

Prof.
Heinz Diepes,
Aalen

Überlegungen und Beobachtungen zur Fixationsdisparation*

1. Begriffe

Je intensiver man sich mit der Messung und dem prismatischen Ausgleich von Stellungsanomalien beschäftigt, desto häufiger wird man mit der Tatsache konfrontiert, daß sensorische Ausgleichsmechanismen dabei eine wesentlich größere Bedeutung besitzen, als man ursprünglich einmal angenommen hatte. Unter diesen sensorischen Ausgleichsmechanismen spielt die Fixationsdisparation, wie eng oder weit man diesen Begriff im einzelnen auch fassen mag, eine besondere Rolle, weil mit ihr die physiologisch normalen Vorgänge beschrieben werden, die den Grenzbereich bilden zwischen dem idealen Binokularsehen und solchen Anpassungsvorgängen, die bereits in den Bereich der sensorischen Anomalien einzuordnen sind.

In DIN 5340 [1] wird die Fixationsdisparation wie folgt definiert:

„Zustand des normalen binokularen Einfachsehens, bei dem der Fixationspunkt mit einer Disparation innerhalb des zugehörigen Panumbereiches abgebildet wird. Der Begriff wird auch benutzt, wenn statt eines Fixationspunktes nur parazentrale oder periphere Fusionsreize vorhanden sind.“

Diese Definition würde durchaus auch gewisse weitergehende Anpassungszustände an Stellungsfehler zulassen, sofern sie nur im zum Bild des Fixationspunktes gehörenden Panumbereich stattfinden, wenn nicht ausdrücklich gesagt wäre, daß es sich um einen Zustand des normalen binokularen Einfachsehens handelt. Unter dem Stichwort „Binokularsehen“ findet sich nämlich in DIN 5340 der Satz:

* Nach einem Vortrag auf dem 10. WVAO-Jahreskongreß am 1. 5. 1988 in Köln

„Normales Binokularsehen liegt vor, wenn bei normaler Korrespondenz Stereopsis besteht und ständig in allen Blickrichtungen für Ferne und Nähe fusioniert wird.“

Im Sinne dieser Definition kann man also nur dann von einer Fixationsdisparation sprechen, wenn normale Netzhautkorrespondenz besteht. Schauen wir uns in der Norm an, was unter normaler Korrespondenz zu verstehen ist. Hier finden wir unter dem Stichwort „Korrespondenz“ folgende Sätze:

„Sensorische Beziehung der Netzhäute beider Augen bezüglich der Richtungswerte (Sehrichtungsgemeinschaft). Man unterscheidet:

- a) Normale Korrespondenz: Die Foveolae beider Augen haben gleiche Richtungswerte.
- b) Anomale Korrespondenz (nur als Folge einer Heterotropie): Die Foveolae beider Augen haben ungleiche Richtungswerte.“

Die Fixationsdisparation in diesem Sinne gehört danach definitionsgemäß zum normalen Binokularsehen. Die Foveolae beider Augen wirken weiterhin wie beim idealen Binokularsehen als Korrespondenzzentren. Damit herrscht spontan wieder ideales Binokularsehen, wenn die Ursache der Fixationsdisparation (meist eine phorische Belastung) nicht mehr wirksam ist. Die Fixationsdisparation kann somit bei jedem Menschen mit störungsfreiem Binokularsehen unter phorischer Belastung auftreten. Das heißt mit anderen Worten, sie läßt sich durch Vorsetzen von Prismen künstlich erzeugen und verschwindet augenblicklich, wenn die Prismen wieder fortgenommen werden.

Es sei nicht verschwiegen, daß diese Definition sehr einschränkend ist. Vielfach wird die Fixationsdisparation im hier definierten Sinne zur Abgrenzung von anderen Erscheinungen als Fixationsdisparation 1. Art (Haase [2], Goersch [3]) oder kurz als FD 1 bezeichnet. Daneben definieren diese und andere Autoren eine FD 2, bei der gewisse Korrespondenzverschiebungen vorkommen, die dadurch gekennzeichnet sind, daß sie innerhalb der zentralen Panumbereiche erfolgen und sich nach prismatischer Vollkorrektion des zugrundeliegenden Stellungsfehlers zurückbilden. Im folgenden ist mit dem Begriff Fixationsdisparation nur die FD 1, also die Fixationsdisparation nach der oben wiedergegebenen, einschränkenden Definition gemeint. Allerdings zeigen praktische Messungen, daß es im Einzelfall recht schwierig und manchmal sogar unmöglich ist, beide Arten sauber voneinander zu trennen. Für den prismatischen Ausgleich der zugrundeliegenden Heterophorie ist das vielfach auch gar nicht notwendig.

2. Korrespondenz und Richtungswahrnehmung

Zur Veranschaulichung der folgenden Überlegungen möge Abb. 1 dienen, die das Prinzip der Fixationsdisparation in der allgemein üblichen Weise wiedergibt (siehe auch Goersch [3]). Ein Augenpaar mit normalem Binokularsehen fixiere den Punkt O_{FL} . Das Bild O'_{FL} falle im linken Auge (angenommenes Führungsauge) in die Mitte der Foveola, also auf das Korrespondenzzentrum. Im anderen Augen hingegen falle O'_{FR} auf eine bezüglich der Foveola etwas temporal liegende Netzhautstelle und somit auf eine Stelle, die zum Korrespon-

denzentrums des linken Auges geringfügig disparat ist. Wir hätten also strenggenommen eine Exotropie (Auswärtsschiel) vorliegen, wenn die Verschiebung nicht so klein wäre, daß sie innerhalb des zentralen Panumbereiches des rechten Auges liegt. Damit ist trotz der leichten Stellungsabweichung Fusion und binokulares Einfachsehen möglich.

Unter dem Augenpaar sind als Kreuze die Netzhautmitten (Foveolae) angedeutet. Die Lage der Bildpunkte ist stark vergrößert nochmals eingezeichnet.

Die Ursache der hier vorliegenden Fixationsdisparation kann ganz einfach darin liegen, daß zum Erreichen der Vergenzstellung eine mehr oder weniger starke fusionelle Konvergenz erforderlich ist, die zum Teil von der Sensorik übernommen wird. Die hier angenommene, geringe Abweichung von der idealen Orthostellung ist damit völlig normal.

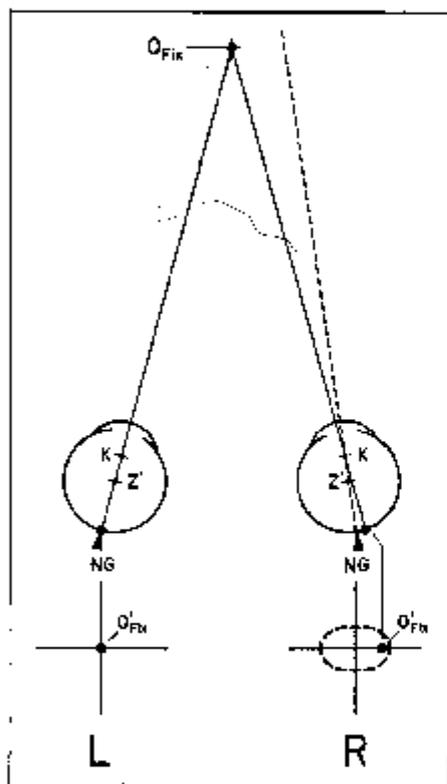


Abb. 1 Zur Definition der Fixationsdisparation

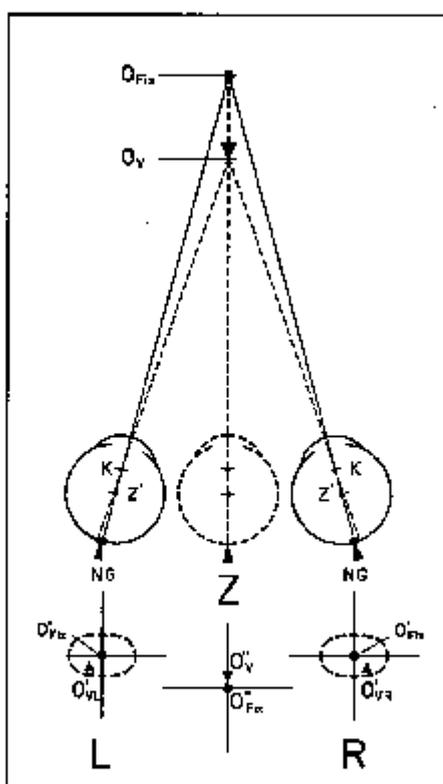


Abb. 2 Disparationen bei Strahnbjokler

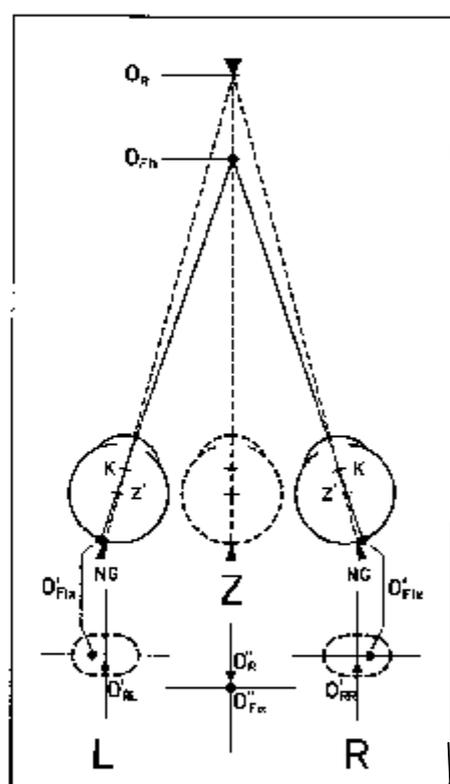


Abb. 3 Disparationen bei Stereoobjekten und Fixationsdisparation

Nicht normal ist allerdings die angenommene Situation, daß sich im Gesichtsfeld nur ein einziges und dazu auch noch punktförmiges Objekt befindet, das fixiert wird und damit den Horopter festlegt. In Wirklichkeit haben wir es vielmehr schon bei einem einzelnen fixierten Objektdetail mit komplexen Strukturen zu tun, die nicht notwendigerweise alle auf dem Horopter liegen. Die Situation in Abb. 1 wird in der Regel nur zur Erläuterung der Fixationsdisparation herangezogen, weil bei ihr keine störenden oder verwirrenden Nebeneffekte auftauchen.

Trotz dieser Vereinfachung gibt es Probleme mit der Richtungslokalisation des binokular fixierten Objektpunktes. Der Bildpunkt im führenden Auge (hier linkes Auge) liegt in der Foveola und damit auf der Netzhautstelle, die den Richtungswert „geradeaus“ besitzt. Der Bildpunkt im anderen Auge liegt auf einer Netzhautstelle, die im vorliegenden Beispiel einen Richtungswert „links von geradeaus“ aufweist. Es stellt sich die Frage, in welcher Richtung das Augenpaar das Objekt

erkennt. Diese Frage ist experimentell kaum zu beantworten, da eine absolute binokulare Richtungslokalisation nur mit geringer Genauigkeit möglich ist. Sie ist aus demselben Grunde für die Praxis auch von untergeordneter Bedeutung. Für genauere Betrachtungen benötigt man stets zwei Objekte, deren Richtung von der Versuchsperson vergleichend beurteilt werden kann.

In Abb. 2 ist eine etwas erweiterte Situation dargestellt. Das Augenpaar fixiere zunächst einmal ohne Fixationsdisparation – den Punkt O_{Fix} . Dann fallen die zugehörigen Bilder beiderseits auf die Korrespondenzentren. In einer Ebene vor dem fixierten Objektpunkt befindet sich der Punkt O_V , der hier durch ein Dreieck angedeutet wird. O_V liege gerade so weit oberhalb von O_{Fix} , daß sich die beiden Punkte nicht gegenseitig verdecken. Die Entfernungsdifferenz beider Punkte sei so

gering, daß es nicht zum Doppeltsehen kommt. Es liegt somit die Situation vor, die in der Regel zur Erläuterung des querdisparaten Tiefensehens herangezogen wird. O_V wird nach O'_{VL} bzw. O'_{VR} auf beide Netzhäute innerhalb der gestrichelt angedeuteten zentralen Panumbereiche abgebildet. Die Bilder liegen auf nicht korrespondierenden Netzhautstellen, also auf Stellen mit verschiedenen Richtungswerten. Das kann man praktisch leicht nachweisen, indem man abwechselnd das linke und das rechte Auge abdeckt. Dann scheint für den Beobachter O_V einmal rechts und einmal links von O_{Fix} zu liegen.

Für das gestrichelt eingezeichnete scheinbare Mittelauge (Zyklopenauge) Z scheint im Gegensatz dazu der Punkt O_V zwar räumlich vor O_{Fix} zu liegen, die Richtung, in der beide Punkte gesehen werden, ist aber jedenfalls dann gleich, wenn die Seheindrücke beider Einzelaugen sensorisch gleichwertig verarbeitet werden, oder mit anderen Worten, wenn Stereoäquivalenz (Sachsenweger [4]) herrscht.

Man muß also für das Mittelauge einen binokularen Richtungswert definieren, der sich aus dem Zusammenwirken der monokularen Richtungswerte der Einzelaugen ergibt. Bei der im vorliegenden Falle angenommenen Stereoäquivalenz handelt es sich dabei um die Vektorsumme der monokularen Richtungswerte. Wenn keine Stereoäquivalenz vorliegt (Dominanz eines Auges), gehen die Richtungswerte beider Einzelaugen mit unterschiedlichen Gewichtungen in die Summenbildung ein.

In Abb. 3 ist eine sehr ähnliche Situation angenommen, die sich von der vorherigen dadurch unterscheidet, daß jetzt der weiter vorne liegende Punkt fixiert und somit zu O_{FLX} wird. Der weiter hinten liegende Punkt werde mit O_R bezeichnet.

Wir nehmen aber nun an, daß eine Fixationsdisparation im gleichen Sinne wie in Abb. 1 vorliegt. Dann liegen die Bilder O'_{FLX} temporal der Netzhautmitte, also auf disparaten Netzhautstellen innerhalb der zentralen Panumbereiche und werden trotz der Disparation fusioniert. Je nachdem, wie groß diese Disparation ist, liegen die Bilder von O_R (O'_{RL} und O'_{RK}) näher an der Netzhautmitte und können gar – wie das in Abb. 3 angenommen wurde – in die Mitten hineinfallen. Das heißt, es entsteht die paradoxe Situation, daß die Bilder des fixierten Objektpunktes weiter von den Korrespondenzzentren entfernt sind als die Bilder eines nicht fixierten, aber günstig liegenden Objektpunktes.

Für die Richtungswahrnehmung des hypothetischen Mittelauges Z hat sich gegenüber der Situation in Abb. 2 nichts geändert. Wenn Stereoäquivalenz herrscht, werden O_{FLX} und O_R in gleicher Richtung wahrgenommen.

Es ist allerdings fraglich, ob die in Abb. 3 angenommene Situation praktisch überhaupt vorkommt. Zumindest dann, wenn die Fixationsdisparation Folge einer Heterophorie ist und ein eindeutiges Führungsaugen vorliegt, wird man (zum Beispiel nach Haase [5]) davon auszugehen haben, daß das Führungsaugen exakt zentral fixiert und die Disparation sich nur auf einem Auge manifestiert. Dann wird aber auch keine Stereoäquivalenz vorliegen, da die Netzhautstellen, auf die der fixierte Objektpunkt abgebildet wird, in beiden Augen doch recht unterschiedliche Wertigkeiten besitzen.

Auf der anderen Seite fand Carter [6] im Jahre 1960, daß von 22 mit einer modifizierten Testanordnung nach Ogle untersuchten Personen 18 eine annähernd gleichmäßig auf beide Augen verteilte Fixationsdisparation besaßen. Er folgerte daraus, daß bei normalen Personen ein beidäufig fixiertes Objekt lokalisiert wird, indem die beiden monokularen Richtungswerte „gemittelt“ werden. Leider sind seine Angaben über die Qualität des Binokularsehens der untersuchten Personen nach heutigen Begriffen unvollständig.

Gleichgültig, wie die beiden Objekte aus Abb. 3 nun lokalisiert werden, wäre zu vermuten, daß die „Festigkeit“ der Fusion (vielleicht könnte man hier auch den Ausdruck „Fusionskraft“ verwenden) für die in die Netzhautmitte fallenden Bilder des nicht fixierten Objektpunktes O_R größer sein müßte als für die Bilder des zwar fixierten, aber doch etwas weiter außen abgebildeten Objektpunktes O_{FLX} . Das heißt, wenn man den Abstand zwischen diesen beiden Punkten vergrößert, so daß sie nicht mehr beide gleichzeitig einfach gesehen werden, müßte O_{FLX} doppelt gesehen werden und nicht O_R . Wenn hingegen keine Fixationsdisparation oder eine FD in entgegengesetzter Richtung vorläge, müßte O_R doppelt gesehen werden.

Tatsächlich ergeben Beobachtungen, die Anton [7] im Rahmen einer an der FH Aalen durchgeführten Untersuchung zur Größe der foveolaren Panumbereiche gemacht hat, Hinweise auf die Richtigkeit der oben entwickelten Vorstellungen.

In dieser Arbeit wurde versucht, die Größe der foveolaren Panumbereiche dadurch zu messen, daß über ein großes Helmholtzsches Spiegelstereoskop Stereobildpaare ähnlich dem Stereotest des Polatest-Gerätes in 6 m Entfernung dargeboten wurden, bei denen die stereoskopische Parallaxe (also die Verschiebung der Dreiecke relativ zueinander) in kleinen Stufen vergrößert wurde, bis Diplopie auftrat. Dabei wurde der Prüfling aufgefordert, den ausgefüllten Kreis (Fixationspunkt) zu fixieren. Wahlweise konnten die Dreiecke gekreuzt (Lokalisation nach vorne) oder gleichliegend (Lokalisation nach hinten) dargeboten werden.

Die Untersuchungen wurden an insgesamt 30 Prüflingen durchgeführt, von denen 14 esophor, 12 exophor und 4 horizontal orthophor waren. Die Qualität des Binokularsehens wurde genau geprüft. Sie erwies sich, wie bei zufällig ausgewählten Personen nicht anders zu erwarten, als sehr unterschiedlich. Es zeigte sich trotzdem folgendes:

Esophore Versuchspersonen

Bei gekreuzter Darbietung trat bei 13 der 14 esophoren Versuchspersonen keine Diplopie der Dreiecke, sondern eine Diplopie des Fixationspunktes auf. Bei gleichliegender Darbietung trat bei allen esophoren Versuchspersonen eine Diplopie der Dreiecke auf.

Exophore Versuchspersonen

Bei gleichliegender Darbietung trat bei vier der zwölf Exophoren eine Diplopie des Fixationspunktes auf. Bei gekreuzter Darbietung trat bei allen exophoren wie auch bei den vier horizontal orthophoren Versuchspersonen Diplopie der Dreiecke auf.

Dies änderte sich auch dann nicht, wenn der Fixationsreiz der eigentlichen Testebene dadurch verstärkt wurde, daß neben dem Fixationspunkt weitere Objekte angebracht wurden (siehe Abb. 4).

Dieser Effekt ist in ähnlicher Form auch früher schon beob-

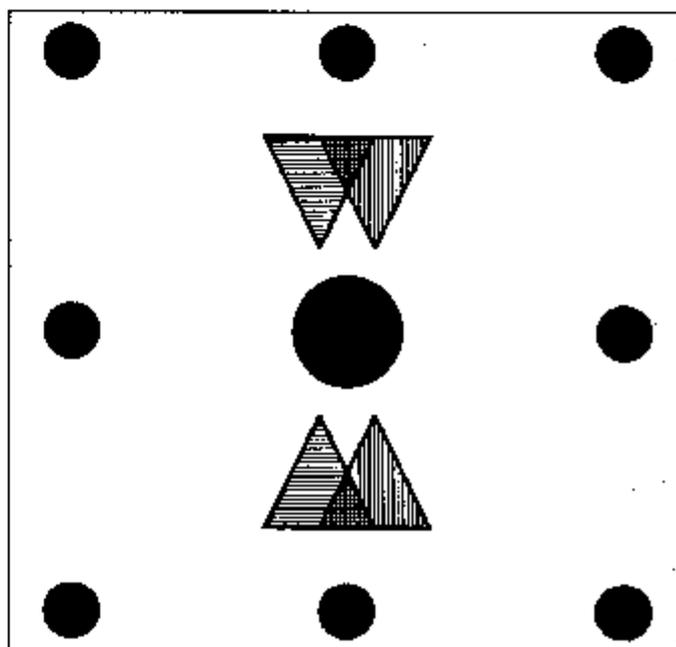


Abb. 4 Stereotest mit verstärktem Fixationsreiz (der Testebene)

achtet worden. Er hängt mit den Vorgängen bei der Stereowendeprobe (Polatest) eng zusammen. Die oben gegebene theoretische Begründung wird – wie nicht anders zu erwarten – von verschiedenen Autoren unterschiedlich gesehen. Amon (siehe oben) vermutet einen unwillkürlichen und unbemerkten Fixationswechsel auf den jeweils einfach gesehenen Punkt in dem Augenblick, in dem das Doppeltsehen auftritt.

Vukovich und Schubert [8] erklären den Effekt mit den bekannten, unwillkürlichen Fixationsschwankungen, von denen sie annehmen, daß sie in Richtung der Phorie größer sind, weil mit dieser Richtung eine Spannungsabnahme der Augenmuskeln verbunden ist.

Beweiskräftige Aussagen darüber, welche der angeführten Theorien richtig ist, könnte eine empfindliche, binokular gleichzeitige, objektive Registrierung der Augenbewegungen liefern. Wenn es nämlich im Moment des Auftretens der Diplopie zu einer Fixationsänderung kommt, müßte diese sich durch eine objektive Änderung der Vergenzstellung bemerkbar machen. Wenn hingegen, wie wir vermuten, die Ursache in der Fixationsdisparation liegt, dürfte es beim Auftreten der Diplopie keine Änderung der Vergenzstellung geben. Die Untersuchung wird allerdings dadurch erschwert, daß zusätzlich ständige Fixationsschwankungen auftreten. Ein Gerät, mit dem solche Beobachtungen unter Umständen möglich sind, wird von Kedzia [9] in einer ersten Modellversion vorgestellt.

Die Diplopie des Fixationspunktes tritt in Fällen von Esophorie wesentlich häufiger auf als bei den Exophorien. Daraus kann gefolgert werden, daß bei der Kompensation der Esophorie wesentlich häufiger Fixationsdisparationen auftreten als bei der Kompensation der Exophorie. Diese Folgerung wiederum findet ihre Bestätigung in der praktischen Erfahrung bei der Bestimmung prismatischer Korrekturen mit modernen Methoden, zum Beispiel nach der Polatest-Methodik sowie in einigen später zu schildernden Beobachtungen.

3. Messung der Fixationsdisparation

Bei der Messung der Fixationsdisparation müssen zwei Fälle sorgfältig unterschieden werden:

1. Bestimmung des Korrektionsprismas, mit dem die in der jeweiligen Testsituation auftretende Fixationsdisparation zu Null wird. Dies ist der Fall, der im Refraktionsraum des Augenoptikers in der Regel vorliegt und der in der Tat auch für die Ermittlung prismatischer Korrekturen der wichtigere ist.
2. Unmittelbare Messung der Fixationsdisparation unter den gegebenen Bedingungen. Dieser Fall ist für grundsätzliche Untersuchungen von Interesse.

Für beide Fälle können – jedenfalls was die Testsituation bezogen auf den Prüfling betrifft – grundsätzlich gleiche oder weitgehend ähnliche Testanordnungen benutzt werden. Bei allen Testen muß zunächst mindestens ein Objekt angeboten werden, das ungetrennt binokular gesehen und damit fusioniert wird (Fusionsobjekt). Nur bezüglich der Bilder dieses Fusionsobjektes (bzw. der Fusionsobjekte) kann es eine Fixationsdisparation geben. Daneben müssen im Test getrennte Objekte vorhanden sein, mit deren Hilfe die Fixationsdisparation angezeigt wird (Anzeigeobjekte). Verschiedene Testanordnungen unterscheiden sich dadurch, daß sich das Fusionsobjekt (bzw. die Fusionsobjekte) und die Anzeigeobjekte

an unterschiedlichen Stellen im Gesichtsfeld befinden. Abb. 5 zeigt zwei Beispiele.

Unter a. ist ein Kreuztest dargestellt, bei dem beispielsweise der waagerechte Balken nur vom rechten und der senkrechte Balken nur vom linken Auge gesehen wird. Die Zuordnung kann auch anders gewählt werden, ohne daß sich dadurch am Prinzip des Testes viel ändert. Damit sind die Balken die Anzeigeobjekte. Als Fusionsobjekt, das fixiert werden soll, dient der zentrale schwarze Punkt. Liegt bezüglich der Fixation dieses Punktes eine Fixationsdisparation vor, verschiebt sich für das Auge, in dem die Disparation auftritt, der zugehörige Balken relativ zum Punkt, weil für den Balken die monokularen Richtungswerte maßgebend sind, während für den Punkt die aus dem Zusammenspiel beider Augen resultierenden binokularen Richtungswerte Platz greifen.

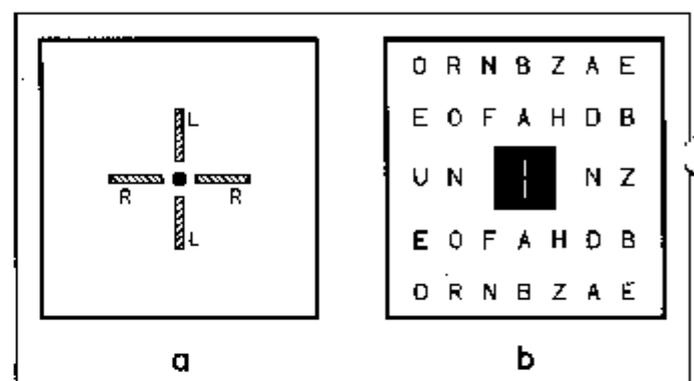


Abb. 5 Beispiele für Tests zur Fixationsdisparation

Bei normalen Korrespondenzverhältnissen bestimmt man mit diesem oder ähnlichen Testen, die ein zentrales Fusionsobjekt und mehr oder weniger weit parazentral bzw. peripher liegende Anzeigeobjekte aufweisen, immer dann die Disparation bezogen auf das Fusionsobjekt, wenn dieses wirklich fixiert wird, was allein durch die Tatsache, daß es sich in der Mitte der Testanordnung befindet, noch nicht gewährleistet ist. Vielmehr sollte durch geschickte Anordnung der Anzeigeobjekte dafür gesorgt werden, daß zum „Ablesen“ ihrer Position keine Fixationsänderungen (zum Beispiel Blick auf peripher gelegene Teststrukturen) erforderlich werden.

Selbst wenn man das beachtet, ist anzunehmen, daß das Meßergebnis auch noch davon abhängt, wie groß das Fusionsobjekt ist und welche Strukturen es aufweist. Es wird in der Literatur immer wieder darauf hingewiesen, daß es bei von der Struktur her anspruchsvollen Objekten eine motorische „Nacheinstellung“ gibt, die im Vergleich zu weniger anspruchsvollen Objekten die Fixationsdisparation vermindert.

Unter b. ist in Abb. 5 ein Beispiel für den „klassischen“ FD-Test wiedergegeben, wie er wohl erstmals von Ogle und Mitarbeitern [10] benutzt wurde. Die beiden kleinen weißen Striche im zentralen schwarzen Feld sind polarisiert und werden getrennt gesehen. Sie dienen als Anzeigeobjekte für horizontale Disparationen. Sie wirken dabei als Nonius und gestatten somit eine besonders genaue Einstellung. Sowohl die Begrenzung des zentralen schwarzen Feldes als auch die Buchstaben sollen als Fusionsobjekte dienen.

Zur „Ablesung“ der relativen Stellung der Anzeigeobjekte zueinander muß der Prüfling die Mitte des schwarzen Feldes fixieren. Als Fusionsobjekt liegt der Rand dieses Feldes (für die hier nur interessierenden horizontalen Disparationen der

vertikale Rand rechts und links) der fixierten Objektstruktur am nächsten. Gemessen wird also die Disparation bezüglich dieser parazentralen Objektstrukturen und nicht die Disparation bezüglich der fixierten Objektstruktur. Es ist offensichtlich, daß hier etwas wesentlich anderes gemessen wird als im in Abb. 5 unter a. wiedergegebenen Test. Trotzdem gestattet die Definition in DIN 5340 (siehe oben), auch das als Fixationsdisparation zu bezeichnen.

Untersucht man andere Tests zur Fixationsdisparation genauer auf ihre Eigenschaften, so zeigt sich, daß sich alle Tests trotz mehr oder weniger großer Unterschiede prinzipiell auf die beiden Beispiele aus Abb. 5 zurückführen lassen. Man hat daraus zu folgern, daß es nicht möglich ist, die Fixationsdisparation eines bestimmten Menschen zu bestimmen. Man ermittelt vielmehr eine Fixationsdisparation, die sich bei der jeweiligen Testsituation einstellt.

Zur Messung der Fixationsdisparation selbst muß eine Möglichkeit vorgesehen werden, die gesehene Position der Anzeigeobjekte quantitativ zu bestimmen. In der Regel macht man diese verschiebbar und mißt die Verschiebung, die erforderlich ist, damit der Prüfling den Test in Nullstellung erkennt.

Mit einem Test nach Abb. 5b wurden die bekannten Kurven von Ogle und Mitarbeitern (siehe oben) bestimmt, die in der Literatur häufig als Darstellung der Fixationsdisparation in Abhängigkeit von einer vorgesetzten prismatischen Wirkung (phorische Belastung) zitiert werden. Abb. 6 zeigt solche Kurven für zwei verschiedene Prüflinge vom (nach Ogle und Mitarbeitern) sogenannten Typ I. Auf der waagerechten Achse ist die phorische Belastung und auf der senkrechten Achse die zugehörige Fixationsdisparation angetragen. Schon von den Autoren dieser Arbeit wurde herausgestellt, daß die auf diese Weise gemessene Fixationsdisparation nicht nur von der phorischen Belastung, sondern auch von allen möglichen sonstigen Parametern wie Feldgrößen, Korrektionszustand, Sehschärfe usw. abhängt. Damit werden unsere oben angestellten Überlegungen bestätigt, nach denen diese Kurven wieder nicht die Fixationsdisparation, sondern eine – sicher auf der Fixationsdisparation beruhende – Einstellung der Verschiebung durch den Prüfling an dem jeweiligen Test wiedergeben.

Soll nicht die Fixationsdisparation selbst, sondern die prismatische Korrektion bestimmt werden, mit der die Fixationsdisparation verschwindet, so brauchen die Anzeigeobjekte nicht verschoben zu werden, was die Konstruktion der Tests wesentlich vereinfacht. Zur praktischen Anwendung im Refraktionsraum findet man daher richtigerweise in der Regel Tests ohne Verschiebungen wie den Test in Abb. 5a oder die bekannten FD-Tests im Polatest-Gerät (zum Beispiel Zeigertest).

Insbesondere dann, wenn die Fixationsdisparation selbst bestimmt wird, erscheint es nach diesen Überlegungen fraglich, inwieweit aus den Messungen verallgemeinernde Schlüsse auf die im normalen Binokularsehen auftretenden Fixationsdisparationen gezogen werden dürfen. Bei der Bestimmung der zum Ausgleich der Fixationsdisparation erforderlichen prismatischen Wirkung ist das nicht so kritisch, weil der Vergleich der Ergebnisse zeigt, daß an vernünftig konzipierten Tests die Nullstellung (nicht aber die beobachtete Auswanderung) vom jeweiligen Testdesign weitgehend unabhängig ist.

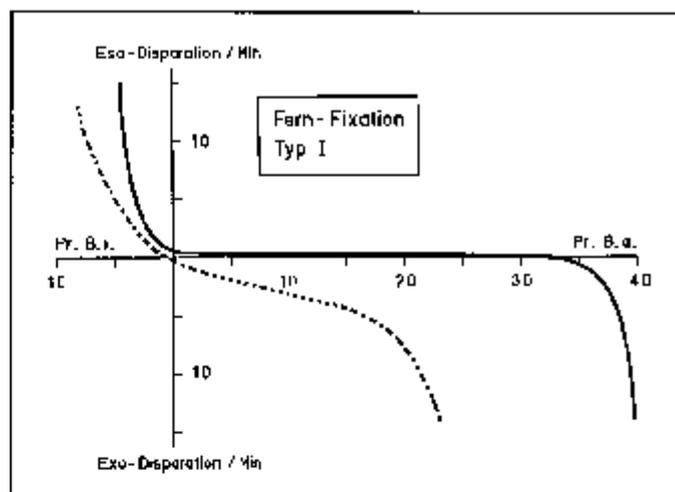


Abb. 5 Fixationsdisparation in Abhängigkeit von der photischen Belastung (nach Ogle und Mitarbeitern)

4. Fixationsdisparation und querdisparates Tiefensehen

Nach den in Abschnitt 1 angestellten Überlegungen ist zu erwarten, daß die Fixationsdisparation einen Einfluß auf die Qualität des querdisparaten Tiefensehens, also der Tiefen-

wahrnehmung, die ausschließlich auf geringen Unterschieden der beiden Netzhautbilder beruht, besitzt.

Ideales Binokularesehen ist nur bei Orthostellung, das heißt bei Orthophorie oder bei einer motorisch vollkompensierten Heterophorie (also ohne Fixationsdisparation) möglich (Goersch [11]). Folglich sollte man erwarten, daß nur in diesem Falle die höchstmögliche Qualität des querdisparaten Tiefensehens, die sich durch optimales Tiefenunterscheidungsvermögen (kleiner Stereogrenzwinkel) manifestiert, erreicht wird. Jede Fixationsdisparation müßte demnach den Stereogrenzwinkel vergrößern. Das klingt logisch und entspricht auch der Erfahrung bei der binokularen Refraktionsbestimmung, wird aber in der Literatur nicht allgemein anerkannt. Die Prüfung des wirklichen Zusammenhangs zwischen Fixationsdisparation und Stereogrenzwinkel dürfte sich sehr schwierig gestalten. Uns ist bisher nur eine Untersuchung bekannt geworden, in der versucht wird, den Stereogrenzwinkel gleichzeitig mit der bei seiner Bestimmung auftretenden Fixationsdisparation zu ermitteln (Cole und Boisvert [12]). Aber auch diese Autoren messen – wenn auch im selben Gerät und bei konstanter phorischer Belastung – die Fixationsdisparation und den Stereogrenzwinkel nacheinander, so daß nicht ganz sicher ist, daß bei beiden Teilmessungen dieselben Verhältnisse herrschen. Sie finden in Fällen von Esodisparation (Exodisparation konnte mit der verwendeten Apparatur nicht geprüft werden) bei geübten Versuchspersonen eine eindeutige Abnahme des Stereogrenzwinkels mit steigender Fixationsdisparation. Bei nicht geübten Personen erhalten sie weniger reguläre Zusammenhänge.

Es gibt dagegen eine Reihe von Untersuchungen über die Abhängigkeit des Stereogrenzwinkels von der phorischen Belastung. Da zwischen der phorischen Belastung und der Fixationsdisparation kein eindeutiger, für alle Individuen gleicher Zusammenhang besteht (siehe auch Abb. 6), ist bei solchen Untersuchungen auch kein einheitliches und eindeutiges Ergebnis zu erwarten. Trotzdem sind sie im hier diskutierten Zusammenhang interessant.

Fry und Kent [13] untersuchten das Tiefenunterscheidungsvermögen in Abhängigkeit von der Stärke und Basislage vorgesetzter prismatischer Wirkungen mit einem Zweistäbchenapparat, der unter Laborbedingungen eine sehr genaue Messung des Stereogrenzwinkels zuließ. Wie aus Abb. 7 zu entnehmen ist, erhielten sie bei verschiedenen Prüfpersonen unterschiedliche Abhängigkeiten. Aus ihrer Arbeit ist leider nicht zu entnehmen, welche Qualität des Binokularesehens bei den verschiedenen Prüflingen vorlag. Jedentalls folgern die Autoren aus den Meßergebnissen, daß eine phorische Belastung einen Einfluß auf die Qualität des querdisparaten Tiefensehens haben kann, nicht aber haben muß. Sie weisen ferner auf die Möglichkeit des Einflusses einer Fixationsdisparation hin, ohne darüber genauere Untersuchungen anzustellen.

Oberländer [14] hat den Zusammenhang zwischen dem Stereogrenzwinkel und der phorischen Belastung mit Hilfe des Stereo-Eidometers nach Monjé untersucht. Ihre Ergebnisse, die an nur zwei Prüfpersonen – bei diesen allerdings aus sehr vielen Messungen gemittelt – gewonnen wurden, zeigt Abb. 8. Auf der senkrechten Achse des Diagrammes ist nicht der Grenzwinkel selbst, sondern ein am Meßgerät abgelesener Wert angetragen, der sich entsprechend umrechnen läßt. Es fällt auf, daß der Stereogrenzwinkel bei beiden Prüfperso-

nen in der Nähe der Belastung Null am kleinsten ist. Sowohl mit Prismen Basis außen als auch mit Prismen Basis innen steigt er an. Die Autorin sieht die Ursache dafür in einer durch die Prismen hervorgerufenen Aniseikonie, was von unserer Seite nicht recht nachvollziehbar ist.

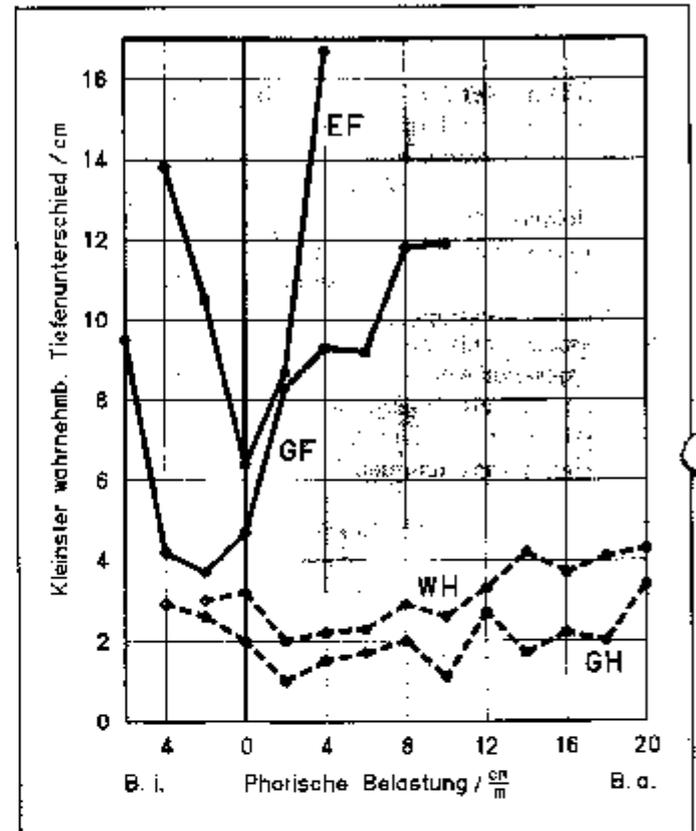


Abb. 7 Zusammenhang zwischen Tiefenunterscheidungsvermögen und phorischer Belastung für vier Versuchspersonen (nach Fry und Kent)

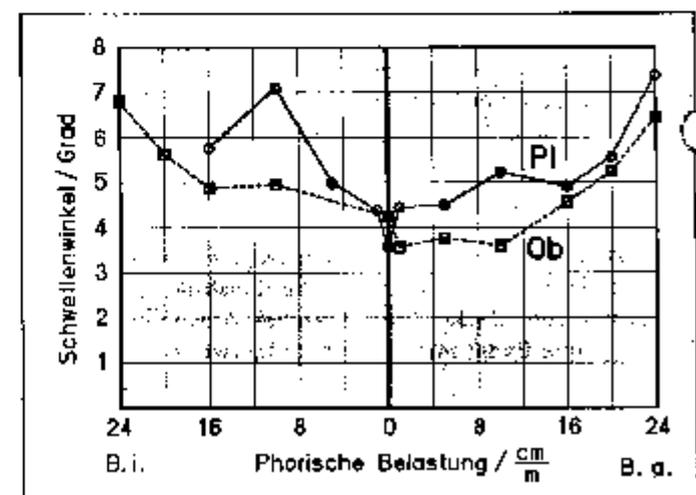


Abb. 8 Stereogrenzwinkel in Abhängigkeit von der phorischen Belastung (nach Oberländer)

In ihrer an der FH Aalen durchgeführten Diplomarbeit hat D. Staub [15] ebenfalls unter anderem den Einfluß einer phorischen Belastung auf die Qualität des querdisparaten Tiefensehens untersucht. Im Gegensatz zu den früheren Untersuchungen wurde dabei jede Prüfperson sorgfältig monokular und binokular vollkorrigiert. Ferner wurde an den Testen des

Polatest-Gerätes die Qualität des Binokularsehens ermittelt. Es sollte damit die Unsicherheit beseitigt werden, die bei solchen Untersuchungen stets darin besteht, daß bei den Prüfpersonen sensorische Anomalien auftreten können, die eine systematische Auswertung der Testergebnisse stark erschweren, wenn nicht sogar unmöglich machen. Als Meßgerät benutzte Staub das Pola-Stereometer nach Haase [16], das sich für den angestrebten Zweck als sehr gut geeignet erwiesen hat. Bei diesem Gerät hat die Versuchsperson einen Slab, der sich in der Medianebene horizontal verschieben läßt, mit den scheinbar im Raum stehenden Bildern des Stereotestes im Polatest-Gerät in eine Ebene zu bringen. Die so eingestellte Tiefe kann an einer Skala abgelesen werden. Macht man diese Einstellung mehrfach (hier zehnmal), so kann aus der Streuung der Einstellwerte (Standardabweichung der eingestellten Tiefen) auf den Stereogrenzwinkel geschlossen werden.

Abb. 9 zeigt die Standardabweichung der eingestellten Tiefen in Abhängigkeit von der phorischen Belastung für vier Prüflinge, von denen nachgewiesen werden konnte, daß sie ein nahezu ideales Binokularsehen besitzen. Dies wird (neben der Tatsache, daß alle Tests im Polatest-Gerät keine Anomalien anzeigen) insbesondere dadurch bewiesen, daß sie im Vergleich zu anderen Prüflingen Tiefen extrem genau (Standardabweichungen $< 1,5$ cm) einstellen können. Eventuell noch vorhandene restliche Heterophorien wurden vor der Messung sorgfältig mit Prismen ausgeglichen.

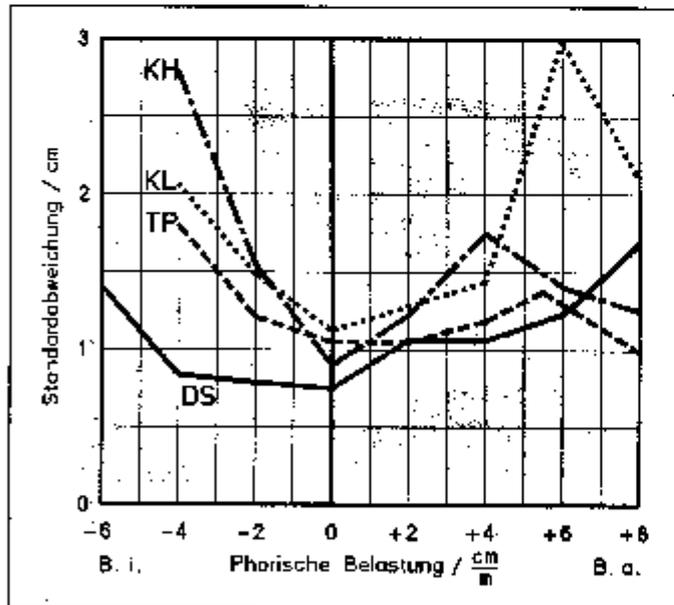


Abb. 9 Standardabweichung in Abhängigkeit von der phorischen Belastung am Pola-Stereometer bei vier Prüflingen mit hochwertigem Binokularsehen (nach Staub)

Bei Betrachtung der Kurven in Abb. 9 fällt folgendes auf:

1. Die Standardabweichung und damit der Stereogrenzwinkel ist bei allen Testpersonen für die phorische Belastung Null am kleinsten.

2. Bei Belastung mit Prismen Basis innen (also bei einer notwendigen Fusionsbewegung nach außen) steigt die Standardabweichung bei allen Testpersonen kontinuierlich an. Für drei Personen ist der Anstieg sogar quantitativ vergleichbar: Die Prüfperson DS zeigt einen flacheren Verlauf der Kurve, was vielleicht dadurch zu erklären ist, daß es sich um

die Autorin selbst handelt, die naturgemäß in der Beobachtung an diesem Gerät besonders geübt ist.

3. Bei Belastung mit Prismen Basis außen (also bei einer notwendigen Fusionsbewegung nach innen) ergeben sich weniger reguläre Verhältnisse. Die Tendenz eines Anstiegs der Standardabweichung ist zwar zu beobachten, dieser erfolgt aber recht unregelmäßig. Testperson KL zeigt bei Belastung mit 6 cm/m Basis außen „Ausreißer“, kann aber bei stärkeren prismatischen Wirkungen wieder genauer einstellen.

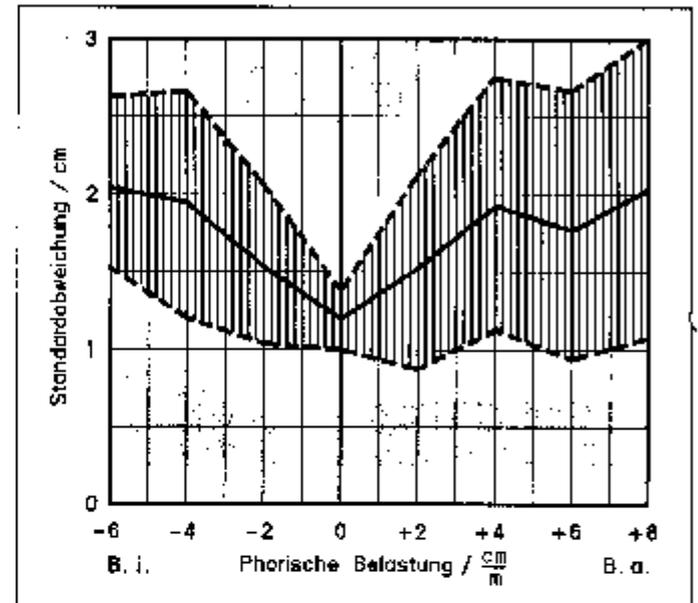


Abb. 10 Mittelwerte und Standardabweichungen der Einstellunsicherheiten am Pola-Stereometer bei sechs Versuchspersonen (nach Staub)

Abb. 10 zeigt eine Mittelwertbildung aus diesen Messungen über sechs Versuchspersonen mit nahezu idealem Binokularsehen. Der schraffierte Bereich gibt die Standardabweichung der Meßunsicherheit (also die Standardabweichung der Standardabweichungen der eingestellten Tiefen) wieder. Es wird wieder deutlich, daß die Einstellunsicherheit bei der phorischen Belastung Null am kleinsten ist und daß dort die Einstellunsicherheiten bei den sechs Prüflingen auch sehr wenig streuen. Sobald man eine phorische Belastung einführt, wird die Einstellunsicherheit größer, also das querdysparate Tiefensehen schlechter. Gleichzeitig wird die Streuung der Einstellunsicherheiten zwischen den einzelnen Versuchspersonen größer, das heißt, die verschiedenen Prüflinge reagieren auf die phorische Belastung verschieden stark.

Bei Belastung mit Prismen Basis innen kann die Zunahme der Einstellunsicherheit recht zwanglos erklärt werden: Die Prismen erzwingen beim orthophoren Prüfling eine unphysiologische Fusion nach außen, die wahrscheinlich sehr bald eine Fixationsdisparation nach sich zieht. Der Vergleich mit Abb. 6 (Fixationsdisparation in Abhängigkeit von der phorischen Belastung nach Ogle und Mitarbeitern) zeigt das sehr deutlich.

Bei Belastung mit Prismen Basis außen ist die Erklärung schwieriger. Abb. 10 zeigt, daß auch dabei im statistischen Mittel die Qualität des querdysparaten Tiefensehens mit steigender Belastung abnimmt. Einzelne Prüflinge (siehe Abb. 9) zeigen diese Abnahme aber nicht oder nur in geringem Maße. Nach den Kurven von Ogle und Mitarbeitern (Abb. 6) kommt es durchaus vor, daß erhebliche phorische Belastungen Basis

außen keine oder nur eine unmerkliche Fixationsdisparation zur Folge haben. Von einigen Autoren wird die Zunahme des Stereogrenzwinkels in diesem Falle denn auch nicht mit der Fixationsdisparation begründet, sondern damit, daß mit der erzwungenen Konvergenz eine Nahakkommodation verknüpft ist. Diese Sorge für unscharfe Netzhautbilder, die die Verringerung der Qualität des querdysparaten Tiefensehens zur Folge haben.

Sicher können solche Messungen nur Indizien dafür liefern, wie die Zusammenhänge wirklich sind. Ihr Ergebnis ist nicht nur von der durch die phorische Belastung verursachten Fixationsdisparation oder eventuell von einer induzierten Nahakkommodation abhängig, sondern auch von einer ganzen Reihe anderer, meist mentaler Faktoren, die sich nicht eindeutig bestimmen, geschweige denn beherrschen lassen. Ferner sagen solche Meßreihen, die ja in recht kurzer Zeit durchgeführt werden, nichts darüber aus, wie das Sehorgan auf längere Zeit andauernde phorische Belastungen, wie sie bei Heterophorien auftreten, reagiert. Der Vergleich der verschiedenen hier dargestellten Untersuchungsergebnisse zeigt aber doch, daß (zunächst einmal beschränkt auf Prüflinge mit hochwertigem Binokularsehen) nur mit der prismatischen Vollkorrektur das bestmögliche querdysparat Tiefensehen erreicht wird.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 5340, Begriffe der physiologischen Optik, Benth-Verlag, Berlin (1986)
 [2] Haase, H. J.: „Zur Fixationsdisparation - eine erweiterte Theorie und praktische Folgerungen. Folge X²“, der Augenoptiker 2 (1982)

- [3] Goersch, H.: „Stereopsis unter phorischer Belastung“, DOZ Jahresband 1982, S. 60
 [4] Sachsenweger, R.: „Experimentelle und klinische Untersuchungen des stereoskopischen Raumes“, Nova acta Leopoldina, 20, Leipzig (1958)
 [5] Haase, H. J.: „Binokulare Korrektur“ (eine Sammlung von zehn Arbeiten aus den Jahren 1957 bis 1978), W. Schrickel-Verlag, Düsseldorf (1980)
 [6] Carter, D. B.: „Studies in Fixation Disparity, Teil III, The apparent unocular Components of Fixation Disparity“, Am. J. Optom., 37, S. 408 (1960)
 [7] Amon, K.: „Messung fovealer Pannubereiche“, Diplomarbeit FH Aalen (1987)
 [8] Vukovich, V. und Schubert, G.: „Fixationsschwankungen und binokulares Einfachsehen“, v. Graefes Arch. Ophthalm., 149, S. 705 (1949)
 [9] Kodzia, B.: „Registrierung von durch eine Sprungfunktion hervorgerufenen Augenbewegungen“, Optometrie (1988), im Druck
 [10] Ogle, K. N., Martens, T. G. und Dyer, J. A.: „Oculomotor Imbalance in Binocular Vision and Fixation Disparity“, Lea & Febinger, Philadelphia (1967)
 [11] Goersch, H.: „Die Grundlagen der Stereopsis“, 32. Sonderdruck der WVAO, S. 219 (1980)
 [12] Cole, R. G. und Boatswain, R. P.: „Effect of Fixation Disparity on Stereovision“, Am. J. Optom., 51, 3, S. 206 (1974)
 [13] Fry, G. A. und Kent, P. R.: „The effects of Base-in, Base-out Prisms on Stereovision“, Am. J. Optom., 21, S. 492 (1944)
 [14] Oberländer, L.: „Über den Einfluß der Heterophorie auf das räumliche Sehen“, Dissertation, Kiel (1949)
 [15] Staub, D.: „Untersuchungen zur Raumwahrnehmung bei künstlich gestörtem Binokularsehen“, Diplomarbeit FH Aalen (1988)
 [16] Haase, H. J.: „Zur Fixationsdisparation, 9. Teil“, Optometria, 3 (1982)

Anschrift des Autors:

Prof. Heinz Diepes, Zeppelinstraße 38, 7080 Aalen