. Am Kreuz verschwand der senkrechte Balken in 1% der Zeit jedoch nur in der Filternormalstellung. Beim spontanen Beobachten des Kreuztestes nahm sie diesen in Exostellung wahr. Je länger die Probandin allerdings auf den Test schaute, desto stabiler sah sie das Kreuz symmetrisch. Der Valenztest war für diese Probandin sehr schwer zu beurteilen. Sie sah in 80% der Zeit die Dreiecke senkrecht übereinander in der Mitte stehen. Sie bemerkte jedoch, dass sich dieses Bild beim Fixieren des oberen Dreiecks änderte. Danach standen die Dreiecke auf dem kleineren Strich rechts. Dasselbe nahm sie auch in der Filterinversstellung wahr (auch hier standen die Dreiecke auf dem kleinen Strich rechts), sehr selten aber in 1% der Zeit. Hier wird deutlich wie sehr man darauf achten sollte, dass der Proband auch wirklich den Fixationspunkt anschaut. Ansonsten ergibt der Test diffuse Ergebnisse.

Die geringe Visusreduktion, in Kombination mit geringen Hemmungen auf dem rechten Auge, könnte bei dieser Probandin geringe latente FD_(D)-Anteile vermuten lassen.

Weitere Testergebnisse im Überblick:

Test:	Testergebnis	Normbereiche	
			Stabw.
Covertest Ferne:	1 cm/m Bi	1 cm/m Bi	± 2
Covertest Nähe:	Orthophorie	3 cm/m Bi	± 3
AC/A Gradient:	4	4/ 1	± 2
Versionen:	kleinere Sakkaden, ohne Kopfbewegungen		
Sakkaden:	exakt, ohne Kopfbewegungen		
MEM -Skiaskopie:	R: 0,75 dpt	+0,50 dpt	$\pm 0,25$
	L: 0,75 dpt	+0,50 dpt	$\pm 0,25$
Monokulare Akkommodationsamplituden:	AA =8,7 dpt (11,5 cm)	10,0 dpt	+/- 2,0
	AA =9,1 dpt (11,0 cm)	10,0 dpt	+/- 2,0
Nahkonvergenzpunkt/ Widerver.pkt.	3,5 cm/ 4,5 cm	2,5 / 4,5 cm	$\pm 2,5/\pm 3$
Konvergenzbreiten Ferne:	kein Wert / 18 / 12	x / 11 / 7	$\pm 7/\pm 2$
Divergenzbreiten Ferne:	kein Wert / 18 / 8	x / 7 / 4	$\pm 3/\pm 2$
Konvergenzbreiten Nähe:	25 / 35 / 20	x / 19 / 14	$\pm 9/\pm 7$
Divergenzbreiten Nähe:	10 / 16 / 10	x / 13 / 10	$\pm 6/\pm 5$
Monokulare Akkommodationsdynamik:	3-4 Runden/min (Plus und Minus gleich)	8	± 5
Binokulare Akkommodationsdynamik	5 Runden/min (Minus etwas schneller)	11	± 5
Vergenzdynamik	19 Runden/ min	15 Rund./min	

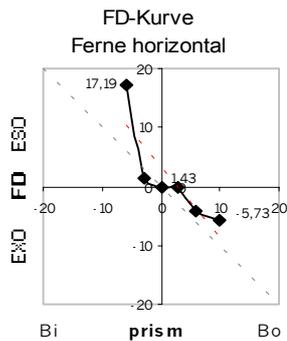
Tabelle: 7.4-4

Auswertung der Messergebnisse der Einstellmechanismen

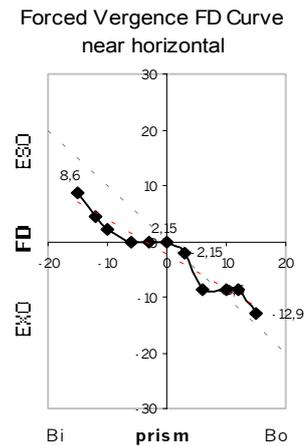
Die Messungen der Einstellfunktionen nach dem amerikanischen Modell ergaben ein interessantes Bild. Alle Funktionen entsprachen der Norm, nur die der Akkommodation und die Akkommodationsdynamik waren leicht reduziert. Die dynamisch ermittelten Werte befanden sich jedoch noch knapp innerhalb der einfachen Standardabweichung. Die monokularen Akkommodationsamplituden lagen um eine Dioptrie unter den Normwerten für die zugehörige Altersklasse. Sie treffen aber auch hier in den Bereich der einfachen Standardabweichung. Sowohl in der monokularen als auch in der binokularen Messung der Akkommodationsdynamik hatte die Probandin leichte Probleme, die gegebenen +/-2,0dpt zu kompensieren. Sie fühlte sich partiell überfordert, weil sie nicht wusste wie sie diese Funktionen ansprechen konnte. Bei der Vergenzdynamik hingegen fiel es ihr leicht die Prismen zu kompensieren.

Der Probandin waren jedoch keine Auffälligkeiten, wie z.B. Verschwommensehen in der Ferne nach langem Lesen oder Einstellschwierigkeiten beim Fokuswechsel Nähe - Ferne bewusst. Auch einen Monat nach der Untersuchung sind ihr diesbezüglich keine Schwierigkeiten aufgefallen.

Auswertung der $FD_{(USA)}$ -Kurven



Diagr. 7.4-3



Diagr. 7.4-4

Die $FD_{(USA)}$ -Kurven entsprechen in Ferne und Nähe der Norm. Bei prismenfreiem Sehen besitzt die Probandin in beiden Entfernungen keine $FD_{(USA)}$. Die Kurve ist zwischen dem $3,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba- und $3,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi-Bereich flacher als 45° geneigt. Solche $FD_{(USA)}$ -Kurven wurden innerhalb dieser Arbeit bislang nur bei trainierten Probanden beobachtet (vergleiche Kap. 6.4.4 und 6.5.5). Fern- und Nahkurven sind als Typ I einzustufen. Die Kurven lassen insgesamt auf ein gutes Vergenzadaptationsvermögen schließen.

Die Probandin verfügt über ein außerordentlich gutes und stabiles Binokularesehen. Allerdings scheint sie leichte Defizite in der Akkommodationsdynamik zu haben, die aber von ihr nicht einschränkend wahrgenommen werden.

Die Kriterien zu der Prismenadaptationsstudie sind für diese Probandin erfüllt.

Prismenadaptation

1. Überprüfung der Orthophorie am Polatest

Ein erneuter Durchlauf des Polatestes in Ferne und Nähe ergab noch immer eine Orthophorie.

2. $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis außen (Ba)

Nachdem die Probandin $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba 3,5min lang getragen hatte, nahm sie den Kreuztest in Exostellung wahr. Dabei beschrieb sie die Richtung der Testanteile als relativ instabil. Manchmal richtete sich das Kreuz sogar wieder symmetrisch aus. In der Filterinversstellung bemerkte die Probandin als erstes, dass der senkrechte Balken mit der oberen Spitze nach rechts verdreht war. Mit $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba am Zeigertest wies nur der obere Zeiger nach links, in Filterinversstellung dagegen nach rechts. Der untere Zeiger war in beiden Filterstellungen mittig. Der Valenztest ergab ein Stereosehgleichgewicht.

Zurück am Kreuztest wurden die Prismen um $2^{\text{cm}}/\text{m}$ reduziert bis die Probandin das Kreuz in Filternormalstellung erstmalig konstant mittig sah. In Filterinversstellung blieb der obere senkrechte Balken noch immer nach rechts verdreht. Dabei war der gesamte senkrechte Testanteil mittig, wobei beide Testanteile gelegentlich verschwanden.

Nachdem die Prismen in Filterinversstellung auf $2^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba reduziert worden waren, nahm die Probandin das Kreuz konstant und mittig wahr. Dabei schien der senkrechte Balken noch immer verdreht zu sein, diesmal jedoch symmetrisch, oben nach rechts und unten nach links.

Am Ende wurden alle Prismen aus der Messbrille entfernt. Daraufhin veränderte sich der Seheindruck erneut, wurde zunächst unruhiger, verblieb aber in 60% der Zeit in Nullstellung. Während der anderen Zeit wanderten die Testanteile symmetrisch in Richtung Esophorie aus. Nach nur wenigen Minuten stabilisierte sich der Seheindruck und blieb konstant mittig.

3. $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis innen (Bi)

Bei $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi ergab sich ein ganz ähnliches Bild. Anfangs wurde der Kreuztest mittig wahrgenommen. Nach kurzer Zeit wanderte der senkrechte Balken in Filternormalstellung bis zur Hälfte des waagerechten in Richtung Esophorie aus.

Am Zeiger ergab sich eine induzierte Eso- $FD_{(USA)}$, wobei der Zeiger zunächst noch immer senkrecht stand.

Am Stereo- oder Valenztest ergab sich keine Auffälligkeit.

Als die Prismen am Kreuz auf $4^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi reduziert wurden, blieb es zwar bei mittiger Wahrnehmung des Kreuzes, der Seheindruck des linken Auges war jedoch wieder schief nach rechts verdreht. In Filterinversstellung neigte sich der senkrechte Balken genauso nach rechts wie in Filternormalstellung der waagerechte. Zu diesem Zeitpunkt verschwanden die Balken alternierend.

Bei $2^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi erschien das Kreuz mittig, jedoch noch immer etwas unruhig.

Der Zeigertest wurde in FN mittig wahrgenommen, aber in FI nur unten links (eventuell durch Extorsion bei Esowahrnehmung).

Bei $1^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi wies der untere Zeiger noch immer leicht nach links, bei $0^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi standen die Zeiger oben und unten stabil mittig. Auch das Kreuz wurde stabiler.

4. $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis unten rechts (BuR)

Bei $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ BuR gab die Probandin an, dass sie das Kreuz zwar symmetrisch wahrnehmen könne, der waagerechte Balken kippe jedoch ab und zu nach rechts. Auch in FI war der Seheindruck des linken Auges eindeutig nach rechts gekippt.

Am Doppelzeiger in FI zeigte sich der senkrechte Balken wiederum oben nach rechts gekippt. Unten war derselbe Zeiger nur leicht nach links verdreht (kaum wahrnehmbar). Ein spiegelverkehrtes Bild ergab sich in FN-Stellung. Am Stereo- oder Valenztest wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Die Prismen wurden daraufhin mit R/L $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Bu kompensiert. Der Seheindruck allerdings blieb weiterhin unruhig und schief. Bei dieser Untersuchung waren weniger Hemmungen vorhanden, als während der Neutralisation horizontaler Prismen. Nachdem alle Prismen entfernt worden waren, stellte sich wieder ein ruhiger, symmetrischer und gerader Seheindruck der Testanteile ein.

5. $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis oben rechts (BoR)

Auch hier konnte die Probandin keine Auswanderung in der Höhe an Kreuz- oder Zeigertest wahrnehmen. Jedoch zeigte sich am Kreuz und am Zeiger eine Verdrehung (Extorsion). Der untere senkrechte Teil wurde diesmal als stärker verdreht wahrgenommen als der obere senkrechte Testanteil. Nachdem alle Prismen entfernt worden waren, blieb dieser Seheindruck für längere Zeit erhalten, bis sich langsam wieder der ursprünglich senkrechte, stabile und symmetrische Seheindruck durchsetzte.

Anmerkung zur Wahrnehmung der Teste

Die Beschreibungen der Testwahrnehmungen bei allen induzierten Vergenzanforderungen an das visuelle System machen deutlich, dass sich häufig der Seheindruck des linken, partiell auch des rechten Auges, leicht zu drehen schien. Die beschriebene Wahrnehmung spricht für eine Extorsion der Augen, höchstwahrscheinlich durch eine unausgewogene Innervation der äußeren Augenmuskulatur ausgelöst.

Möglich wäre allerdings auch, dass bei extremen Anforderungen an das Vergenzsystem sensorische Anpassungen als spontane Adaptationsmechanismen gewirkt haben oder sogar eine bereits vorher ausgebildete disparate Korrespondenz, einschließlich der angepassten Richtungswerte, kurzfristig reaktiviert worden ist.

Auswertungen der Messergebnisse der Prismenprobanden ergaben jedoch, dass Extorsionserscheinungen häufig bei sehr hohen Ba-Korrekturen auftreten können. Sie scheinen erste Anzeichen einer Nichtakzeptanz der gegebenen Prismen zu sein. Diese These wird durch die Wahrnehmungen der Probandin zum Teil bestätigt. Andererseits wurde deutlich, dass falsche Korrekturen zu schiefen Seheindrücken führen können.

Ergebnisse des Prismenadaptationsversuches:

1. Es traten spontane Hemmungen an Kreuz- und Zeigertest auf.
2. Die Probandin entwickelte nach 3,5min Prismenkompensation spontan eine disparate Fusion am Zeigertest.
3. Es wurde nicht in jedem Fall der gesamte induzierte Vergenzbedarf aufgedeckt. Beim Induzieren einer Exophorie durch Ba und von Vertikalphorien verblieben 2 von $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba bzw. 1 von $1^{\text{cm}}/\text{m}$ BoR (BuR) in der Messbrille. Letztere erzeugten beim Entfernen für kurze Zeit eine entgegengesetzte $AP_{(D)}$.
4. Beim Induzieren einer Esophorie konnte der Restbetrag der in der Messbrille enthaltenen Prismen nur am Zeigertest gefunden werden.
5. Der Valenztest war von der Probandin schwer zu beurteilen und half nicht, den fusionalen Vergenzbedarf aufzudecken.
6. Am Zeiger und am Kreuz zeigte sich eine asymmetrische Auswanderung, wobei nur der obere oder untere Zeiger bzw. der senkrechte Balken des Kreuztestes schräg auswanderten.
7. Als die Prismen nahezu vollständig aus der Messbrille entfernt wurden, verdrehte sich hauptsächlich der Seheindruck des linken Auges nach rechts, teilweise aber auch des rechten Auges nach links (Extorsion). Dabei blieben die waagerechten Zeiger des Doppelzeiger-

Testes mittig. Dieser Seheindruck würde eigentlich für eine anamorphotische Verzeichnung sprechen. Aufgrund fehlender zylindrischer Gläser ist dies jedoch auszuschließen.

8. Die genannte Extorsion machte sich bei allen Vergenzanforderungen an die äußere Augenmuskulatur bemerkbar, war jedoch stärker beim linken Auge ausgeprägt und überdies prägnanter, wenn nur ein Teilbetrag der Prismen reduziert wurde.
9. *Yoked prism* konnten das Sehen nicht in eine ruhige hemmungsfreie Orthostellung führen.

7.4.3 Proband 3

Anamnese

Der Proband 3 (P3) ist Augenoptik/ Optometriestudent und 27 Jahre alt. Die Anamnese ergab weder bei dem Probanden selbst, noch in seinem Verwandtenkreis Auffälligkeiten. Asthenopische Beschwerden oder Sehstörungen traten bislang nicht auf. Als Hobby wurden Handballspielen (Bezirksklasse) und Motorradfahren genannt. Täglich verbringt er ca. 1h am Computer.

Messwerte

sph	plan	cyl	-0,25	A	155°	V_{cc}	1,5 ⁻¹	V_{bin}: 1,5	PD: 63
sph	plan	cyl	-0,25	A	20°	V_{cc}	1,5 ⁻¹		

Tabelle: 7.4-5

Mit dem Fernvisus erreichte P3 monokular am Polatest-Snellentest in einem 5,80m langem Raum mit dem rechten und linken Auge einen Visus von 1,5⁻¹. Binokular kam er auf einen Visus von 1,5.

Der Polatest zeigte eine Orthophorie in Ferne und Nähe an. Am Cowen-Test konnte ein Refraktionsungleichgewicht von links -0,12dpt aufgedeckt und an den Snellen monokular bestätigt werden. Mit dieser Korrektur besaßen alle Kreise einen gleichwertigen Kontrast.

Der Valenztest war für diesen Probanden ebenfalls schwer zu beurteilen. Die Dreiecke wurden doppelt wahrgenommen, jedoch am V11 einfach und mittig.

Die Testanteile aller Teste wurden ruhig und stabil wahrgenommen. Dabei gab es keinerlei Kontrastunterschiede in der Wahrnehmung des rechten oder linken Auges. Bei einer 63mm großen Pupillendistanz war eine relative Stereotiefe von 1,40m zu erwarten, die von dem Probanden mit 1,42m bestätigt wurde. Der Stereogrenzwinkel betrug in der Ferne mindestens 30 Winkelsekunden, in der Nähe jedoch nur 1 Winkelminute. Dabei wurden alle Random Dot Bilder gleichwertig wahrgenommen und fehlerfrei interpretiert.

Weitere Testergebnisse im Überblick:

Test:	Testergebniss	Normbereiche	
			Stabw.
Covertest Ferne:	2 cm/m Bi	1 cm/m Bi	± 2
Covertest Nähe:	5,5 Exophorie	3 cm/m Bi	± 3
AC/A Gradient:	2,75 - 3,5/ 1	4/ 1	± 2
Versionen:	gleichmäßig, ohne Kopfbewegungen		
Sakkaden:	exakt, ohne Kopfbewegungen		
MEM-Skiaskopie:	R: 0,75 dpt	+0,50 dpt	$\pm 0,25$
	L: 0,50 dpt	+0,50 dpt	$\pm 0,25$
Monokulare Akkommodationsamplituden:	AA =7,41 dpt (13,5 cm)	8,8 dpt	+/- 2,0
	AA =7,41 dpt (13,5 cm)	8,8 dpt	+/- 2,0
Nahkonvergenzpunkt:	Abreißpkt.: 5,0 cm / Wiederver: 5,5 cm	2,5 / 4,5 cm	$\pm 2,5/\pm 3$
Konvergenzbreiten Ferne:	kein Wert / 25 / 20	x/ 11 / 7	$\pm 7/\pm 2$
Divergenzbreiten Ferne:	kein Wert / 6 / 4	x/ 7 / 4	$\pm 3/\pm 2$
Konvergenzbreiten Nähe:	kein Wert / 35 / 30	x/ 19 / 14	$\pm 9/\pm 7$
Divergenzbreiten Nähe:	12 / 16 / 14	x/ 13 / 10	$\pm 6/\pm 5$
Binokulare Akkommodationsdynamik:	14 Runden/min (Minus etwas langsamer	8	± 5
Vergenzdynamik	24 Runden/ min als Plus)	15 Rund./min	

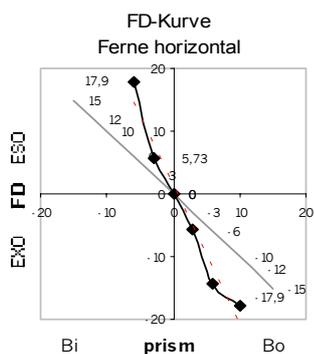
Tabelle: 7.4-6

Auswertung der Messergebnisse der Einstellmechanismen

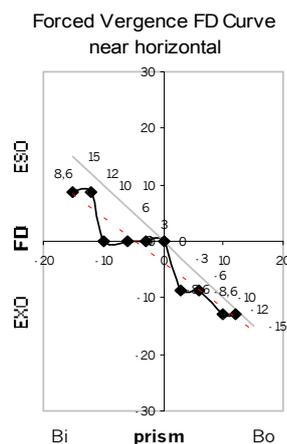
Die Einstellmechanismen treffen in allen Bereichen die Normwerte bzw. den Normbereich (Normwert plus/ minus einfache Standardabweichung). Dabei befindet sich die Nahexophorie dicht an der oberen Grenze der Standardabweichung. Die Divergenzbreite in der Ferne sowie die Akkommodationsamplituden sind nur leicht reduziert.

Amerikanische Optometristen gehen davon aus, dass eine leichte Nahexophorie dem normalen Binokularsehen zuzuordnen ist, solange der Nahkonvergenzpunkt nicht größer als 10,0cm ausfällt und die Konvergenzbreite sich ebenfalls in der Norm befindet. Sind diese 3 Bereiche außerhalb der Norm, so spricht man von einer Konvergenzinsuffizienz [Scheiman & Wick, 1994, S.225]. Die Richtlinien der OEP widersprechen in diesem Punkt den Regeln von Scheiman & Wick, weil sie Nahphorien kleiner als $6^{cm}/m$ Bi als Hinweis auf eingeschränktes Binokularsehen interpretieren (siehe hierzu Kap.5.5.4), [Birnbaum MH, 1993, S.122].

Auswertung der $FD_{(USA)}$ -Kurven:



Diagr. 7.4-5



Diagr. 7.4-6

Die $FD_{(USA)}$ -Kurve entspricht in der Ferne leider nicht ganz der Norm, da sie im $\pm 3^{\text{cm/m}}$ Bereich stärker als 45° geneigt ist und somit auf eine leicht reduzierte Adaptationsfähigkeit hinweist. Eine Ursache für diesen Kurvenverlauf könnte sein, dass der Proband anfangs sehr schnell antwortete und infolgedessen kaum Zeit zur Adaptation beansprucht wurde. Trotzdem entspricht die Kurve dem Kurventyp I und es liegt keine $FD_{(USA)}$ im prismenfreien Sehen vor.

In der Nähe zeigt die $FD_{(USA)}$ -Kurve ebenfalls einen Kurventyp I an, wobei Bi-Prismen bis zu $10^{\text{cm/m}}$ Bi stark adaptiert wurden. Wäre die Kurve direkt nach dieser Adaptationsphase abgerissen, so hätte man die Kurve als Kurventyp III (Exophorie) interpretieren können. Auch hier ist keine $FD_{(USA)}$ bei einer ungezwungenen Vergenzstellung vorhanden. Die Kurve ist insgesamt sehr flach, was auf ein gutes Vergenzadaptationsvermögen schließen lässt.

Auch dieser Proband besitzt ein außerordentliches Vermögen zum guten, stabilen Binokularsehen. Die Kriterien der Prismenadaptationsstudie sind erfüllt.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, ob aufgrund der steileren $FD_{(USA)}$ -Kurve in der Ferne Prismen tatsächlich schlechter adaptiert werden, als bei Probandin 2 mit der flacheren Kurve.

Prismenadaptation

1. Überprüfung der Orthophorie am Polatest

Ein erneuter Durchlauf des Polatestes in Ferne und Nähe ergab noch immer eine Orthophorie.

Bei diesem Probanden wurde nun der Versuchsablauf etwas modifiziert. Die Prismen wurden eingesetzt während der Proband den Zeigertest zu fixieren hatte. Auf diese Weise konnte der genaue Zeitpunkt der Erzeugung einer $FD_{(D)}$ verfolgt werden.

2. $6^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis außen

Spontan nach dem Einsetzen der Prismen zeigte der Zeiger auf den linken kleinen Strich. Diese Wahrnehmung veränderte sich auch nach dreiminütiger Absolvierung anspruchsvoller Sehaufgaben nicht.

Das Kreuz zeigte nach 3minütiger Adaptationszeit in FN-Stellung weit nach links und in Filterinversstellung etwas weniger nach rechts. An keinem der Teste konnte eine induzierte Höhe festgestellt werden. An den Stereotesten wurde weder eine Stereoverzögerung noch ein Nachrutschen der Testanteile beobachtet. Jedoch zeigte sich am Valenztest V11 eine leichte Prävalenz in Filternormalstellung (80% links), jedoch nicht in FI-Stellung. Ab $3,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba schwankte das Kreuz unruhig um die Mitte, wobei der Kontrast von beiden Augen als gleichwertig eingeschätzt wurde. Der Proband nahm den Zeiger jedoch noch immer leicht in Exostellung wahr. Dieses Ergebnis konnte nach der Reduktion der Prismen auf $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi als mittig interpretiert werden. Der Valenztest blieb nach wie vor unverändert. Mit $0,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi zeigte der Kreuztest eindeutig eine Unterkorrektur (Esophorie) an. P3 musste bis auf $1,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Ba korrigiert werden, um Kreuz und Zeiger wieder stabil mittig wahrzunehmen. Nach einer dreiminütigen Phase ohne Prismen konnte der Proband wieder überaus stabile Werte erreichen. Außer beim Valenztest in FN-Stellung, waren alle Teststellungen mittig zu sehen

3. $4^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis innen (Bi)

Zur Induktion einer Esophorie wurden diesem Probanden nur $4^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi gegeben, da seine Vergenzbreite für die Ferne nur $6^{\text{cm}}/\text{m}$ betrug. Bei $2^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi verschob sich der Zeiger um einen Strich nach rechts und bei $4^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi um insgesamt 2 Strichbreiten rechts. Der Fixationspunkt wurde dabei einfach gesehen. Es konnten keine Kontrastveränderungen ausgemacht werden. Spontan verzögerte sich allerdings die Wahrnehmung der Stereoteste, auch der Visus erreichte keine vollkommene Stabilität (aufgrund der erzwungenen Divergenz in der Nähe des Abreißpunktes).

Nach 3 Minuten wurden in FN das Kreuz und der Zeiger um 1 Strichbreite weiter rechts gesehen (Eso). Es konnte keine induzierte Höhe und mittlerweile auch keine Spontanverzögerungen bzw. Nachverzögerungen mehr wahrgenommen werden. Der V11 zeigte eine gleichmäßige Prävalenz (FN: links; FI: rechts). Am D5 konnte der Strich von den anderen in FI nicht mehr räumlich getrennt werden.

Nach der Reduktion der Prismen auf $2^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi wurden Kreuz und Zeiger mittig, aber unruhig gesehen. Wie zu Beginn war der V11 jetzt nur noch in FI leicht links versetzt und in FN unauffällig. Dieses Bild änderte sich auch nach der vollständigen Reduktion der Bi-Prismen nicht. An dieser Stelle wurde das Kreuz eindeutig in Exoposition wahrgenommen und erst mit $1,5^{\text{cm}}/\text{m}$ Bi erneut mittig, aber leicht unruhig, interpretiert.

Nach einer dreiminütigen Phase ohne Prismen konnte der Proband wieder überaus stabile Werte erreichen. Alle Zeigerstellungen - mit Ausnahme des Valenztestes in FN - wurden mittig gesehen.

4. $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis unten rechts (BuR)

Aus Zeitgründen konnten die vertikalen Prismen nur 1,5 Minuten adaptiert werden.

Spontan entstand beim Einsetzen der Prismen eine Exophorie von einer Strichbreite am Zeiger- und Kreuztest. Am Valenztest konnte jetzt erneut eine leichte Prävalenz in beiden Filterstellungen wahrgenommen werden, nur am Haken nicht. Am Kreuz oder Doppelzeiger aber war spontan ein geringer Höhenversatz sichtbar, der trotz einer 1,5minütigen Adaptationszeit fortbestand. Nachdem dieser Höhenversatz durch $0,25^{\text{cm}}/\text{m}$ BoR korrigiert werden konnte, liefen die Haken in beiden Filterstellungen ineinander und konnten nicht mehr getrennt wahrgenommen werden. Das Kreuz und der Doppelzeiger blieben in Exostellung und gaben keinerlei Auskunft über einen vertikalen Anteil.

Nach dreiminütigem Sehen ohne Prismen stellte sich wieder ein extrem stabiler orthophorer Zustand an allen Testen ein. Nur der Valenztest blieb in beiden Filterstellungen leicht in Prävalenz.

5. $1,0^{\text{cm}}/\text{m}$ Basis oben rechts (BoR)

Im Vergleich zu den bereits beschriebenen Versuchen brachte die Adaptationszeit hier nahezu identische Ergebnisse. Das Kreuz zeigte zwar die Höhe spontan an, wanderte aber genauso in Exoposition. Am DZ und am H konnte ebenfalls die Höhe kurzzeitig beobachtet werden. Nach einer Minute war am Kreuztest die Höhe allerdings kaum noch zu erkennen. Der DZ erwies sich als unauffällig und der Hakentest konnte nicht mehr getrennt wahrgenommen werden. Bei $0,75^{\text{cm}}/\text{m}$ BoR wurden alle wahrnehmbaren Teste (jedoch nicht der Valenztest) in Nullposition gesehen. Die Testanteile blieben jedoch unruhig. Nach Entfernung der Prismen wurden alle Teste kurzzeitig ruhig und mittig interpretiert, nur der Valenztest blieb in FN leicht in Prävalenz.

Ergebnisse des Prismenadaptationsversuches

1. Es konnten keine Hemmungen von dem Probanden in Form von Kontrastunterschieden oder völligem Verschwinden von Testanteilen wahrgenommen werden. Nur die Fusion der Haken oder aber auch die konstante Prävalenz des großen Valenztestes könnten für Hemmungen sprechen.
2. Der Proband entwickelte sofort beim Einsetzen der Prismen eine disparate Fusion am Zeigertest.
3. Nachdem der Kreuztest auf Mitte korrigiert wurde, bestand am Zeigertest noch immer eine $FD_{(D)}$. Dies kann bedeuten, dass sich bereits nach wenigen Minuten Adaptation eine $FD_{(D)}$ II (disparate Korrespondenz) ausgebildet hatte.
4. In keinem Fall konnte der gesamte induzierte Vergenzbedarf aufgedeckt werden.
5. Bei der Induzierung einer horizontalen $AP_{(D)}$ konnten $2,0 - 2,5^{\text{cm}}/\text{m}$ und bei einer vertikalen $AP_{(D)}$ $0,75^{\text{cm}}/\text{m}$ mittels der MKH nicht aufgedeckt werden. Diese Beträge lösten beim Entfernen eine Unterkorrektur aus. Jene Unterkorrektur war nur durch das Sehen außerhalb des Kreuztestes, nach 3min, wieder aufzulösen.

6. Der Valenztest ließ sich von dem Probanden durch Diplopie schwer beurteilen und konnte nur am V11 interpretiert werden. Jedoch war es auch am V11 unmöglich, den fusionalen Vergenzbedarf aufzudecken.
7. Prismen mit gleicher Basisrichtung (*yoked prism*) vermochten auch bei diesem Probanden das Sehen nicht in eine ruhige hemmungsfreie Orthostellung zu führen.
8. Der Proband nahm horizontal ähnliche Werte wie Probandin 2 (mehr Basis innen) an, obwohl seine Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurve steiler verlief.
9. Der Proband verblieb am V11 nach den gesamten Prismenversuchen in FN-Stellung leicht in Prävalenz.
10. Vertikale Induktionen führten immer zu einer Exophorie. Eventuell könnte man die stärkere Bi-Prismenannahme als Indikator zur Exo-Prädisposition interpretieren, die sich bereits am *Covertest* andeutete.

7.5 Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse lässt sich aufgrund der geringen Probandenanzahl natürlich nicht *a priori* verallgemeinern. Dennoch ergeben sich interessante Vermutungen und Denkanstöße, die durch weiterführende Studien tiefgründiger untersucht werden könnten.

7.5.1 Einstellmechanismen

Vergleicht man die asthenopisch unauffälligen orthophoren Teilnehmer dieser Studie mit den asthenopisch auffälligen und binokular defizitären Probanden (vgl. Auswertung Kapitel 6.4.3 und 4), so kann man feststellen, dass alle Einstellmechanismen grundsätzlich der Norm entsprachen oder dieselbe sogar übertrafen. Bei einzelnen leicht eingeschränkten Sehfunktionen fielen die Messergebnisse noch in den Bereich der einfachen Standardabweichung. Für die Beurteilung visueller Defizite sind laut Scheiman und Wick, anstelle einzelner Testergebnisse vorrangig die allgemeinen Aussagen gruppierter Sehfunktionswerte ausschlaggebend [Scheiman & Wick, 1994, S.41]. Dieses Vorgehen lässt vermuten, wie das Beispiel der Probandin 2 beweist, dass eine einzelne Sehfunktion nicht automatisch Sehstörungen und Asthenopien hervorrufen muss. Es ist anzunehmen, dass ein idealer Zustand des sensomotorischen Status, laut deutscher Definition, in Kombination mit größtenteils unauffälligen Sehfunktionen, Defizite einzelner Einstellmechanismen auffangen kann.

Für die Praxis bedeutet dieses Ergebnis, dass für prismatisch vollkorrigierte Heterophoriker tatsächlich die Chance nach einer gewissen Zeit der sensorischen Rückstellung auf bizenitale Korrespondenz und nach Abbau von Hemmungen besteht, wieder auf überwiegend normale Einstellmechanismen zurückgreifen zu können. Bei Beschwerdefreiheit kann ein vorhandenes Defizit in einer einzelnen Sehfunktion hinsichtlich weiterer optometrischer Maßnahmen vernachlässigt werden.

7.5.2 $FD_{(USA)}$ -Kurven

Die $FD_{(USA)}$ -Kurven der orthophoren Probanden mit beschwerdefreiem Binokularsehen waren im zentralen Bereich ($^+/.3^{cm}/m$) nicht in jeder Entfernung flacher als 45° geneigt. Nur Probandin 2 zeigte in allen Testentfernungen ideale flache Kurven. Beinahe alle Probanden (bis auf P1 in der Ferne) zeigten in Ferne und Nähe einen Kurventyp I.

Die These: "Je flacher die Kurve, desto besser die prismatische Adaptationsfähigkeit" [Schor & Ciuffreda, 1983, S.478], konnte an diesen drei Probanden nicht eindeutig bestätigt werden, da Proband 3 trotz steiler Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurve eine gute Anpassungsfähigkeit demonstrierte. Es ist jedoch zu vermuten, dass ein zu schnelles Vorgehen in der Befragung des Probanden nur geringe $FD_{(USA)}$ -Wertereduktionen zuließ und daher die Kurve keine relevanten Ergebnisse wiedergibt. Bei der Probandin 1 konnten jedoch aus der zu steilen Nah- $FD_{(USA)}$ -Kurve bestehende Beschwerden aufgrund der sich ändernden Akkommodations- und Vergenzanforderungen abgeleitet werden.

Nimmt man an, dass bei P3 in der Ermittlung der Steigung der Fern- $FD_{(USA)}$ -Kurve ein systematischer Fehler vorlag, so kann man feststellen, dass die MKH bei ihm und bei P2, mit vorhandenem idealem Kurvenverlauf, nicht die vollständigen Beträge der induzierten $AP_{(D)}$ s offen legen konnte.

Aus dem Kapitel 5.2 gehen eindeutige Unterschiede der Fusionsreize zwischen $FD_{(USA)}$ -Testen und dem Polatest hervor. Die Messung einer $FD_{(USA)}$ scheint durch die bei $AP_{(D)}$ -Bestimmung zu vermeidende Anwesenheit orthofugaler Fusionsreize, Störungen im Fusionsvermögen eher deutlich werden zu lassen. Bei P1 konnte nur an dem $FD_{(USA)}$ -Test eine Esophorie nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass eventuell bei unschlüssigen Polatestergebnissen die amerikanische $FD_{(USA)}$ -Messung zur Klärung der Fusionsfähigkeit hilfreich sein könnte. Denn nur dieser Test gab Aufschluss darüber, dass die Probandin Probleme hatte, sich auf ändernde Vergenzanforderungen einzustellen. Sie schien außerdem prädestiniert, unter Zwang oder Belastung spontan eine $FD_{(D)}$ auszubilden, die sich in ihrer gesamten Größe nur am Valenztest korrigieren lässt.

7.5.3 Prismenadaptation/ sensorische Anpassungszustände

Bei allen Probanden traten schon nachdem 3,5min lang Prismen kompensiert wurden, $FD_{(D)}$ s am Polatest auf. Durch den veränderten Versuchsablauf konnte für P3 diese $FD_{(D)}$ sofort nach dem Einsetzen der Prismen nachgewiesen werden.

Hemmungen äußerten sich bei allen Probanden unterschiedlich. Im Gegensatz zu P3 klagten P1 und P2 über auffällig starke Hemmungen, wie z.B. Verschwinden von Testanteilen oder Kontrastdominanz eines Auges, die zum Ende der Untersuchungen hin zunahmen und die Korrektur erheblich erschwerten. P3 zeigte hingegen nicht diese eindeutigen Anzeichen. Trotzdem spricht die Fusion der Haken in beiden Filterstellungen für zentrale Hemmungen, da selbst bei Konzentration auf den Fixierpunkt diese Fusion nicht aufgehoben werden konnte. Die verbleibende Prävalenz am Valenztest deutet zumindest eine bevorzugte Auswertung des rechten Seheindrucks an.

Ausschließlich bei P1 konnten alle vorgesetzten Prismen mit Hilfe des Polatestes reduziert werden, jedoch nicht bei P2 und P3. Eine Ursache für diese unterschiedliche Reaktion der Probanden auf die

Prismen könnte darin bestehen, dass P1 Defizite bei der Adaptation an wechselnde Vergenzansprüche besitzt. Die Aussage der Anamnese stützt diese These. Die Probandin beschrieb, auf Dezentrationen der Gläser oder auf Änderungen der Stärken sehr empfindlich zu reagieren.

Zwischen den Probanden gibt es offensichtliche Abweichungen der Untersuchungsergebnisse, die eventuell Ursache für den unterschiedlichen Adaptationsverlauf sein könnten. P1 besaß im Gegensatz zu den anderen Probanden eine $Eso-FD_{(USA)}$ in der Nähe. Sie war desweiteren moderat myop bei vorhandener Anisometropie von 3,25dpt. Diese drei Messergebnisse können nach Skeffington im engen Zusammenhang stehen. Anscheinend bestehen hier trotz Orthophorie nach MKH, Defizite in den Anpassmechanismen der Probandin. Jeder Mensch scheint eine andere Konstitution und Prädisposition auszubilden, um das Sehen mit Defiziten im Binokularsehen bestmöglich umzusetzen [Birnbäum, 1997, S.54]. Daher haben in diesem Fall Mängel eventuell eher zu einer axialen Fehlsichtigkeit, als zu einer Winkelfehlsichtigkeit geführt. Daher blieben weitere $AP_{(D)}$ -typische asthenopische Beschwerden aus, die sich nur bei Dezentrationen bemerkbar machen.

Es konnte in keinem Fall der gesamte Betrag einer induzierten $AP_{(D)}$ am Kreuztest aufgedeckt werden, obwohl sich der Muskeltonus der Probanden an diesem Test nach allerhöchstens 10 Minuten lösen konnte. Eine Ursache hierfür scheint darin zu liegen, dass ein Teil der erzwungenen Vergenz sensorisch adaptiert wurde. Zusätzlich entstanden dabei störende Hemmungen, die diesen Test nur unruhig, aber nicht stabil aussagekräftig werden ließen.

D.h. keiner der Probanden mit wirklich überdurchschnittlich gutem Binokularsehen konnte die erzwungene Vergenz vollmotorisch kompensieren. Dieser Fakt könnte die These Schors untermauern, dass FDs fusionale Vergenz unterstützen könnten. Da es jedoch vollmotorisch assoziierte Phorien gibt, ist auszuschließen, dass das Vorhandensein einer FD für die Fusion unabdingbar ist.

Das Induzieren einer spontanen $FD_{(D)}$ ist sicherlich der Höhe der gewählten Prismen zuzuschreiben. Nach den Argumenten North & Hensons spricht dieses Ergebnis dafür, dass die Zeit von 3,5min nicht ausreicht, um die Fusion des hohen Vergenzbetrags von der energierärmer arbeitenden langsamen Vergenz durch Bildung eines Muskeltonusses übernehmen zu lassen. Alle Probanden besaßen jedoch beschwerdefreies orthophores Binokularsehen. Daher sollte man (außer bei P1) davon ausgehen können, dass Vergenzadaptationsmechanismen optimal arbeiten. Durch diese Versuche wird deutlich, dass die Messmethoden der Amerikaner aus bereits genannten Gründen Defizite bezüglich der exakten Bestimmung von Tonuszuständen aufwiesen.

Der Aufdeckungsprozess bei vertikal-induzierten Phorien gestaltete sich während dieser Untersuchungen am schwierigsten. Die Kompensationsmechanismen der langsamen Vergenz scheinen hier sehr viel schneller und intensiver zu arbeiten als bei horizontal-induzierten Phorien. Diese Aussage konnte man auch den Versuchen Ogles sowie North & Hensons entnehmen. Mögliche Ursachen für diese Unterschiede wurden bereits im Kap. 5.3.1 begründet.

Es kann in keinem Fall mit Bestimmtheit behauptet werden, dass Beträge der induzierten $AP_{(D)}$ vollständig über die plastische Tonusbildung aufgefangen werden und dabei keine Auffälligkeiten am Polatest nachweisbar gewesen wären. In den Fällen vertikaler Adaptation ohne vertikale Auswanderungen am Polatest, haben sich immer auch horizontale Fehler (Exo bei P3), oder sogar Ver-

drehungen von Testanteilen an $FD_{(D)}$ -Testen bei P2 gezeigt. Diese deuten auf sensorische Anpassungen hin. Leider ließen diese Auffälligkeiten bei P2 und P3 keine, oder sogar falsche Schlüsse bzgl. des nächsten Korrektionssschrittes zu. Die schnelle Umsetzung des Vergenzbedarfes in die Komponenten: Motorik, plastischer Tonus und sensorische Anpassung scheint bei älteren Phorien die Ursache dafür zu sein, dass $AP_{(D)}$ s mit vertikalen Anteilen außerordentlich schwer aufzudecken sind und sich nur selten in eine bizerale Abbildung wandeln lassen. In der Erstkorrektion der untersuchten auffälligen Probanden konnten nur 4 von 20 am Valenztest ein Stereosehgleichgewicht erzielen. Nur 2 von 9 Prismenkorrektionsprobanden mit Prävalenz erreichten nach der zweimonatigen Prismenkorrektion ein eindeutiges Stereosehgleichgewicht.

Warum P1 und P3 am Ende des Aufdeckungsprozesses nur noch Auffälligkeiten am Valenztest wahrnahmen, ist zunächst verwunderlich. Eine spontan erzeugte $FD_{(D)}$ I müsste sowohl am Zeiger, als auch an allen weiteren horizontal messenden $FD_{(D)}$ -Testen zu beobachten sein. Entweder der Valenztest konnte von den Probanden nur sensibler als der Zeigertest beurteilt werden, oder aber die Anpassungszustände der Dekompensation verändern sich nicht so "allmählich" wie allgemein angenommen [Haase, 1968, S.3/14]. Die zweite Probandin konnte den Valenztest generell schwer beurteilen. Deshalb ist fraglich, ob man wirklich davon ausgehen sollte, dass sich am Valenztest keine Prävalenz ausbilden konnte. Es wäre immerhin möglich, dass dieselbe lediglich nicht zu beurteilen war.

7.5.4 Schlussfolgerungen

Der Polatest scheint eher als amerikanische $FD_{(USA)}$ -Teste spontan erzeugte Vergenzanforderungen aufdecken zu können. Hierfür spricht sein bereits in den Kapiteln 3.2.2 beschriebener komplexer Aufbau und ebenso die Tatsache, dass die induzierten horizontalen Phorien zum großen Teil nachgewiesen werden konnten.

Der Versuch, spontan erzwungene Phorien sofort und vollständig mit Hilfe des Polatestes aufdecken zu können, ist jedoch bei P2 und P3 gescheitert. Man sollte allerdings vorsichtig sein, diese Ergebnisse auf den Nachweis lang anhaltender natürlicher Phorien zu übertragen. Sicher ist nur, dass auch die Möglichkeiten des Polatestes oft nicht ausreichen, um bestehende Hemmungen und sensorische Anomalien spontan aufzuheben. Diese Aussage wird durch die Ergebnisse der 10 Prismenkorrektionsprobanden bestätigt, bei denen sich nur in einem Fall spontan und in 2 weiteren Fällen nach einer zweimonatigen Korrektionsphase ein eindeutiges Stereosehgleichgewicht herstellen ließ.

Eine wichtige Konsequenz ergibt sich aus diesen Versuchen für die MKH. Es ist eindeutig Vorsicht geboten, in zu hohen Prismenmengen bei der Korrektion der Teste (vor allem $FD_{(D)}$ -Teste) vorzugehen, da ein Teil eines zu hoch gegebenen Prismenbetrages relativ spontan adaptiert werden kann. Zusätzlich werden möglicherweise Hemmungen und sensorische Anomalien erzeugt, die sich nicht problemlos rückstellen lassen. Korrektions Schritte sollten immer kritisch hinterfragt werden, wenn sie nur ein Drehen von Testanteilen bewirken.

Die Tatsache, dass beim Induzieren von Phorien sogar Zyklorphorien bzw. beim Induzieren einer Höhe sogar Horizontalphorien entstehen können, lässt deutlich werden wie komplex unser visuelles System auf fusionale Vergenzanforderungen reagiert. Diese Reaktionen können zudem, je nach Konstitution, von Proband zu Proband ganz unterschiedlich ausfallen. Es ist sicher nicht in jedem Fall ratsam, vorhandene vertikale wie auch horizontale Anteile einer $AP_{(D)}$ mittels Prismen einander näher zu bringen und dann wechselseitig zu korrigieren, wie es die IVBV vorschlägt. Jedes Auge hat jeweils 4 Augenmuskeln, die sowohl vertikale, horizontale und drehende Bewegungen ausführen. Oft genügt schon die Korrektur einer geringen Höhe, um auch den horizontalen Anteil komplett zu korrigieren [Scheiman & Wick, 1994, S.92]. Die Korrektur mit hohen horizontalen Prismen bei einer vorhandenen Höhe kann dagegen oft zu Torsionen der Augen führen. Daher sollte bei jeder Korrektur flexibel und intuitiv die verträglichste Variante ausgetestet werden. Sicher erfordert dieses Vorgehen Feingefühl, reichlich Erfahrung und Flexibilität. Nicht jede Wahrnehmung am Polatest scheint also mit einfachen geometrischen Modellen erklärbar zu sein. Hier werden noch viele Studien und genaueste Beobachtungen von den Anwendern benötigt, um der Komplexität des Binokularsehens auf den Grund gehen und bis ins letzte Detail verstehen zu können.

Die Auswertungsergebnisse dieses Versuches sprechen nicht dafür, dass $AP_{(D)}$ s immer erst eine zeitlang motorisch kompensiert werden, bevor sie zur Ausbildung einer $FD_{(D)}$ führen. Eventuell lassen diese Resultate sogar den gegenteiligen Schluss zu. Daher könnte eine, durch Nahstress oder psychischen Stress, vom vegetativen Nervensystem stimulierte Innervation der äußeren Augenmuskulatur eine $AP_{(D)}$ eventuell auch zeitweise induzieren [Birnbäum, 1997, S.33-48]. Nur wenn durch diese unnatürlichen Sehanforderungen bei extremer Naharbeit ständig derselbe Stress zur Phorieinduktion der gleichen Art führt, könnte eventuell ein durch Hemmungen reduziertes Fusionsvermögen der langsamen Vergenz einen verfestigten sensorischen Zustand einer $AP_{(D)}$ und deren Größe nach sich ziehen, welcher wiederum die bekannten und gerade bei Naharbeit auftretenden Asthenopien auslösen kann.

Die Antwort auf die Prismenadaptationsfrage zum Thema *orthophorisation* konnte durch diese Versuche noch nicht vollständig gefunden werden. Dazu wären zumindest zwei zusätzliche Untersuchungen nötig:

Erstens: Es könnte nur ein längerer Trageversuch eines Orthophorikers mit sehr guten Anpassmechanismen in alle Richtungen Aufschluss darüber geben, ob die induzierte Vergenz vom Vergenzsystem dauerhaft beschwerdefrei, ohne Entwicklung sensorischer Anpassungszustände, mit Ausbildung einer Orthophorie im Sinne der MKH, kompensiert werden könnte. Leider ist ein derartiger Versuch eher als Selbstversuch und nicht im Umfang einer aussagekräftigen Studie zu realisieren, weil entsprechende Experimente das Binokularsehen beeinträchtigen und Beschwerden hervorrufen könnten.

Zweitens: Die Größe und Richtung der $AP_{(D)}$ mehrer gesunder Probanden müsste über einen längeren Zeitraum bei sehr unterschiedlichen Lebensumständen mit eindeutigen Stress- und Erholungs-

phasen verfolgt werden. Nur so könnte man herausfinden, ob in einigen Fällen eine $AP_{(D)}$ eventuell nur einen momentanen Vergenzzustand einer vegetativ bedingten Innervation darstellt. Innerhalb dieser Studie betrug die größte Schwankung zwischen zwei Kontrollmessungen horizontal $8^{cm}/m$ und vertikal $0,75^{cm}/m$. Die $AP_{(D)}$ einer anderen Probandin reduzierte sich innerhalb der Ferien beim Vermeiden vor Naharbeit von knapp $10^{cm}/m$ Ba auf rund die Hälfte. Mit dieser Reduktion verbesserten sich alle Sehfunktionen. Dabei verschwanden Sehstörungen wie z.B. Diplopie und Verschwommensehen sowie Asthenopien. Auch die mündlichen Schilderungen sehr ähnlicher Fälle lieferten weitere Indizien für diese Theorie [Kochniss C, Telefonat, 8.10.02].

Wäre dies der Fall, so bestünde bei Menschen mit sehr guten Adaptationsmechanismen die Gefahr, den momentanen Vergenzzustand durch eine prismatische Korrektur in einer stressfreien Zeit durch Aufbau eines dauerhaft plastischen Tonusses zu verfestigen. Ohne Prismen könnte derselbe eventuell wieder vom Vergenzsystem kompensiert werden. Dieses Gedankenmodell würde den langsamen Anstieg von Prismen bis zu $30^{cm}/m$ Ba über Zeiträume von bis zu 9 Jahren erklären, den Haase als Aufdeckungsprozess seiner eigenen $AP_{(D)}$ schilderte und bei über 100 Esophorikern ähnlich beobachten konnte [Haase, 1995, S.17-19].

Die geschilderten Versuche bestätigen Studien amerikanischer Optometristen, die besagen, dass Menschen sich zum Teil schnell und unproblematisch auf unterschiedliche Vergenz- und Akkommodationszustände einstellen können, andere aber dabei starke Schwierigkeiten zeigen. Die Ausbildung spontaner $FD_{(D)}$ s und Hemmungen müssen als problematisch eingestuft werden. Trotzdem scheinen einige Probanden, bei fusionalen Vergenzansprüchen schneller als andere einen Muskeltonus aufbauen zu können.

Es ist nicht auszuschließen bzw. sogar zu vermuten, dass immer auch ein binokulares Problem hinter diesen Defiziten stehen kann. P1 zeigt allerdings deutlich, dass man diese Fälle nicht immer am Polatest aufdecken kann. Deshalb ist die flexible Anwendung zusätzlicher Tests bei auffälligen Anamnesen unabdingbar. In einigen wenigen Fällen scheinen Prismen allein, trotz Aufhebung von Hemmungen und Wiederherstellung einer bizentralen Abbildung, diese Anpassungsmechanismen nur schwer zu stimulieren. Daher sollte man jenen Kunden auch die Option für ein Visualtraining anbieten. Wie die Ergebnisse der VT-Studie bestätigen, ist der Proband danach eher in der Lage, auf veränderte Sehanforderungen (z.B. Wechsel Brille - Contactlinsen oder längere Naharbeit) zu reagieren, weil alle relevanten Sehfunktionen während des Trainings angesprochen werden (siehe hierzu Kapitel 6.5.3).

8. Entwicklung einer kombinierten Untersuchungs- und Behandlungsstrategie

Die Auswertung der praktischen Studien im Kap. 6.6 lieferte Hinweise darauf, dass eine Kombination relevanter Inhalte beider Untersuchungs- und Behandlungsstrategien sinnvoll wäre.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse soll in den folgenden Ausführungen eine Strategie vorgeschlagen werden, die ermöglichen könnte, Probanden bei bestehenden Problemen effizient zu versorgen.

8.1 Aspekte der Untersuchungsstrategie

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ausführlich belegt, dass sowohl das Untersuchungssystem innerhalb der amerikanischen als auch der deutschen Optometrie zahlreiche visuelle Defizite der Probanden mit Beschwerden aufzudecken vermögen. Trotzdem offenbarte in einigen Fällen der in Kapitel 6 beschriebenen Studien, nur die Kombination beider Untersuchungsmethoden den vollständigen Hintergrund von Sehstörungen und Asthenopien. Um die zweckmäßigste Korrektions- bzw. Behandlungsstrategie für den Probanden herauszufinden und ihn dabei durch die Vielzahl gegebener Untersuchungen nicht übermäßig zu belasten, sollten bei der Entwicklung eines neuen Analyseverfahrens Bestandteile beider Strategien sinnvoll eingesetzt werden.

8.1.1 Auswahl relevanter Teste

Der Untersuchungskatalog sollte unbedingt eine MKH enthalten, da nur sie zuverlässig sensomotorische Anpassungszustände sowie Größe und Richtung einer $AP_{(D)}$ aufdeckt und somit die besten Chancen auf Erfolg einer Prismenkorrektur zusichert. Des Weiteren stimuliert die Messung bizentrales Sehen, was zumindest zeitweise, auch ohne dauerhafte Korrektur oder Behandlung, positive Auswirkungen auf die Funktion des visuellen Systems nach sich ziehen kann.

Relevante Teste für die amerikanische Diagnose sind den Auswertungen der praktischen Studie zufolge: *AC/A*, einseitiger und alternierender *Coverttest*, Teste für Augenfolgebewegungen, Sakkaden, *MEM*, *AA*, *NPC*, dynamische Teste zu Akkommodation und Vergenz sowie die $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessung.

Auf die Konvergenzbreitenmessung könnte verzichtet werden, da sie hohen Schwankungen unterliegt. Es scheint sinnvoller, die Vergenzbreiten generell durch $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessungen zu ermitteln. Fusionsstörungen rufen hier in der Regel reduzierte Vergenzamplituden hervor. Nur die vertikale $FD_{(USA)}$ -Kurvenmessung ergab in dieser Studie jedoch kaum hilfreiche Hinweise.

Weil bereits der *BAF*-Test ermöglicht, Defizite in der negativen und positiven relativen Akkommodation in Kombination mit dynamischen Aspekten aufzudecken, kann überdies auf die *NRA* und *PRA* Messungen verzichtet werden. Die *FCC*-Messung ist ebenfalls nicht dringend erforderlich, da *MEM*-Messwerte weniger hohe Schwankungen aufweisen und ähnliche Sehfunktionen (die binokulare und monokulare Akkommodationsantwort) ermitteln.

Begründung zur Auswahl amerikanischer Teste

AC/A

Der *AC/A* gibt Aufschluss über die Tonizität bzw. Adaptationsfähigkeit von Akkommodation und Vergenz. Die Höhe der *AC/A* und $AP_{(D)}$ im Zusammenhang mit der $AP_{(D)}$ -Richtung, lassen Aussagen darüber zu, ob eine optische Korrektur Beschwerden hervorrufen könnte.

Niedrige *AC/A*-Konditionen könnten zusätzlich Hinweise liefern, inwiefern Probanden potentiell dazu neigen, bei prismatischen Korrekturen durch Tonusaufgabe kontinuierlich ansteigende Prismenwerte zu zeigen.

Eine hohe *AC/A*-Kondition bietet die Chance, im Falle einer Eso- $AP_{(D)}$ bei Bedarf geringe Unterkorrekturen oder Additionen zur Reduzierung der Beschwerden vorzunehmen.

Covertest

Der einseitige *Covertest* deckt zuverlässig Strabismen auf. Der Wert des alternierenden *Covertestes* ist Voraussetzung für die *AC/A*-Messung.

Augenfolgebewegungen und Sakkaden

Durch diese beiden Teste werden Beschwerden auslösende Defizite in der Okulomotorik untersucht. Durch das Beobachten von Einschränkungen in den Augenfolgebewegungen kann zusätzlich ein *strabismus incomitans* aufgedeckt werden.

MEM

Die *MEM*-Skaiskopie ermöglicht dem Untersuchenden, Rückschlüsse auf das Akkommodations- und Vergenzverhältnis zu ziehen. Bei Konvergenzinsuffizienzen wird die Akkommodation oft überbeansprucht, weil das Konvergieren der Augen durch akkommodative Vergenz unterstützt wird. In diesen Fällen treten häufig dynamische Störungen der Akkommodation oder Pseudomyopien auf. Bei überhöhten Werten ist mit hohen fusionalen Divergenzanforderungen oder aber mit Defiziten in der Akkommodationsinnervation (Akkommodationsinsuffizienz) zu rechnen.

AA* und *NPC

Im Zusammenhang mit Konvergenzinsuffizienzen und $FD_{(D)}$ s alter Anpassungsstadien sind Akkommodationsamplituden und Nahkonvergenzpunkt häufig eingeschränkt. Ein Anstieg dieser Werte lässt auf einen Erfolg der Korrektur bzw. des Trainings schließen.

Dynamische Teste zu Akkommodation und Vergenz

Die Auswertung der Ergebnisse der praktischen Studien bestätigt die Relevanz der dynamischen Teste. Diese Teste ermöglichen, Defizite in der Flexibilität von Akkommodation und Vergenz aufzudecken, obwohl Teste, die ausschließlich auf statischen Messungen beruhen, trotz vorhandener Beschwerden der Probanden, keine Auffälligkeiten ermittelten. Als besonders aussagefähig erwies sich der Vergenzdynamiktest, der nach 2 Monaten Tragezeit am deutlichsten von allen amerikanischen Testen auf Erfolg der Prismenkorrekturen schließen lässt.

*FD*_(USA)-Kurvenmessung

Die *FD*_(USA)-Kurvenmessung ist sehr hilfreich, um Voraussagen dahingehend abschätzen zu können, ob ein visuelles System flexibel auf Änderungen im Vergenz- oder Akkommodationssystem reagieren kann, ohne dabei Beschwerden hervorzurufen.

Sehr steile Kurven ließen darauf schließen, dass Probanden schon beim zeitweiligen absetzen der Prismenbrille, sowie bei eventuell auftretenden Dezentrationen durch veränderte Korrekturen, über Probleme klagen würden.

VT ließ die Kurven bei weitem deutlicher abflachen als MKH-Prismen und erzeugte dabei gleichzeitig enorme Flexibilität des visuellen Systems. Alle *VT*-Probanden konnten ihre Brillen ohne Gewöhnungsprobleme je nach Bedarf diskontinuierlich tragen.

Unregelmäßige oder eingeschränkte sowie nicht dem Typ 1 entsprechende Kurven geben Hinweise auf Fusionsdefizite und Beschwerden der Probanden.

8.1.2 Die Reihenfolge der Teste

Um die Möglichkeit zu minimieren, dass sich die Teste in ihrer Aussagekraft gegenseitig beeinflussen, sollte bei der Untersuchung von Probanden mit Asthenopien und Sehstörungen folgende Testreihenfolge eingehalten werden.

1. Teil

1. Anamnese
2. Visusbestimmung monokular und binokular
3. falls Visus $\geq 0,8$, Augenfolgebewegungen und Sakkaden mit getragener Korrektur, sonst nach Punkt 5.
4. monokulare Refraktionsbestimmung
5. erneut monokulare und binokulare Visusbestimmung Ferne und Nähe
6. *MEM*-Skioskopien
7. einseitiger *Covertest* in Ferne und Nähe
8. kurzer Durchlauf der MKH zur Statusvorbestimmung (*FD*_(D) I, Hemmungen, Stereogrenzwinkel, Random-Dot-Sehen etc.)
9. MKH-Korrektur nach Regeln der IVBV
10. Bestimmung des binokularen Visus mit Prismenkorrektur

an dieser Stelle sollte, je nach Kondition des Probanden, eine Pause eingelegt werden, in der die Prismen wieder abgesetzt werden.

2. Teil:

11. alternierender *Covertest* und *AC/A*-Bestimmung
12. *AA* und *NPC*
13. Dynamische Teste
14. horizontale *FD*_(USA)-Kurvenmessungen

Mit dieser Reihenfolge soll vor allem verhindert werden, dass durch Akkommodations- oder Vergenztonus verändernde Teste die MKH-Messung beeinflusst wird. Die MKH hingegen sollte vorrangig positive Auswirkungen auf die amerikanischen Testergebnisse zeigen, da in der Messung bizentrales Sehen stimuliert wird. Die daraus resultierenden Sehfunktionsverbesserungen sind im Sinne des Probanden absolut erwünscht. Zeigen die Sehfunktionsteste spontan nach einer MKH-Messung keine Auffälligkeiten, so sind die Störungen der Einstellmechanismen weniger verfestigt. In diesem Fall sollte jede Korrektur oder Behandlung durch *VT* schnelle Erfolge erzielen können. Dieses Ergebnis wird jedoch nur in den seltensten Fällen erwartet, da selbst nach 2 Monaten Prismen tragen bei allen Probanden der hier vorliegenden Studie noch deutliche Defizite nachweisbar waren.

Sakkaden und Augenfolgebewegungen werden in ihrer Möglichkeit zur Auslenkung weniger eingeschränkt, wenn sie mit der getragenen Brille ermittelt werden. Bedingungen hierfür ist jedoch ein ausreichender Visus ($\geq 0,8$).

Alle Teste, die auf die monokulare Refraktion folgen und vor der eigentlichen MKH-Messung durchgeführt werden, können einen zuvor gelösten Muskeltonus wieder aufbauen. Dieser Nachteil sollte jedoch in Kauf genommen werden, wenn man offenkundige Erfolge einer Prismenkorrektur hinsichtlich des sensorischen Zustandes, wie z.B. Visuserhöhungen, Anhebung des Stereogrenzwinkels etc. nachweisen möchte.

Wenn die Möglichkeit besteht, ist es vorzuziehen, die amerikanischen und deutschen Untersuchungen, im Sinne einer Entlastung des Probanden, auf zwei Termine zu verteilen. Eine Untersuchung nach dem oben angegebenen Modell würde bei ungetübten Optometristen ca. 90 min dauern.

Bei Durchführung der Untersuchungen an zwei Terminen sollten während der ersten Sitzung nur die amerikanischen Teste, einschließlich der monokularen Refraktion, in der vorgegebenen Reihenfolge durchgeführt werden. Die MKH könnte dann ca. 3 Tage später folgen. Mit dieser Lösung ließen sich für beide Messreihen objektive und optimale Messergebnisse erzielen.

8.2 Aspekte des Managements

Aus Kap. 6.6 ging hervor, dass jedes optometrische Managementsystem nach seinen eigenen Kriterien große Erfolge erzielte. In einigen Bereichen lassen sich jedoch auch nach Kriterien der jeweils alternativen Strategie sehr gute Ergebnisse erreichen. Aus diesem Grund sollte dem Probanden eine Empfehlung für die effizienteste Lösung seiner Probleme angeboten werden.

8.2.1 Effizienz der MKH-Korrekturen

Die MKH-Korrekturen erzielten in Fällen jüngerer Anpassungsstadien ($FD_{(D)}-II/2$) die meisten Erfolge. Schwieriger war es bei älteren $FD_{(D)}S$, die in Zusammenhang mit Nahhexophorien und Konvergenzinsuffizienz auftraten. In diesen Fällen könnte ein zusätzliches Training die Akzeptanz und Wirkung der Prismen fördern.

Obwohl innerhalb dieser Studie die Akkommodationsamplituden durch die Prismenkorrekturen zunächst anstiegen, schien objektiv der Prozess der Beseitigung monokularer dynamischer Akkommodationsstörungen (speziell des Akkommodationsexzesses) besonders schwierig zu sein. Aus diesem Grund kann bei gegebenen Defiziten ein zusätzliches Akkommodationstraining sinnvoll sein.

8.2.2 Effizienz von VT

Diese Arbeit konnte leider nicht untersuchen, ob VT auch Erfolge nach deutschen Kriterien erzielt, wenn vor dem Training keine Prismen getragen werden. Kontrollprobanden jüngerer sensorischer Anpassungsstadien (bis einschl. $FD_{(D)}II/2$) lieferten aber Hinweise, dass hier fast jede MKH-Messung, auch ohne Korrekturmaßnahmen, positiv in sensorische Rückstellungsprozesse eingreift. Somit wäre diese Messung sogar ein erster wichtiger aktiver Bestandteil des Visualtrainings. Aus den Erfolgsstatistiken der amerikanischen Optometristen (siehe Kap. 4.1) kann weiter abgeleitet werden, dass VT, ähnlich wie die MKH-Korrektur, Hemmungen abbauen und Stereopsis verbessern kann. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass ein VT in Fällen geringer $AP_{(D)}$ -Größen und junger Anpassungsstadien (jünger als $FDII/3$) nach einer MKH-Statusermittlung äußerst erfolgsversprechend ist. Der amerikanischen Fachliteratur kann entnommen werden, dass Probleme bei Divergenzinsuffizienzen und hohen Esophorien aufgrund der anatomischen Grenzen fusionaler Divergenzreserven mittels VT nur schwer abzustellen sind. Es kann jedoch vermutet werden, dass ein VT nach erfolgreicher prismatischer Rückstellung sensorischer Anpassungszustände äußerst grosse Erfolgchancen aufweist. Für eine moderate Eso-Vertikal- $AP_{(D)}$ konnte innerhalb der Studie bei einer Kombination aus Prismenkorrektur und VT, eine deutliche Reduktion der $AP_{(D)}$ -Größe festgestellt werden (siehe Kap. 6.5.6). Die starken Beschwerden der Probandin traten selbst 6 Monate nach Abbruch des VTs nicht wieder auf. An dieser Stelle sei jedoch angemerkt, dass sie in bestimmten Situationen (z.B. Kino) hin und wieder zur Entspannung ihre Prismenbrille trägt. Diese Handhabung könnte eventuell durch die periodische Stimulation bizenralen Sehens dazu beitragen, ihren binokularen Zustand aufrechtzuerhalten.

Bei verfestigten sensorischen Zuständen (ab $FDII/3$) empfiehlt es sich aus optometrischer Sicht, ebenfalls eine Kombination beider Methoden anzuwenden, weil dadurch effizient Nahexophorien abgestellt und Akkommodationswerte angehoben werden könnten. Im Verlaufe des Trainings wäre es - entsprechend der hier vorgelegten VT-Studie - möglich, die prismatische Korrektur zeitweise und am Ende vielleicht sogar gänzlich einzustellen.

VT ist besonders in Fällen von Akkommodationsstörungen zu empfehlen.

8.2.3 Alternative Korrektionsmethoden

Für esophore Probanden hoher AC/A -Konditionen, deren Beschwerden hauptsächlich in der Nähe auftreten, besteht neben den beiden Managementstrategien die Option, geringe positive Additions- werte als Lesebrillen abzugeben. Durch diese Maßnahme könnte der Proband eine schnelle und überdies kostengünstige Abhilfe für seine Asthenopien erhalten, ohne größere Einbussen an Komfort und Ästhetik hinnehmen zu müssen.

Unterkorrekturen sind aufgrund der Erfahrungen aus dieser Arbeit eher skeptisch zu betrachten, nicht zuletzt auch aus dem Grunde, dass eine Hyperopieunterkorrektur (ca. 1,25dpt) trotz Exophorie ($9^{\text{cm}}/\text{m}$) und hohem AC/A (6cm) das Visualtraining eines Probanden stagnieren liess. Bei geringeren Unterkorrektions- und $AP_{(D)}$ -Beträgen könnten diese Maßnahmen allerdings hilfreich sein. Dennoch sind MKH-Korrekturen oder VT dieser Methode vorzuziehen. In der Mehrzahl der Fälle können sie Defizite im sensomotorischen Zustand und in den Einstellmechanismen als eigentliche Ursache der Beschwerden, zu Gunsten eines maximalen Visus, abstellen.

8.2.4 Bedürfnisse des Probanden

Besonderes Feingefühl erfordert die Anamnese vor der binokularen Versorgung von Betroffenen. Aus diesem Gespräch kann bei gezielter Fragestellung (siehe Kap. 6.2.2) abgeleitet werden, wie hoch der persönliche Leidensdruck und die Motivation zu Eigeninitiative des Betroffenen ist. Nur aufgeklärte, motivierte Probanden sind in der Lage, Erfolge der Korrektur bzw. des VTs trotz erheblicher Einschränkungen, die z.B. Komfort und Ästhetik, aber auch finanzielle Belastungen oder verminderte Freizeitreserven durch das Training betreffen, überhaupt wahrzunehmen und zu schätzen.

Erst nach einer sorgfältigen Analyse der Untersuchungsergebnisse sollte eine Empfehlung für die zweckmäßigste Methode (deutsch, amerikanisch bzw. eine Kombination aus beiden) ausgesprochen werden. Diese kann individuell auf die Bedürfnisse des Probanden abgestimmt werden, da jede Herangehensweise die Chance auf Erfolg in sich birgt, wenn auch nicht immer auf dem effizientesten Weg.

Ein bereits als Brillenträger ausgewiesener Proband, dem überdies wenig Freizeit zur Verfügung steht, würde eventuell eine Prismenkorrektur wählen. Ein Anderer, der das Tragen einer Brille ablehnt, entscheidet sich vielleicht eher für ein zeitaufwendigeres VT .

Besonders in schwierigen Fällen, die bei Anwendung nur einer Methode geringere Erfolgchancen in Aussicht stellen, sollte der Optometrist die Kombination aus MKH und VT anbieten. In diesen Fällen lässt sich vorrangig damit argumentieren, dass die Kombination beste Möglichkeiten der schnellen und effektiven Lösung in sich birgt.

9. Zusammenfassung und Diskussion

Innerhalb dieser Arbeit konnte geklärt werden, dass deutsche und amerikanische Optometristen auf Grund der unterschiedlichen Herangehensweisen an das Management innerhalb des nichtstrabismischen Binokularsehens derzeit das vorhandene Informationsspektrum nicht voll ausschöpfen. Erkenntnisse der einen Seite sind der anderen nur ungenügend bekannt und umgekehrt.

Die Unterschiede selbst basieren auf der Entwicklung verschiedener Untersuchungs-, Diagnose- und Behandlungsstrategien.

Auf amerikanischer Seite bestehen aufgrund unzureichender Testmethoden Defizite hinsichtlich der Entwicklung und Erscheinung sensomotorischer Anpassungszustände einer assoziierten Phorie, die Rückschlüsse auf die Verträglichkeit einer Prismenkorrektur zulassen. In einer Vielzahl der Fälle erzielen deshalb prismatische Korrekturen nur bedingt Erfolge, so dass eine assoziierte Phorie als Hintergrund okulomotorischer oder akkommodativer Fehlfunktionen nicht erkannt werden kann.

Aus amerikanischer Sicht fehlt innerhalb des deutschen Managements der Ansatz, das Sehen vor allem als einen dynamischen Prozess zu verstehen. Das visuelle System besitzt demnach Mechanismen, die eine flexible Einstellung auf sich ändernde Sehverhältnisse gewährleisten. Fehlfunktionen, die in diesem Zusammenhang auftreten, können in aller Regel mit geeigneten amerikanischen Testen aufgedeckt werden. Insbesondere die Zusammenarbeit und Adaptationsfähigkeit von Akkommodation und Vergenz spielen dabei eine wesentliche Rolle. Die Theorien der Verhaltensoptometristen liefern mögliche Hintergründe dafür, warum ein visuelles System Defizite entwickelt und dabei an Flexibilität verliert. Vor allem ein extremes Pensum an Naharbeit in der modernen Arbeitswelt überfordert das Zusammenwirken der Sehfunktionen permanent. Dies hat zur Folge, dass natürliche Kompensationsmechanismen, die sich evolutionsbedingt für das Sehen in fernerer Distanzen ausbildeten in Dauerstress versetzt werden. Aus diesem Grund entwickeln sich, je nach genetischer Disposition bzw. individueller Konstitution, Anpassungsmechanismen, welche die natürliche Flexibilität und Dynamik des Sehens reduzieren und sowohl Sehstörungen als auch Asthenopien hervorrufen können. Dazu gehören Fehlsichtigkeiten (insbesondere Myopien), Funktionsstörungen der Akkommodation und Vergenz sowie assoziierte Phorien.

Aus den Ergebnissen der praktischen Studien ging hervor, dass bei vorhandenen Beschwerden der Probanden, sowohl durch die amerikanische als auch durch die deutsche Untersuchungsstrategie stets visuelle Defizite aufgedeckt werden konnten. Trotzdem ergab in vielen Fällen nur die Kombination aus beiden Methoden ein vollständiges Bild der Ursachen von visuellen Sehstörungen und Asthenopien.

Amerikanische $FD_{(USA)}$ -Teste ermitteln in der Regel zu geringe oder sogar, insbesondere in Fällen von Vertikalphorien, gar keine $AP_{(USA)}$. Die Ursachen hierfür wurden in Kap. 5.2 detailliert untersucht.

Die $FD_{(USA)}$ -Kurvenanalyse ergab jedoch bezüglich der Prognosen zu bevorstehenden Asthenopien und speziell zu Problemen mit sphärozyklindrischen Korrektionsänderungen, für die Nähe eine 100prozentige und für die Ferne eine 85prozentige Treffgenauigkeit.

Gerade die dynamischen Akkommodationsteste lieferten Anhaltspunkte für bestehende aber auch reduzierte Beschwerden der Korrektionsprobanden hinsichtlich auftretender Unschärfen bei Entfernungswechsel.

Innerhalb dieser Arbeit ging es um den Versuch, zwischen beiden Diagnosen Zusammenhänge zu erkennen und zu analysieren, welche Sehfunktionen bei bestimmten sensomotorischen Anpassungszuständen häufiger eingeschränkt sind. In diesem Sinne konnte bestätigt werden, dass es richtungsunabhängig einen Zusammenhang zwischen älteren sensorischen Anpassungszuständen (älter als $FD_{(D)} II/2$) und dem Auftreten von Konvergenzinsuffizienzen (KI) gibt. Bei KI ist die Nahkonvergenz stark reduziert, oft sind Akkommodationsamplituden zu niedrig und es besteht in der Nähe eine Exophorie. Bei Konvergenzproblemen bestanden in dieser Studie häufiger Akkommodationsexzesse. Es ist möglich, dass dieselben durch Dauerbeanspruchung akkommodativer Konvergenz zur Unterstützung der Nahfixation entstehen. In einigen Fällen verursachte dieser Zustand auch für die Ferne einen Anstieg im Tonus der Akkommodation, der geringe Pseudomyopien oder latente Hyperopien hervorrief.

Höhere Eso-Vertikal-Phorien jüngerer Anpassungsstadien wiesen in den Studien häufiger Konvergenzexzesse bzw. allgemeine Esophorien auf. Diese traten gelegentlich in Begleitung von Akkommodationsunfähigkeiten bzw. Akkommodationsinsuffizienzen auf. Man kann daraus schließen, dass unser visuelles System durch die Blockade der Akkommodation fusionale Divergenz einsparen kann.

All diese Thesen sind in dem beschriebenen Rahmen selbstverständlich noch nicht verifizierbar. Sie lassen jedoch interessante Tendenzen erkennen, welche durch kontrollierte Langzeitstudien überprüft werden müssten.

Sowohl MKH-Prismen als auch *VT* erzielten im Sinne des jeweils anderen Bemessungsmaßstabes leichte Erfolge. Trotzdem schien jede Maßnahme ihren eigenen Erfolgskriterien am besten zu entsprechen.

MKH-Prismen förderten in der Korrektionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe statistisch signifikant die Vergenzdynamik. Obwohl die Korrekturen in einigen Fällen ebenfalls die Akkommodationsamplituden signifikant erhöhten, konnten bestehende Akkommodationsexzesse nur bedingt reduziert werden. Die Neigungen der auffälligen $FD_{(USA)}$ -Kurven konnten im Gegensatz zur *VT*-Gruppe während der 2monatigen Korrektionszeit der Prismengruppe kaum verändert werden.

Bei vielen Probanden konnten Parallelen zwischen bestehenden Beschwerden beim Fokuswechsel Ferne-Nähe und Defiziten in der monokularen Akkommodationsdynamik festgestellt werden. Dieses Ergebnis bestätigte sich innerhalb der Abschlussbefragung der Probanden.

Visualtraining konnte in 4 von 4 Fällen subjektiv und objektiv eine hohe Flexibilität des visuellen Systems herstellen. Dieses Resultat ließ sich durch geringere Neigungen der $FD_{(USA)}$ -Kurven bestätigen. Die Probanden waren nach dem Training in der Lage, ohne Beschwerden oder Eingewöhnungsprobleme ihre Prismenbrillen nur noch gelegentlich zu tragen bzw. sogar ganz abzulegen.

Laut amerikanischer Theorie ist hierfür die Fähigkeit des visuellen Systems verantwortlich, bei Bedarf spontan einen energiearm arbeitenden plastischen Tonus aufzubauen. Mit dem genannten natürlichen Kompensationsmechanismus soll das Vergenzsystem in der Lage sein, auf wechselnde Vergenzansprüche, die durch Wachstum oder vegetative Prozesse des Körpers hervorgerufen werden können, zu reagieren.

Nach dem Training wurden unerwartet hohe $AP_{(D)}$ -Reduktionen ermittelt, die sich hauptsächlich auf den motorischen Anteil bezogen. Der amerikanischen Theorie zufolge lösten möglicherweise auch hier erhöhte Vergenzadaptationen durch nachweislich weniger Hemmungen eine Reduktion des motorischen Anteils aus.

VT konnte jedoch nur bedingt den sensomotorischen Status verändern. Ein prismatisch hergestelltes Stereosehgleichgewicht konnte ohne Verbleib der Prismen nicht aufrechterhalten werden. Dennoch, durch *VT* wurden Nahexophorien erfolgreich abgestellt, Hemmungen konnten stark reduziert und das Stereosehen einschließlich der Verzögerungen optimiert werden.

Ungewöhnliche Reaktionen wurden bei 3 von 4 Exophoriefällen beobachtet, sowohl bei den beiden *VT*-Probanden, als auch bei einem prismatisch korrigierten.

Sie alle zeigten nach den Maßnahmen erhebliche *AC/A*-Werterhöhungen. Diese Veränderung rief für die Betroffenen unerwartete Divergenzprobleme in der Nähe hervor. Anstelle vorhandener Nahexophorien erschienen plötzlich Nahesophorien. Die prismatische Korrektur der Nähe wurde für die Ferne nicht angenommen. Solche Tendenzen treten laut amerikanischen Studien in 28-38% aller behandelten Exophoriefälle auf.

Diese parallelen Reaktionen der Probanden könnten die Theorien der Verhaltensorientierten unterstützen, welche annehmen, dass gerade Exophorien Adaptationserscheinungen stressinduzierter Überkonvergenzen durch Naharbeit darstellen.

Bei der Ermittlung von Messwerttoleranzen und Schwankungen innerhalb des visuellen Systems zeigten vor allem zwei Probandinnen eindeutige Verbesserungen ihres sensomotorischen Status und der Sehfunktionen, was mit Reduktionen vorhandener Beschwerden einherging. Als mögliche Ursache wird für eine der Teilnehmerinnen die Auswirkung einer Stimulation bizentralen Sehens durch kurzzeitige, nicht angenommene Prismenkorrektur vermutet. Die andere Probandin wies jedoch nur während einer Phase hoher psychischer Belastungen durch Prüfungsstress besonders beeinträchtigte Sehfunktionen, eine höhere $AP_{(D)}$ und einen älteren Anpassungszustand ihrer $FD_{(D)}$ auf. Dieser letztgenannte Fall liefert Hinweise dafür, dass unser visuelles System von vegetativen Prozessen beeinflusst werden kann.

Besonders hohe Schwankungen wurden für Vergenzbreitenmessungen ermittelt, etwas geringere für den Vergenzdynamiktest.

Nach Betrachtung der Ergebnisse dieser Arbeit wird deutlich, dass Defizite von Sehfunktionen und des sensomotorischen Status in jedem Falle verschiedenartige Äußerungen der gleichen visuellen Einschränkungen sind. Da jedes Managementsystem nur für die eigene Interpretation dieser Einschränkungen die größten Erfolge erzielte, sollten gerade verfestigte Zustände nichtstrabismischen

Binokularsehens aus beiden Perspektiven beleuchtet und durch eine Kombination aus Prismen und VT effektiv behandelt werden. Hierzu wurde in dieser Arbeit ein Lösungsvorschlag für eine kombinierte Untersuchungs- und Behandlungsstrategie aufgezeigt.

Eine letzte Studie an 3 orthophoren Probanden ergab, dass der Polatest, eher als die herkömmlichen $FD_{(USA)}$ -Teste, in der Lage ist, induzierte Vergenzansprüche aufzudecken. Es konnte jedoch nicht in jedem Fall der gesamte Betrag durch die MKH ermittelt werden. Es wurde klar, dass Hemmungen gerade bei vertikalen fusionalen Vergenzen mitunter die vollständige Aufdeckung einer $AP_{(D)}$ erschweren können. Durch die Versuche wurden zeitweilig am Zeigertest spontan $FD_{(D)}$ s erzeugt. Aus all diesen Ergebnissen konnte jedoch kein Beweis für oder wider die mögliche Erzeugung einer Prismenadaptation durch die MKH gefunden werden.

Es wäre sehr wichtig, größere praxis- und länderübergreifende Studien zu entwickeln, die auf Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeit statistisch abgesicherte Ergebnisse sammeln könnten. Allen Optometristen würden somit Wege eröffnet, das komplexe Zusammenspiel der Augen noch tiefergründiger erforschen und verstehen zu können. Dieses Wissen würde den Betroffenen zugute kommen, da in ihrem Sinne in der täglichen optometrischen Praxis bei Phänomenen und Schwierigkeiten innerhalb des Binokularsehens flexibler agiert werden könnte.

10. Abkürzungsverzeichnis

DT-ABK:	DT-Bedeutung		US-ABK	US-Bedeutung
Nach deutschen Abkürzungen sortiert				
Ab.P	Abreißpunkt			<i>break point</i>
Abb.	Abbildung			
Add.	Addition			
AI	Akkommodations-Insuffizienz		<i>AI</i>	<i>Accommodation Insuficiency</i>
AU	Akkommodations-Unfähigkeit		<i>A inf</i>	<i>Accommodation Infacility</i>
BoL	Basis oben Links		<i>RH</i>	<i>Rigt Hyper</i>
BoR	Basis oben Rechts		<i>LH</i>	<i>Left Hyper</i>
bzgl.	bezüglich			
bzw.	beziehungsweise			
d.h.	das heißt			
D5	fünfreiher differenzierter Stereotest			
DE	Divergenz-Exzess		<i>DE</i>	<i>Divergence Excess</i>
Diagr.	Diagramm			
DZ	Doppelzeiger			
FD(D)	Fixationsdisparation	ungleich!	<i>FD(USA)</i>	<i>Fixation Disparity</i>
FD(D)I	Fixationsdisparation erster Unterart			
FD(D)II	Fixationsdisparation zweiter Unterart			
FHP	Fernheterophorie			<i>Distance Heterophoria</i>
FI	Filter Invers (-Stellung)			
FN	Filter Normal (-Stellung)			
ggf.	gegebenenfalls			
H	Hakentest			
IVBV	Internationale Vereinigung für Binokulare Vollkorrektur			
K	Kreuztest			
Kap.	Kapitel			
KE	Konvergenz-Exzess		<i>CE</i>	<i>Convergence Excess</i>
KZ	Korrespondenzzentrum		-	-
max.	maximal			
MKH	Mess- und Korrektionsmethode nach H.-J. Hasse		<i>MKH</i>	<i>Measuring and Correcting Methodology after H.-J. Haase</i>
Nb.P	Nebelpunkt			<i>blurr point</i>
NE	Netzhautelemente			<i>retinal elements</i>
NHP	Nahheterophorie			<i>Near Heterophoria</i>
OP	Operation/ Operativer Eingriff			<i>operation</i>
P1	erster VT Fall (P2, P3)			
PV	Proximale Vergenz		<i>PV</i>	<i>Proximal Vergence</i>
RW	Richtungswert			<i>visual direction</i>
ST	Stereotest			<i>Stereotest</i>
Tab.	Tabelle			
TIB	-		<i>TIB</i>	<i>Turville Infinity Balance Test</i>
u.U.	unter Umständen			
V	Valenztest			
V11	Reduzierter Valenztest			
VFF	Vergenzfehlfunktion			<i>Fusional Vergence Dysfunction</i>
vgl.	vergleiche			
Wv.P	Wiedervereinigungspunkt			
WVAO	Wissenschaftliche Vereinigung für Augenoptik und Optometrie			
Z	Zeigertest			
z.B.	zum Beispiel			

US-ABK:	US-Bedeutung		DT-ABK	DT-Bedeutung
Nach amerikanischen Abkürzungen sortiert				
<i>AA</i>	<i>Accommodation Amplitude</i>		ΔA max	maximaler Akkommodationserfolg
<i>AC/A</i>	<i>Akkommodative Convergence</i>		AC/A	akkommodative Vergenz
<i>ACC</i>	<i>Accommodation</i>		Akko.	Akkommodation
<i>Add</i>	<i>Addition</i>		Add	Addition
<i>AE</i>	<i>Accommodative Excess</i>		AE	Akkommodationsexzess
<i>AOA</i>	<i>American Optometric Association</i>			
<i>AP(USA)</i>	<i>Associated Phoria</i>	ungleich!	AP(D)	Assoziierte Phorie
<i>ARC</i>	<i>Anomalous Retinal Correspondence</i>		ARK	Anomale Retinale Korrespondenz
<i>Bo</i>	<i>Base out</i>		Ba	Basis außen
<i>BAF</i>	<i>Binocular Accommodative Facility</i>		-	Binokulare Akkommodationsdynamik
<i>MAF</i>	<i>Monocular Accommodative Facility</i>		-	Monokulare Akkommodationsdynamik
<i>Bi</i>	<i>Base in</i>		Bi	Basis innen
<i>CA/C</i>	<i>vergence accommodation</i>		CA/C	Vergenzakkommodation
<i>CI</i>	<i>Convergence Insufficiency</i>		KI	Konvergenz-Insuffizienz
<i>CNS</i>	<i>Central Nervous System</i>		ZNS	Zentrales Nervensystem
<i>DI</i>	<i>Divergence Insufficiency</i>		DI	Divergenz-Insuffizienz
<i>etc.</i>	<i>et cetera</i>		usw.	und so weiter
<i>FCC</i>	<i>Fused Cross Cylinder</i>		-	Binokularer Kreuzzylinder
<i>FD(USA)</i>	<i>Fixation Disparity</i>	ungleich!	FD(D)	Fixationsdisparation
<i>HP</i>	<i>Heterophoria</i>		HP	Heterophorie
<i>IA</i>	<i>Integrative Analyses</i>		IA	Integrative Analyse
<i>MAF</i>	<i>Monocular Accommodation Facility</i>		-	Monokulare Akkommodationsdynamik
<i>MAIT</i>	<i>Motor Alignment and Interaktion Tests</i>		-	Teste zur Augenstellung und -interaktion
<i>MEM</i>	<i>Monocular Estimation Method</i>		-	MEM-Skiaskopie
<i>NFV</i>	<i>Negative Fusional Vergence</i>		NFV	Negative Fusionale Vergenz
<i>NPC</i>	<i>Nearpoint of Convergence</i>		-	Konvergenznahpunkt
<i>NRA</i>	<i>Negative Relative Accommodation</i>		NRA	Negative Relative Akkommodation
<i>NS</i>	<i>Neural System</i>		NS	Nervensystem
<i>OEP</i>	<i>Optometric Extension Programm</i>		-	
<i>OMD</i>	<i>Ocular Motor Dysfunction</i>		OMF	Okulomotorische Fehlfunktion
<i>PD/D</i>	<i>Prism Diopter/ Diopter</i>		cm	Zentimeter
<i>PFV</i>	<i>Positive Fusional Vergence</i>		PFV	Positive Fusionale Vergenz
<i>PRA</i>	<i>Positive Relative Akkommodation</i>		PRA	Positive Relative Akkommodation
<i>TA</i>	<i>Tonus of Accommodation</i>		AT	Akkommodationstonus
<i>VA</i>	<i>Vergence Adaptation</i>		VA	Vergenzadaptationsvermögen
<i>VF</i>	<i>Vergence Facility</i>		-	Vergenzdynamik
<i>VFV</i>	<i>(Vertical Fusional Vergence)</i>		-	Vertikale Fusionale Vergenz
<i>VT</i>	<i>Vision Therapy</i>		VT	Visual Training

Probandeninitialien:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Korrektionsprobanden									
EK	KM	KD	TG	JR	MF1	EM	GK	CF	SD
Kontrollprobanden									
DM	KN	OD	AM	MF2	NN	EL	FW	SF	IR

11. Literaturverzeichnis

- AOA-guideline nonstrabismic vision disorders, 2001:
www.aoa.org/conditions/docs/CPG18%20%Accommodative%20Vergence.doc
- AOA-Report, Online-Publikation, 2001 ("The Effectiveness of Vision Therapy"):
www.familyeyecareofnepa.com/vision_therapy_research.htm
(korrespondierender Author, Allen Cohen, OD, SUNY State College of Optometry 100 E 24thSt., NY 10010)
- Bailey J: NABF 3 notes, lecture 11/2000
- Bailey, Gespräche am TEI (The Eye Institut), Philadelphia, 15. Mai 2002
- Baumann HE: Die Bedeutung der binokularen Anomalien für die Genese des Kopfschmerzes, Zeiss Oberkochen – Sonderdruck, 1965
- Berke A: Biologie des Auges, Mainz, Wissenschaftliche Vereinigung für Augenoptik und Optometrie e.V., 1999
- Berke A, Münschke P: Screening-Prüfmethoden der Optometrie, DOZ, 1996
- Birnbaum MH: Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1993
- Birnbaum MH, Soden R; Cohen AH: Efficacy of Vision Therapy for convergence insufficiency in an adult male population, J Am Optom Assoc, 70:225-32, 1999
- Brautaset RL, Jennings JAM: Associated phoria and the Measuring and Correcting Methodology after H.-J. Haase (MKH), Strabismus, 9(3)165-176, 2001
- Cagnolati W: Die Wichtigkeit eines guten Binokular-Sehens in Anbetracht veränderter Sehaufgaben bzw. Sehgewohnheiten, Würzburg, 39. Sonderdruck der WVAO, S.157-167, 1987
- Carter DB: Studies in FD. III. The apparent unocular components of FD; Am J Optom Arch Acad Optom, 37(8):408-19, à 1, Aug 1960;
- Carter DB: FD with and without foveal contours, Am J Optom Arch Acad Optom, 41(12):729-736, à 2., Dec 1964
- Carter DB: FD and heterophoria following prolonged wearing of prisms, Am J Optom Arch Am Acad, 42:141-52 à 10/1, 1965
- Cohen AH, Soden R: Effectiveness of VT for CI for an adult population, J Am Optom Assoc, 55:491-4 à 12, 1984
- Cohen AH: The efficacy of optometric vision therapy, Journ of AOA, Vol 59 No 2, 1988
- Diepes H: Was ist Fixationsdisparation?, DOZ, S. 42-48, 10/2001
- Duane's Ophthalmology (Yanoff M, Duker JS: CD-ROM Mosby), 6.5 Strabismus
- Gallaway M, Scheiman M: The efficacy of vision therapy for convergence excess, J Am Optom Assoc, 68(2):81-86, 1997
- Gallaway M, Gespräche am TEI (The Eye Institut), Philadelphia, 15. Mai 2002
- Goersch H: Wörterbuch der Optometrie, Pforzheim, Bode Verlag, 2001

- Goersch H: Fixationsdisparation erster und zweiter Art, NOJ, 2/ 79
- Goersch H: Die drei notwendigen Testarten zur vollständigen Heterophorie Bestimmung, Heidelberg, Deutsche Optikerzeitung Nr.11, 1987
- Griffin JR: Binocular Anomalies – Procedures for Vision Therapy, New York, Professional Press Books Fairchild Publications, 1988
- Günthert K.: Heterophien im Spiegel der Statistik, Düsseldorf, Der Augenoptiker, Verlag Willy Schrickel, 12/1980
- Haase HJ: Binocular testing and distance correction with the Berlin POLATEST, Journal of AOA, Vol. 34 No 2, 1962
- Haase HJ: Binokulare Korrekturen, Düsseldorf, Verlag Willy Schrickel, 1980
- Haase HJ: Winkelfehlsichtigkeiten mit Fixationsdisparation, Pforzheim, Bode Verlag, 1999
- Haase HJ: Zur Fixationsdisparation, Heidelberg, Verlag Optische Fachveröffentlichungen, 1995
- Hoffman LG and Rouse MW: Vision therapy revisited: a restatement; Journ of AOA; Vol 58; No 7, 1987
- Howard IP, Rogers B: Binocular Vision and Stereopsis, Oxford University Press, 1995
- Huchel A: Einfluss optometrischer Maßnahmen bei Kindern mit visuellen Defiziten unter besonderer Berücksichtigung von Teilleistungsstörungen und Begleitsymptomen, Diplomarbeit THH-Berlin, Juli 2000
- IVBV-Infos: Vollkorrektur ist kein Dogma, 12/ 2002, S. 7
- Koch C: Funktional-Optometrie- Erklärungen der Wirkungsweise visueller Übungen im Hinblick auf die Physiologie des Sehens, Diplomarbeit TFH-Berlin, Sept 2000
- Kommerell G, Gerling J, Ball M, de Paz H, Bach M: Ist einer Fixationsdisparation mit der Mess- und Korrekturmethode nach H.-J. Haase (MKH) verlässlich?, Augenheilkunde, 216:400-410, 5/2000
- Kommerell G, Gerling J, Ball M, de Paz H, Bach M: Heterophoria and fixation disparity: a review, Strabismus, 8(2):127-34, 03/2000
- Krüger S: Messung des Führungsauges, Diplomarbeit TFH-Berlin, 2001
- Lie I and Opheim A: Long-term acceptance of prisms by heterophorics, Journ. of AOA, 56(4): 272-278, 1985
- Lie I Opheim A: Langzeitverträglichkeit von Prismen bei Heterophorikern (Übersetzung aus dem Englischen: Journ AOA; 56(4):272-278; 4/1985)
- Liebermann S, Cohen A, Stolzberg M, et al.: Validity study of the New York State Optometric Association (NY-SOA) vision screening battery, Am J Optom Physiol Opt, 62:165-8, 1985
- Luu CD; Green JF and Abel L: Vertical Fixation Disparity Curve and the Effects of Vergence Training in a Normal Young Adult Population, Optom Vis Science (Am Ac Optom), 77(12):663-669, 12/2000
- Maidowsky W: Anatomie des Auges, Pforzheim, Verlag Neues Optikerjournal Bode GmbH&Co.KG, 1997
- Mallett RFJ: The investigation of heterophoria at near and a new fixation disparity technique, The Optician, Vol.148; No3844, Dec.1964

- Mallett RFJ: A Fixation disparity test for distance use, *The Optician*, Vol.152; No3927, July 1966
- Mallett RFJ: A Fixation disparity test for distance use, *The Optician*, Vol.152; No3927, July 1966
- Methling D: Zum Zusammenhang zwischen Binokularsehvermögen, arbeitsbedingten Komponenten und Sehbeschwerden, Berlin, *Augenoptik* 100, S. 34-42, 1983
- Methling D: Bestimmen von Sehhilfen; Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag; 1996
- Moest P: Vorlesung an der TFH-Berlin, Theorie der Contactlinsen-Anpassung I, Sommersemester 2001
- Morgan MW: Analysis of Clinical Data, *Am J. Optom Arch Am Acad Optom*, 21:477-91, 1944
- Morgan MW: The Turville infinity binocular balance test, *Am J. Optm Arch Am Acad Optom*, 26:231-9, 1949
- Morgan MW, Worrell BE; Hirsch MJ: An evaluation of prism prescribed by Sheard's criterion, *Am J. Optm Arch Am Acad Optom*, 48:373-6, 1971
- North RV, Henson DB: Adaptation to prism-induced heterophoria, *Am J Physiol Opt*, 57:129-37 à 7, 1980
- North RV, Henson DB: Adaptation to prism-induced heterophoria in subjects with abnormal binocular vision or asthenopia, *Am J Optom Physiol Opt*, 58:746-52, 1981
- North RV, Henson DB: The effect of orthoptic treatment upon the vergence adaptation mechanism, *Optom Vis Sci*, 69(4):294-9, Apr. 1992
- Ogel KN, Martens TG; Dyer JA: *Oculomotor Imbalance in Binocular Vision and Fixation Disparity*, Philadelphia, Lea & Febiger, 1967
- Pickwell D, Kurtz BH: Lateral short-term prism adaptation in clinical evaluation, *Ophthalmic Physiol Opt*, 6(1):67-73, 1986
- Pickwell D: Binocular Vision: the Berlin outlook, *The optician*, 174(12): 8;11;35, Dec 1977
- Pickwell D: Die Berliner Betrachtungsweise (Übersetzung aus dem Englischen aus *The Optician*;174(12): 8;11;35), *Der Augenoptiker*, S.41-45, 12/ 1978
- Ringleb: Vorlesung an der TFH-Berlin, Augenglasbestimmung I, Sommersemester 2000
- Rouse MW, Ryan: Clinical examination in children, in *Pediatric Optometry*, Philadelphia, Lippincott, 1990
- Rouse MW; Borsting E and Deland PN: Reliability of Binocular Vision Measurements Used in the Classification of Convergence Insufficiency, *Optom Vision Science*, 79(4):254-264, 2002
- Rutstein RP, Godio LB: Common clinical configuration of zone of zero-associated phoria, *Am J Optom Physiol Opt*, 60(6):514-8, Jun. 1983
- Scheiman M, Wick B: *Clinical Management of Binocular Vision*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 1994
- Scheiman M: NABF I notes, lecture 6/2000
- Schor CM: The relationship between fusional vergence eyemovements and FD, *Vision Res*, 19:1359-67 & p. 757-65, 1979

- Schor CM: The influence of rapid prism adaptation upon FD, *Vision Res*, 19: 757-765, 1979
- Schor CM: FD: a steady state error of disparity induced vergence, *Am J Optom Physiol Opt*, 57:618-31 à 10/2, 1980
- Schor CM and Narayan V: Graphical analysis of prism adaptation, convergence, accommodation, and accommodative convergence; *Am J Optom Physiol Opt*, 59:774-784 à, 1982
- Schor CM: Analysis of tonic and accommodative vergence disorders of binocular vision, *Am J Optom Physiol Opt*, 60(1):1-14, (reprinted by the Am Acad of Optom 1983)
- Schor CM: Influence of Accommodative and Vergence Adaptation on Binocular Motor Disorders, *Am J Optom Physiol Opt*, 65(6):464-475, 1988
- Schor C. M and Ciuffreda, K.J: *Vergence Eye Movement*, Oxford, Butterworth Publishers, 1983
- Schor CM: Fixation Disparity and Vergence Adaptation in Schor, C. M and Ciuffreda, K.J.: *Vergence Eye Movement*, Oxford, Butterworth Publishers, pp.465-515, 1983
- Schroth V: *Ratgeber für Binokulare Vollkorrektur-Leitfaden für die Praxis (WVAO)*, Bibliothek/ Band 9, 1997
- Sheard C: Zones of ocular comfort, *Am. J. Optom*, 7(1): 9-25, 1930
- Sheedy JE: Actual measurement of FD and its use in diagnosis and treatment, *Am J Optom Assoc*, 51(12):1079-1084 à, 1980
- Sheedy JE: FD analysis of oculomotor imbalance, *Am J Optom Physiol Opt*, 57:632-9à 4, 1980
- Sheedy JE, Saladin JJ: Association of Symptoms with measures of oculomotor deficiencies, *Am J Optom Physiol Opt*, 55(10):670-676, Oct 1978
- Smith MJ, Cohen BGF, Stammerjohn LW, et al.: An investigation of health complaints and job stress in video display operation, *Hum Factor*, 23:387-400, 1981
- Stollenwerk G: *Binokulare Vollkorrektur – Theorie und Praxis*, Limburg, Seminarunterlagen-Sonderdruck, 1998-2002
- Stollenwerk G :Bedeutung der binokularen Vollkorrektur bei anisometropischen Korrekturen, Sonderdruck aus *Neues Optiker Journal*, S.1-11,
- Tamcke A: *Visualtraining – Analyse und Management von binokularen, akkommodativen und okulomotorischen Sehstörungen*, FH-Aalen, 1997
- Vaegan JL: Convergence and Divergence show large and sustained improvement after short isometric exercise, *Am J Optom Physiol Opt*, 56(1): 23-33 à 12, 1979
- Veterinärmedizinische Uni Wien, Okt 2002: <http://i155srv.vu-wien.ac.at/physik/ws95w9550dir/w9553000.htm>
- Vranko V: *Sehfehler, Untersuchungsmethoden und optometrische Verordnungen bei Kindern mit Lese-Rechtschreibprobleme*, Diplomarbeit TFH-Berlin, Jan 2000
- Wesson MD and Koenig R: A new clinical method for direct measurements of FD, *South J Optom*, 1(10):48-52 à, 1983
- Wick B: VT for presbyopic nonstrabismic patients, *Am J Optom Physiol Optics*, 54:244-7 à 12, 1977
- Wick B: Clinical factors in proximal vergence, *Am J Optom Physiol Opt*, 62(1):1-18 à, Jan 1985

Wick B: Forced Vergence Fixation Disparity Curves at Distance and Near in an Asymptomatic Young Adult Population, Am J Optom Physiol Opt, 62(9):591-599, 1985

[www. Vision-therapy.com/Glossary_of_Terms.htm](http://www.Vision-therapy.com/Glossary_of_Terms.htm)