

# Stereopsis unter phorischer Belastung

## Inhalt

1. Einleitung
2. Phorische Belastung und Fixationsdisparation
3. Auswirkungen von Fixationsdisparation auf die Stereopsis
  - 3.1 Relative Tiefenwahrnehmung
  - 3.2 Tiefensehschärfe
  - 3.3 Stereo-Schgleichgewicht
4. Messungen zur Stereopsis unter phorischer Belastung
5. Zusammenfassung
6. Literaturhinweise

## 1. Einleitung

Das Bewußtsein um die Bedeutung der Stereopsis ist seit den ausführlichen Untersuchungen von Sachsenweger [1] ständig gewachsen. Die Fülle der Arbeiten über das Stereosehen ist kaum noch überschaubar. Ungenügende Beachtung findet bisher jedoch die Beeinflussung der Stereopsis durch phorische Belastung der Augen, obwohl deren praktische Bedeutung besonders von H.-J. Haase in seinen Arbeiten über das Binokularsehen [2] aufgezeigt wird.

Genauso wie der Einfluß einer Fehlsichtigkeit auf die Sehschärfe des Auges zur subjektiven Refraktionsbestimmung benutzt wird, kann der eindeutige Einfluß, den eine phorische Belastung der Augen auf dem Wege über eine Fixationsdisparation auf die Stereopsis besitzt, zur Feinbestimmung der Heterophorie dienen. Außerdem ermöglicht die Bestimmung der einzelnen Qualitätskriterien der Stereopsis eine objektivierbare Erfolgskontrolle beim Tragen einer Prismenbrille zur binokularen Vollkorrektur der Augen. Eine Beschreibung der genauen Heterophoriebestimmung mit Hilfe der Stereopsis ginge jedoch weit über den Rahmen dieser Arbeit hinaus. Hier soll lediglich dargestellt werden, wie sich in der Regel eine Heterophorie auf die Stereopsis auswirkt.

## 2. Phorische Belastung und Fixationsdisparation

Eine phorische Belastung liegt für ein Augenpaar immer dann vor, wenn die von den Augen eingenommene Vergenz-Arbeitsstellung nicht ihre Ruhestellung ist. (Zur Erklärung der hier verwendeten Begriffe aus dem Binokularsehen siehe [3a]). Eine phorische Belastung ist also eine motorische Fusionsbelastung; die Augen sind dabei nicht im Muskelgleichgewicht. Da der Übergang von der Vergenz-Ruhestellung in die Arbeitsstellung durch fusionale Vergenz erfolgt, ist diese ein Maß für die vorliegende phorische Belastung. Bei jeder Heterophorie, bei welcher der fusionale Vergenzbedarf ganz oder teilweise durch fusionale Vergenz gedeckt wird, ist demnach eine phorische Belastung vorhanden. Aber auch bei orthophorischen Augen kann dieser Zustand vorkommen, zum Beispiel wenn refraktiv korrigierende Brillengläser binokular nicht korrekt zentriert sind. Dann wird durch die prismatische Nebenwirkung in den Durchblickpunkten der einzelnen Gläser eine binokular-prismatische Wirkung erzeugt und dadurch künstlich eine Heterophorie verursacht („Pseudo-Heterophorie“). Selbstverständlich müssen beide Augen refraktiv vollkorrigiert sein, damit die Kopplung zwischen Akkommodation und Vergenz keine unerwünschte binokulare Nebenwirkung verursacht.

Die zum *sensorisch idealen* Binokularsehen notwendige Arbeitsstellung ist die *Orthostellung*, und diese kann bei natürlicher oder künstlicher Heterophorie eines Augenpaares nur durch fusionale Vergenz erreicht werden. Jede aufrechterhaltene fusionale Vergenz stellt eine motorische Dauerbelastung des Vergenzsystems dar und erfordert eine gewisse Energie. Die Sensomotorik der Augen reagiert auf diese phorische Belastung in der Regel dadurch, daß die Augen von der Orthostellung in Richtung auf ihre

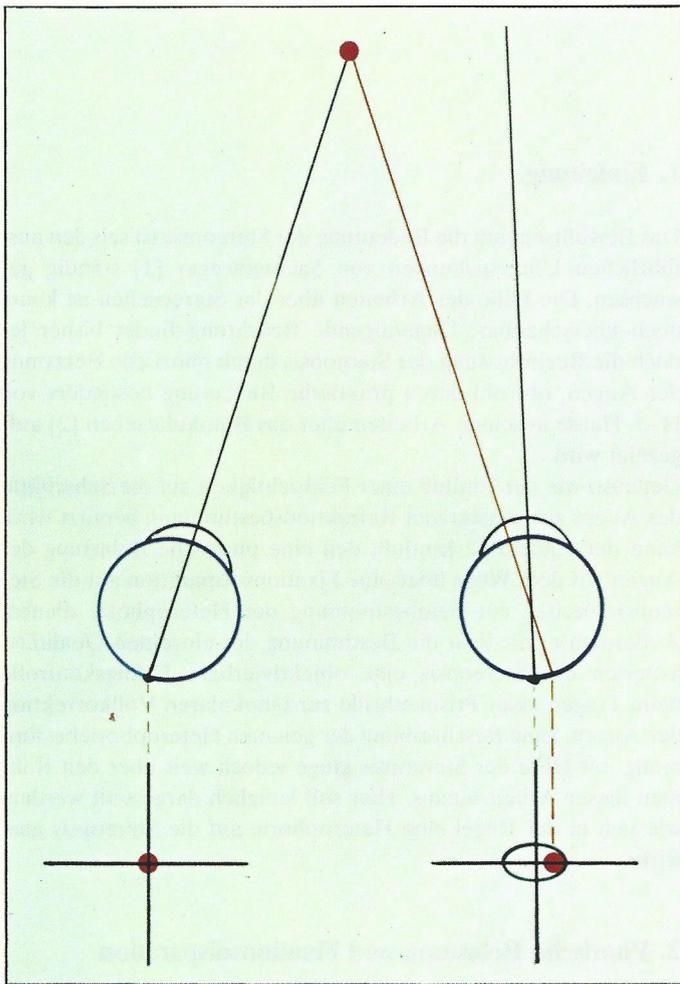


Abb. 1 Vergenz-Arbeitsstellung eines Augenpaares bei Fixationsdisparation. Der binokular dargebotene Fixationspunkt wird im zentralen Panumgebiet disparat abgebildet. (Hier: Exo-Fixationsdisparation)

Ruhestellung hin abweichen. In dieser neuen, nicht mehr idealen Arbeitsstellung wird mit Fixationsdisparation gesehen (Abb. 1). Damit ist ein Teil der statischen motorischen Belastung in eine statische sensorische Abweichung vom Idealzustand übergegangen. Die phorische Belastung hat zu einer Fixationsdisparation geführt. Da es sich bei den natürlichen Heterophorien überwiegend um kleine Ruhstellungsfehler handelt [4], können sie sogar vollständig durch Fixationsdisparation „kompensiert“ werden. In einem solchen Fall ist dann die Arbeitsstellung mit der Ruhestellung identisch, und es bleibt zumindest für das Sehen in die Ferne keine phorische Belastung mehr übrig.

Das Sehen mit Fixationsdisparation ist der Regelfall des normalen Binokularsehens bei einem heterophorischen, prismatisch nicht voll korrigierten Augenpaar. Daraus kann gefolgert werden, daß für das Sehen mit Fixationsdisparation weniger Energie vom Vergenzsystem aufgebracht werden muß als für das Sehen mit einer entsprechenden fusionalen Vergenz. Daß die Entstehung einer Fixationsdisparation auf eine phorische Belastung der Augen zurückzuführen ist, wurde bereits von Ogle et al. aufgezeigt [5].

Ursache einer statischen Fixationsdisparation ist immer die phorische Belastung durch eine Heterophorie!

Es soll besonders betont werden, daß dies selbstverständlich nur für die *statische* Fixationsdisparation gilt und *nicht* auch für die

*dynamische* Fixationsdisparation, die aufgrund des physiologischen Mikro-Nystagmus der Augen auch bei Orthophorie immer vorhanden ist. Diese dynamische, das heißt sich stets ändernde Fixationsdisparation vermindert die Qualität des Binokularsehens nicht, im Gegenteil: sie garantiert überhaupt erst das ständige binokulare Einfachsehen.

### 3. Auswirkungen von Fixationsdisparation auf die Stereopsis

Optimale Stereopsis kann nur dann vorliegen, wenn sich das Augenpaar in der Orthostellung befindet [3 b], wenn also das interessierende Fixationsobjekt in beiden Augen gleichzeitig zentral abgebildet wird. Außer bei Orthophorie ist das nur bei voll motorisch kompensierter Heterophorie der Fall (Abb. 2). Eine voll

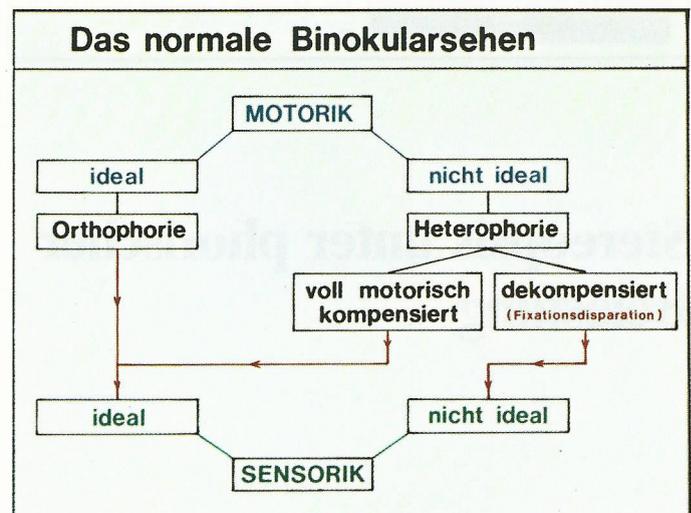


Abb. 2 Zusammenhang von Motorik und Sensorik im normalen Binokularsehen

motorisch kompensierte Heterophorie ist aber bei Erwachsenen selten anzutreffen; meist hat sich aufgrund der phorischen Belastung eine Fixationsdisparation entwickelt. Die Heterophorie ist um den Betrag der Fixationsdisparation motorisch dekompenziert. Die Auswirkung der Fixationsdisparation ist eine meßbare Verschlechterung der stereoskopischen Wahrnehmung.

Fixationsdisparation vermindert immer die Qualität der Stereopsis!

Über einen derartigen Zusammenhang wurde schon von Fry und Kent berichtet [6]. Die Aussage von Ogle et al., Fixationsdisparation wirke sich nicht auf die stereoskopische Tiefenwahrnehmung aus: „fixation disparity has no effect on stereoscopic depth perception“ [7, S. 366] soll offenbar bedeuten, daß Fixationsdisparation nicht zum Verlust der stereoskopischen Wahrnehmung an sich führt. Außerdem meinen frühere Autoren meistens die Fixationsdisparation erster Art („fixation disparity“ im Sinne von Ogle), während die Qualitätsminderungen der Stereopsis überwiegend auf Fixationsdisparation zweiter Art (mit Korrespondenzverschiebung innerhalb des zentralen Panumgebietes) zurückzuführen ist. Bei dieser Fixationsdisparation zweiter Art handelt es sich nicht um eine Mikroanomalie im Sinne von Lang [8]. (Zum Unterschied beider Arten von Fixationsdisparation siehe [2 b] und [3 c]).

Der Einfluß einer phorischen Belastung auf die Stereopsis kommt

also nicht direkt, sondern mittelbar dadurch zustande, daß die phorische Belastung in der Regel zu einer Fixationsdisparation führt. Das Sehen mit Fixationsdisparation ist zwar normal, aber nicht ideal, da keine optimale Stereopsis mehr vorhanden ist. Die Qualität der stereoskopischen Wahrnehmung kann anhand von drei Kriterien ermittelt werden [3 b]. Diese Qualitätskriterien der Stereopsis sind:

1. die relative Tiefenwahrnehmung (Größe und Schnelligkeit),
2. die Tiefensehschärfe und
3. das Stereo-Sehgleichgewicht.

**3.1 Relative Tiefenwahrnehmung**

Da das querdisparate Tiefensehen eine relative Tiefenwahrnehmung zwischen verschiedenen Objekten vermittelt, muß eine bestimmte querdisparate Abbildung eines (Stereo-)Objektes dessen Entfernung vom Fixationsobjekt richtig wahrnehmen lassen. Die wohl zuverlässigste Beurteilung dieses Kriteriums der Stereopsis wird durch eine Messung geliefert, bei welcher die räumliche Wahrnehmung eines virtuellen Stereo-Prüfobjektes vor dem Fixationsobjekt mit Hilfe eines realen Vergleichsobjektes geprüft wird. Die theoretisch wahrzunehmende Tiefe ist dabei

$$\Delta a_v = \frac{a \cdot y_p}{p + y_p}$$

wobei  $a$  die Entfernung zwischen dem Augenpaar und dem Fixa-

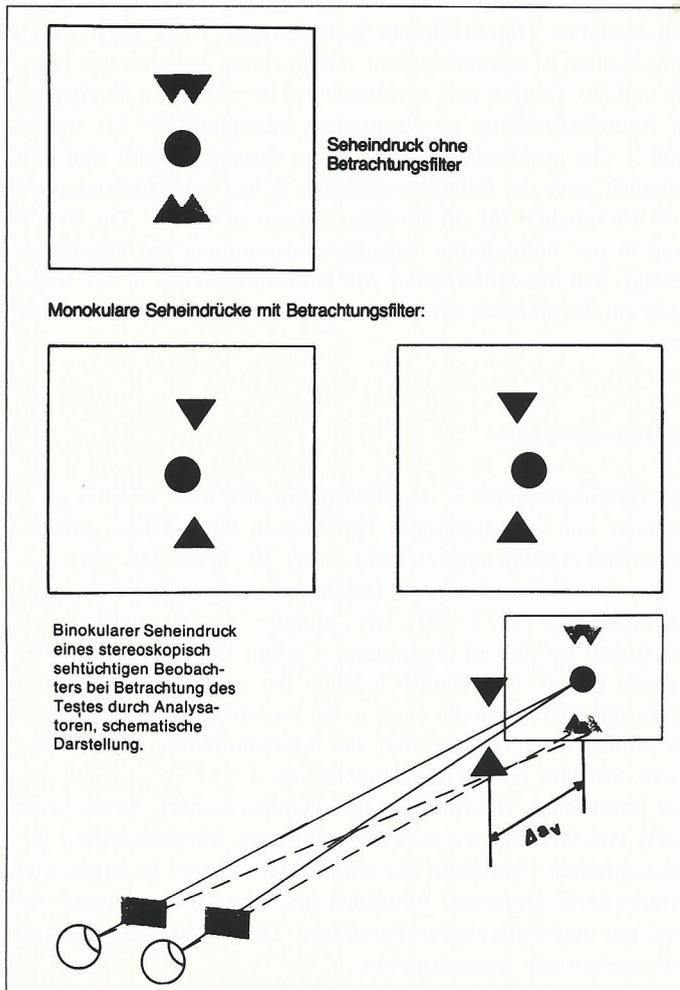


Abb. 3 Stereotest im Sehprüfgerät Polatest (Fa. Carl Zeiss, Oberkochen).  $\Delta a_v$  ist die Tiefe („nach vorn“) zwischen dem Fixationspunkt und den stereoskopisch wahrgenommenen Dreiecken

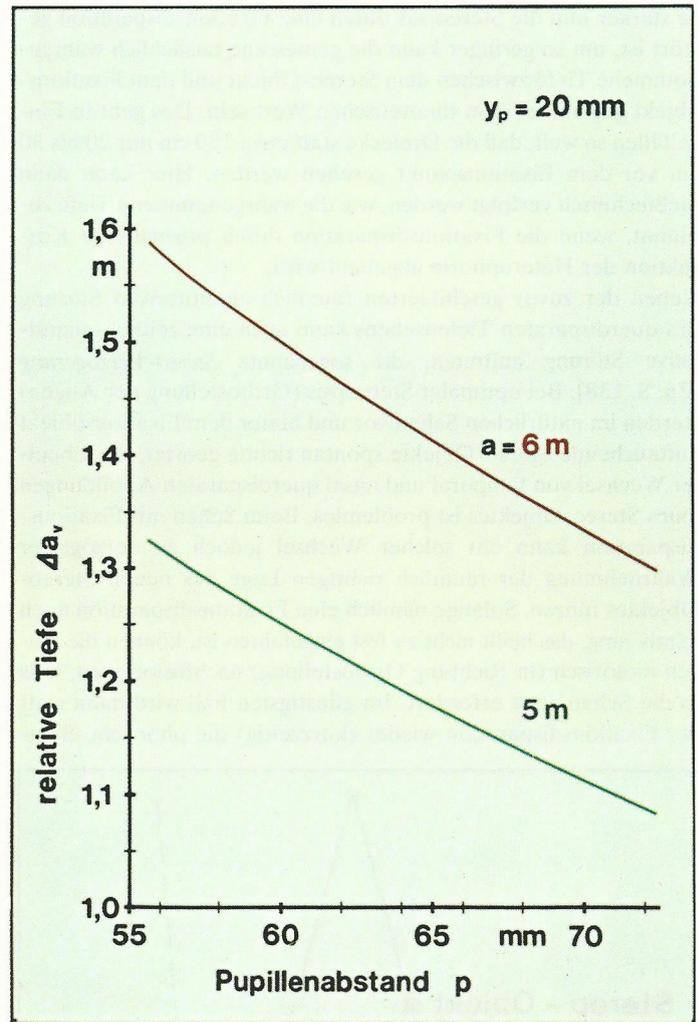


Abb. 4 Theoretische Größe der stereoskopischen relativen Tiefe  $\Delta a_v$  („nach vorn“) zwischen dem Fixationsobjekt und dem Stereo-Objekt bei einer stereoskopischen Parallaxe von  $y_p = 20$  mm in Abhängigkeit vom Pupillenabstand der Augen für die Fixationsentfernungen  $a = 5$  m und  $6$  m

tionsobjekt ist,  $y_p$  die stereoskopische Parallaxe der Testanordnung und  $p$  der Pupillenabstand der Augen.

Als Beispiel für einen Stereotest zeigt Abb. 3 den Dreiecktest aus dem Sehprüfgerät Polatest (Fa. Carl Zeiss, Oberkochen). In Abb. 4 ist die theoretische Tiefe  $\Delta a_v$  für die stereoskopische Parallaxe  $y_p = 20$  mm in Abhängigkeit vom Pupillenabstand des Augenpaares für die beiden Prüfentfernungen  $a = 5$  m und  $6$  m aufgetragen. Bei normaler Stellung der Betrachtungsfilter (temporale Querdisparation: Wahrnehmung des Stereo-Objektes vor dem Fixationsobjekt) und korrekter Einstellung der Augen auf  $6$  m Prüfentfernung müßte also zum Beispiel ein Augenpaar mit einem Pupillenabstand von  $60$  mm die Dreiecke des Testes  $1,50$  m vor der Ebene des Fixationspunktes wahrnehmen. In der Praxis kann die tatsächlich wahrgenommene Tiefe  $\Delta a_v$  dadurch hinreichend genau ermittelt werden, daß ein Zeigestock (als reales Vergleichsobjekt) an diejenige Stelle im Raum gebracht wird, an der das fusionierte Stereo-Prüfobjekt (hier das Dreieck) bei temporaler Querdisparation vor der Ebene des Fixationsobjektes wahrgenommen wird. Eine exakte Messung gestattet das zuerst vor 20 Jahren von H.-J. Haase angegebene Polastereometer [2 a, S. 209], das zusammen mit dem Dreiecktest der reduzierten stereoskopischen Parallaxe  $y_p = 11$  mm benutzt wird. Eine modernisierte Ausführung des Polastereometers wurde von Ringleb beschrieben [9].

Je stärker nun die Stereopsis durch eine Fixationsdisparation gestört ist, um so geringer kann die gemessene tatsächlich wahrgenommene Tiefe zwischen dem Stereo-Objekt und dem Fixationsobjekt gegenüber dem theoretischen Wert sein. Das geht in Einzelfällen so weit, daß die Dreiecke statt etwa 150 cm nur 20 bis 30 cm vor dem Fixationspunkt gesehen werden. Hier kann dann meßtechnisch verfolgt werden, wie die wahrgenommene Tiefe zunimmt, wenn die Fixationsdisparation durch prismatische Korrektur der Heterophorie abgebaut wird.

Neben der zuvor geschilderten räumlich-quantitativen Störung des querdissparaten Tiefensehens kann auch eine zeitlich-quantitative Störung auftreten, die sogenannte *Stereo-Verzögerung* [2 a, S. 138]. Bei optimaler Stereopsis (Orthostellung der Augen) werden im natürlichen Sehen vor und hinter dem Fixationsobjekt auftauchende Stereo-Objekte spontan richtig geortet, ein schneller Wechsel von temporal und nasal querdissparaten Abbildungen eines Stereo-Objektes ist problemlos. Beim Sehen mit Fixationsdisparation kann ein solcher Wechsel jedoch zu verzögerter Wahrnehmung der räumlich richtigen Lage des neuen Stereo-Objektes führen. Solange nämlich eine Fixationsdisparation noch relativ jung, das heißt nicht zu fest eingefahren ist, können die Augen motorisch (in Richtung Orthostellung) nachfusionieren, falls es die Sehaufgabe erfordert. Im günstigsten Fall wird dann statt der Fixationsdisparation wieder (kurzzeitig) die phorische Bela-

stung der motorischen Vollfusion aufgenommen. Dabei scheint sich die Entfernung des Stereo-Objektes vom Fixationsobjekt ständig zu vergrößern, bis die Orthostellung und mit ihr die richtige Sehtiefe zwischen Fixationsobjekt und Stereo-Objekt erreicht ist. Die fusionale Vergenz bei dieser motorischen Nachfusion wird durch die Art der disparaten Bildlage für das Stereo-Objekt ausgelöst (Abb. 5). Die damit verbundene Stereo-Verzögerung kann bis zu einer halben Minute dauern und ergibt sich bei Eso-Fixationsdisparation (als Folge einer Esophorie) für Stereo-Objekte hinter dem Fixationsobjekt (nasale Querdissparation), bei Exo-Fixationsdisparation (als Folge einer Exophorie) für Stereo-Objekte vor dem Fixationsobjekt (temporale Querdissparation) und bei Vertikal-Fixationsdisparation (als Folge einer Höhenphorie) bei jedem Stereo-Objekt. Die Art der Stereo-Verzögerung kann also als Hinweis auf die Richtung der zugrunde liegenden Heterophorie dienen.

Gemessen werden kann die Stereo-Verzögerung in der „Stereo-Wendeprobe“ am Dreieckstest. Durch schnelles Wenden der Betrachtungsfilter wird die Richtung der Querdissparation spontan von temporal in nasal verändert (bzw. umgekehrt) und solange gewartet, bis die scheinbare Vergrößerung des Dreieckabstandes vom Fixationspunkt zu Ende ist. Auch hier kann beim Abbau der Fixationsdisparation durch prismatische Korrektur der Heterophorie eine deutliche Verringerung der Stereo-Verzögerung bis zu ihrem völligen Verschwinden beobachtet werden.

Diese Stereo-Verzögerung bei unkorrigierter Heterophorie mit junger Fixationsdisparation kann eine Gefahr im natürlichen Sehen darstellen. Hierzu schreibt Sachsenweger [1 a, S. 131]: „Auch ohne Zahlen ist es einleuchtend, daß in einem Zeitalter der Technik und des Tempos jede Insuffizienz in der schnellen und genauen Raumbewertung zu Nachteilen mannigfaltiger Art führen muß ... Die praktischen Erfordernisse verlangen somit sehr eindringlich, auch das räumlich-plastische Sehen bei Schielenden soweit wie möglich auf ein normales Niveau zu heben.“ Die Erfahrung in der binokularen Augenglasbestimmung hat inzwischen gezeigt, daß das Stereosehen von Heterophorikern in der Regel sogar auf das *optimale* Niveau gehoben werden kann, wenn prismatisch vollkorrigiert wird.

### 3.2 Tiefenschärfe

Die Tiefenschärfe ist der kleinste Stereowinkel, welcher gerade noch zum querdissparaten Tiefensehen führt. Dieser Stereo-Grenzwinkel sollte nach Heinsius unter 30'' liegen (zit. nach [1 c, S. 10]); von Bishop wird eine Tiefenschärfe bis zu 40'' als normal bezeichnet [10, S. 593]. Bei optimaler Zusammenarbeit beider Augen werden im photopischen Sehen Werte besser als 10'' erreicht [11, S. 88]. Natürlich hängt die gemessene Größe der Tiefenschärfe wie die eines jeden physiologischen Grenzwertes immer auch von der Art der Meßeinrichtung ab (Größe, Form, Struktur des Stereo-Objektes usw.).

Zur praktischen Überprüfung der Tiefenschärfe gibt es eine Reihe von Stereotesten für Ferne und Nähe mit abgestuften stereoskopischen Parallaxen. So enthält der in Abb. 6 dargestellte differenzierte Stereotest fünf frei im Polatest fünf Stereo-Objekte mit unterschiedlichen Parallaxen. Diese sind zusammen mit den zugehörigen Stereowinkeln

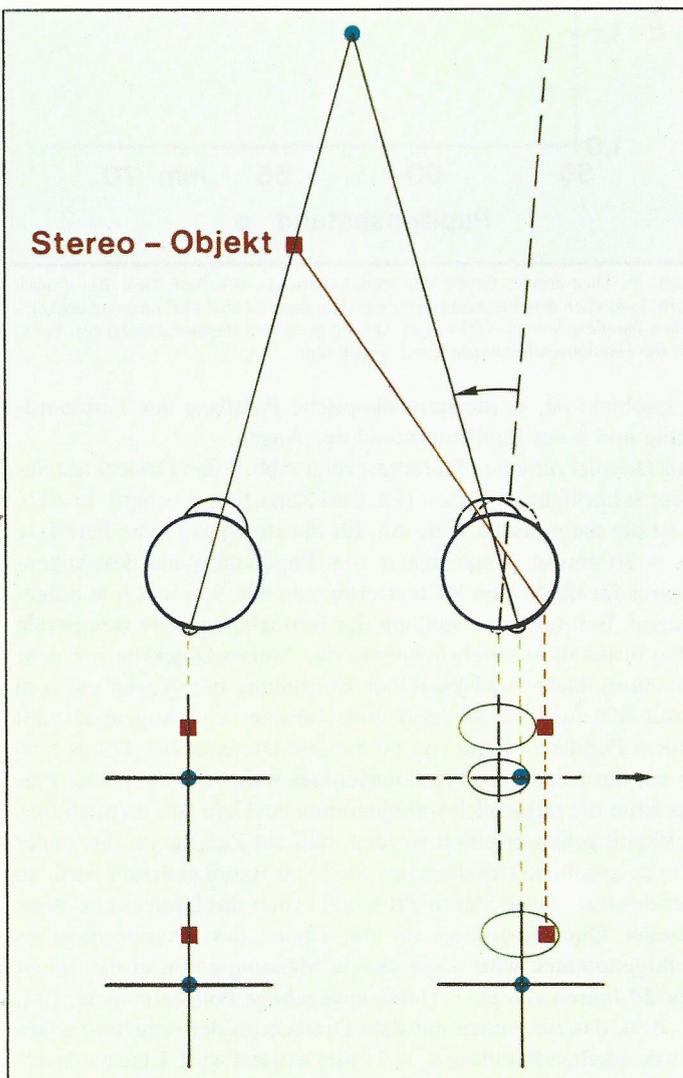


Abb. 5 Motorische Nachfusion zur richtigen Beurteilung der räumlichen Lage eines plötzlich auftauchenden Stereo-Objektes bei junger Exo-Fixationsdisparation

$$\vartheta = \frac{y_p}{a}$$

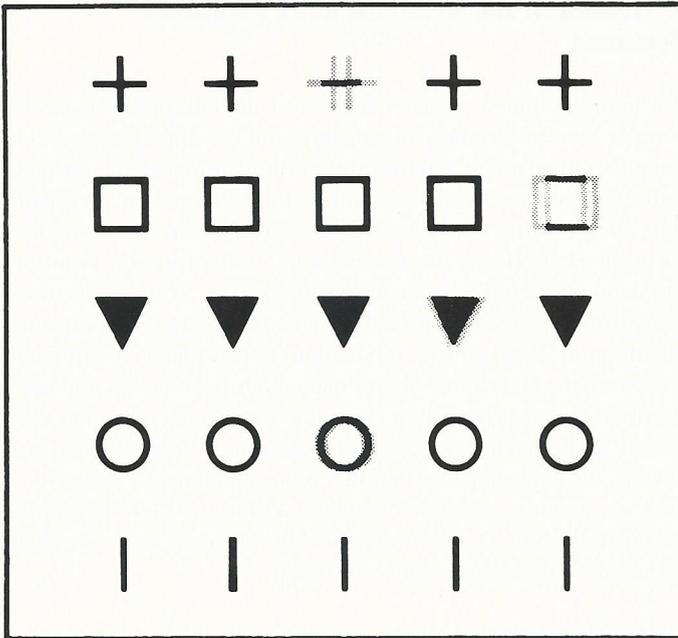


Abb. 6 Differenzierter Stereotest fünfzeilig im Sehprüfgerät Polatest (Fa. Carl Zeiss, Oberkochen)

Reihe	Test-figur	$y_p$ mm	Stereowinkel $\vartheta$ bei		
			$a = 5 \text{ m}$	5,5 m	6 m
1	+	6,4	4' 24"	4'	3' 40"
2	□	4,8	3' 18"	3'	2' 45"
3	▼	3,2	2' 12"	2'	1' 50"
4	○	1,6	1' 6"	1'	55"
5		0,8	33"	30"	27"

Abb. 7 Stereoskopische Parallaxe  $y_p$  und Stereowinkel  $\vartheta$  bei verschiedenen Betrachtungsentfernungen für die polarisierenden Testfiguren im differenzierten Stereotest fünfzeilig des Sehprüfgerätes Polatest (Fa. Carl Zeiss, Oberkochen)

Reihe	Test-figur	$y_p$ mm	Stereowinkel $\vartheta$ bei		
			$a = 33 \text{ cm}$	40 cm	50 cm
1	+	0,93 0,47	9' 41" 4' 54"	8' 4' 2"	6' 24" 3' 14"
2	□	0,34	3' 33"	2' 55"	2' 20"
3	▼	0,24	2' 30"	2' 4"	1' 39"
4	○	0,12	1' 15"	1' 2"	50"
5		0,06	38"	31"	25"

Abb. 8 Stereoskopische Parallaxe  $y_p$  und Stereowinkel  $\vartheta$  bei verschiedenen Betrachtungsentfernungen für die polarisierenden Testfiguren im differenzierten Stereotest fünfzeilig des Nahprüfgerätes (Fa. Carl Zeiss, Oberkochen)

in Abb. 7 für den Ferntest, in Abb. 8 für den Nahtest bei verschiedenen Prüfentfernungen aufgeführt. Diese Prüfmöglichkeit ist für die Praxis ausreichend, da besonders bei Nahtesten durch Vergrößern der Betrachtungsentfernung der Stereowinkel ver-

kleinert werden kann. Eine genaue Messung der Tiefensehschärfe für die Ferne (das heißt in der Optometrie  $a = 6 \text{ m}$ ) ist mit dem bereits erwähnten Polastereometer möglich.

Da die Tiefensehschärfe durch die anatomische Struktur der Netzhäute sowie durch deren binokular-neuronale Verschaltung begrenzt ist, muß sie sich beim Sehen mit Fixationsdisparation verschlechtern. Diese Tatsache kann meßtechnisch nachgewiesen werden [12] und dient sowohl zur Feinbestimmung von Heterophorien als auch zur Erfolgskontrolle getragener Prismenkorrekturen.

### 3.3 Stereo-Sehgleichgewicht

Die Wertigkeit in der Beteiligung beider Augen an der stereoskopischen Wahrnehmung wird nach Sachsenwenger als *Valenz* bezeichnet [1b]. Dominiert ein Auge im Stereosehen, so liegt eine Prävalenz dieses Auges vor, arbeiten beide Augen gleichwertig, dann besteht Äquivalenz (oder Isovalenz). Bei Äquivalenz wird das Stereo-Objekt in der räumlich richtigen Richtung relativ zum Fixationsobjekt wahrgenommen. Herrscht Äquivalenz sowohl für temporal als auch für nasal querdisperate Abbildung von Stereo-Objekten, so befindet sich das Augenpaar im Stereo-Sehgleichgewicht.

Zur praktischen Prüfung der Valenz eines Augenpaares eignet sich hervorragend der in Abwandlung der Meßanordnung von Sachsenwenger [1b, S. 505] durch H.-J. Haase konstruierte Valenztest [2a, S. 223]. Dieser ist als Stereo-Sehgleichgewichtstest im Polatest enthalten (Abb. 9). Der Durchmesser des zentralen

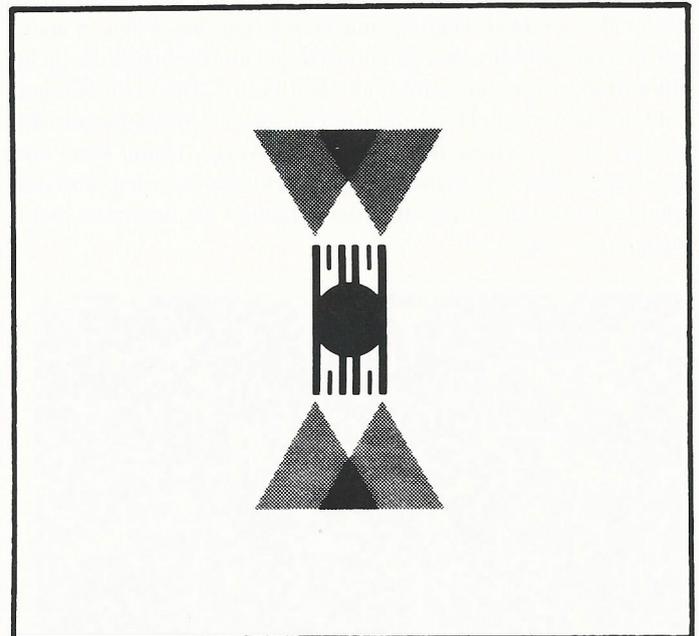


Abb. 9 Valenztest (Stereo-Sehgleichgewichtstest) im Sehprüfgerät Polatest (Fa. Carl Zeiss, Oberkochen)

Fixationspunktes ist hier gegenüber dem normalen Dreieckstest verringert und der stereoskopischen Parallaxe der Dreiecke von 20 mm angeglichen worden. Außerdem ist eine binokular sichtbare Skala vorhanden, die eine grob quantitative Messung der Valenz gestattet. Bei Äquivalenz zeigen die stereoskopisch wahrgenommenen Dreiecke mit ihrer Spitze auf die Mitte zwischen den inneren dicken Skalenstrichen, bei einer Prävalenz von ungefähr 20% auf einen inneren dicken Strich, bei 60% auf einen dünnen Strich und bei 100% Prävalenz eines Auges auf einen

dicken äußeren Strich. Die seitliche Richtung dieser Verschiebung aus der Mitte heraus läßt das prävalierende Auge erkennen. Einzelheiten dazu sind in [2a, Heft 1 (1982) S. 13] beschrieben. Stereo-Sehgleichgewicht kann nur herrschen, wenn die Augen in der Orthostellung vollkommen gleichwertig zusammenarbeiten. Schon in der Orthostellung liefert ungleichwertige Zusammenarbeit der Augen eine Abweichung vom Stereo-Sehgleichgewicht. Erst recht führt jede Fixationsdisparation unweigerlich zur Prävalenz. Liegt eine Störung des Stereo-Sehgleichgewichtes vor, so kann zwar nicht mit Sicherheit auf das Vorhandensein einer Fixationsdisparation geschlossen werden, die praktische Erfahrung in der Binokularkorrektur zeigt jedoch, daß Fixationsdisparation die häufigste Ursache für Abweichungen vom Stereo-Sehgleichgewicht ist. Denn genau wie bei der Stereo-Verzögerung geben Unterschiede in der Valenz bei temporaler und nasaler Querdisparation einen Hinweis auf die Richtung der zugrunde liegenden Heterophorie mit Fixationsdisparation. Verringerung von Prävalenz bis hin zum Erreichen des Stereo-Sehgleichgewichtes zeigt untrüglich die Richtigkeit einer prismatischen Korrektur an. Deshalb nimmt der Valenztest eine Schlüsselstellung zur Feinbestimmung von Heterophorien ein. Mit dem Vollkorrektionsprisma wird Stereo-Sehgleichgewicht erreicht, sofern beide Augen in der Orthostellung (also ohne Fixationsdisparation) gleichwertig zusammenarbeiten.

Sachsenweger stellte aufgrund seiner Meßergebnisse fest, daß „physiologische sensorische Prävalenz“ die Regel sei, nur in Ausnahmefällen gäbe es eine äquivalente Beteiligung beider Augen am Stereosehen [1 c, S. 22]. Die inzwischen mit der binokularen Methodik nach H.-J. Haase gemachten Erfahrungen zeigen aber, daß die von Sachsenweger genannte Regel nur für binokular nicht voll korrigierte Augenpaare Gültigkeit besitzt. Bei prismatischer Vollkorrektur von Heterophorien ist Stereo-Sehgleichgewicht häufiger als eine (Rest-)Prävalenz eines Auges. Damit kann aus den Ergebnissen von Sachsenweger geschlossen werden, daß das Sehen mit Fixationsdisparation der Regelfall bei binokular nicht korrigierten Augen ist.

## 4. Messungen zur Stereopsis unter phorischer Belastung

Um herauszufinden, welcher Stereotest die empfindliche Reaktion der Stereopsis eines Augenpaares auf durch phorische Belastung hervorgerufene Fixationsdisparation am sichersten anzeigt, wurde bei einigen Versuchspersonen folgendermaßen vorgegangen. Zuerst wurde mit Hilfe der binokularen Korrekturmethode nach H.-J. Haase die prismatische Vollkorrektur ermittelt und dadurch Stereo-Sehgleichgewicht erreicht. Vom Vollkorrektionsprisma ausgehend wurde dann eine phorische Belastung aufgebaut, und zwar sowohl in beiden horizontalen Richtungen (exophorische Belastung durch Prismen mit Basis außen und esophorische durch Prismen mit Basis innen) als auch in beiden vertikalen Richtungen. Die jeweilige Belastung wurde so lange gesteigert, bis eine subjektiv deutlich wahrnehmbare Verschlechterung des gerade getesteten Qualitätskriteriums der Stereopsis eintrat. Folgende Tests wurden sowohl mit temporaler als auch mit nasaler Querdisparation verwendet.

### Nur für die Ferne:

1. Der Random-Dot-Test im Humphrey Vision Analyser (Abb. 10). Dieser enthält ein Dreieck mit einem Stereowinkel von  $1'30''$  für  $a = 6$  m.

### Für Ferne und Nähe:

2. Der Stereo-Sehgleichgewichtstest im Polatest (Abb. 9).
3. Der differenzierte Stereotest fünfzeilig im Polatest (Abb. 6).

### Nur für die Nähe:

4. Der TNO Random-Dot-Test (Abb. 11). Dieser arbeitet mit Anaglyphentrennung; es muß die Richtung eines fehlenden Sektors („Tortenstück“) aus einem stereoskopisch wahrzunehmenden Kreis erkannt werden (Abb. 12). In  $a = 40$  cm beträgt der kleinste Stereowinkel  $15''$ .
5. Der AOC Ringtest (Abb. 13). In  $a = 40$  cm beträgt der kleinste Stereowinkel  $12''$ .

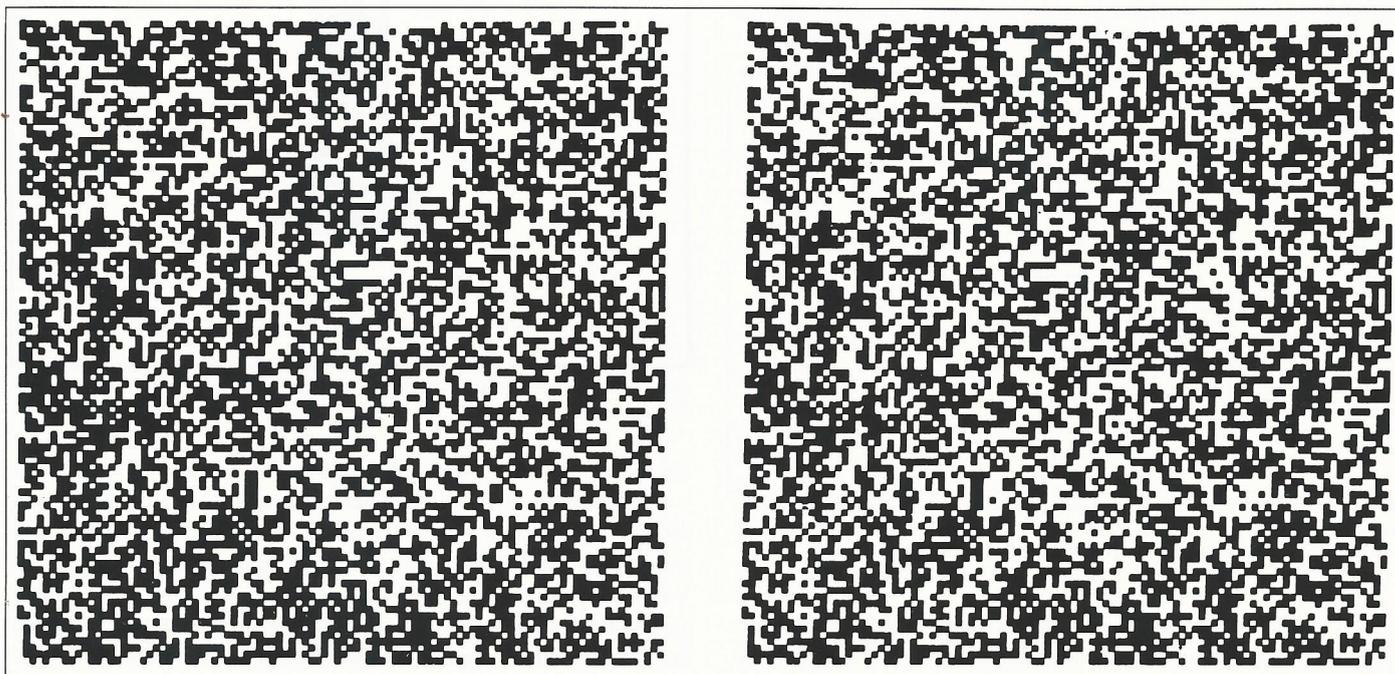


Abb. 10 Beispiel eines Random-Dot-Stereotestes mit räumlich wahrzunehmendem Quadrat. Im Random-Dot-Stereotest des Humphrey Vision Analyser ist ein

räumlich wahrzunehmendes Dreieck enthalten mit einem Stereowinkel von  $90''$  bei einer Prüftfernung von 6 m

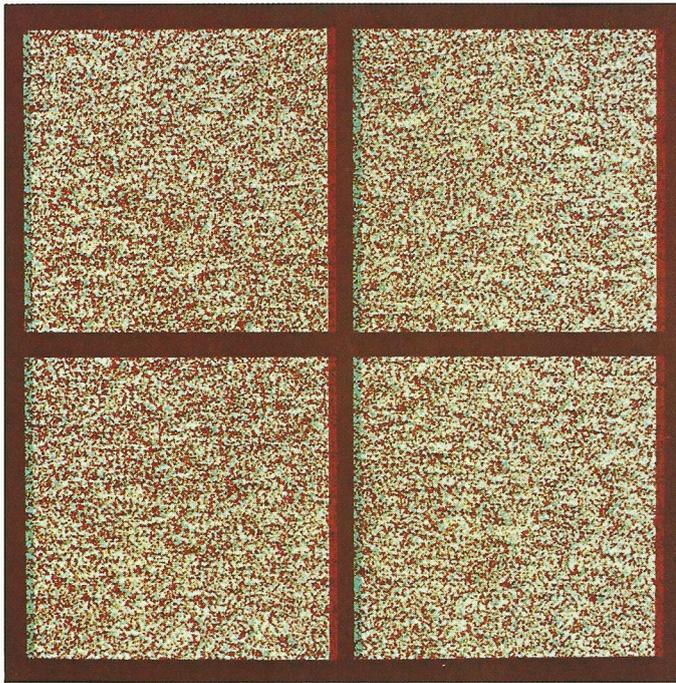


Abb. 11 TNO Random-Dot-Stereotest für Anaglyphentrennung (Fa. Laméris Instrumenten, Utrecht). Siehe auch Abb. 12

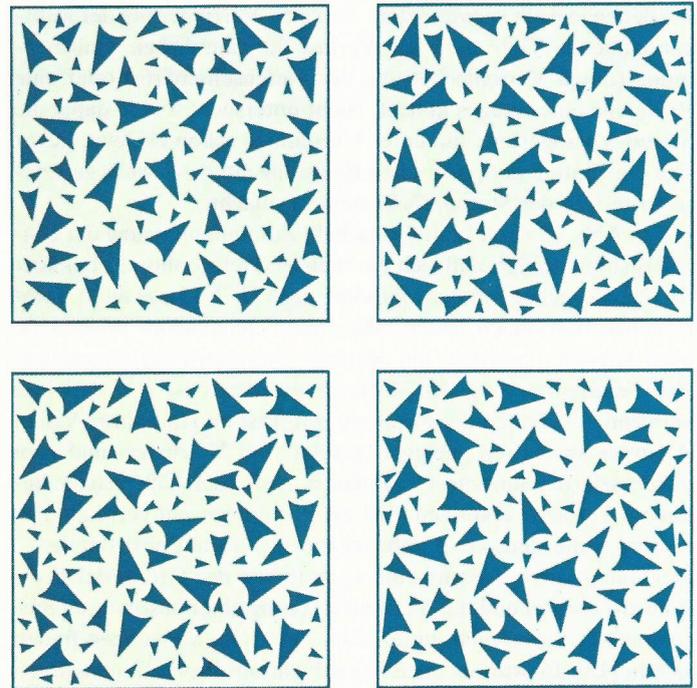


Abb. 14 Frisby Stereotest (Fa. Clement Clarke International Ltd., London). Beschreibung im Text

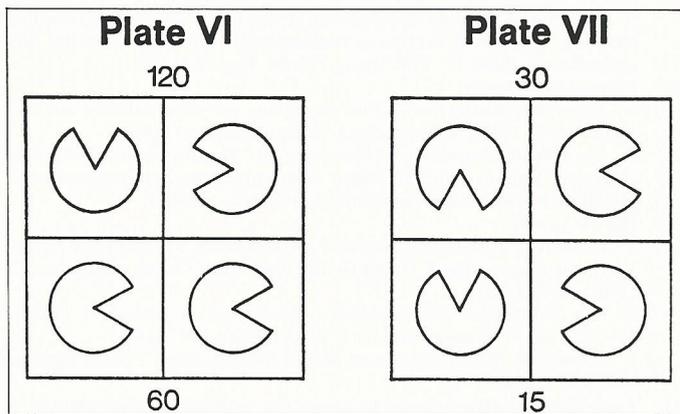


Abb. 12 Die stereoskopisch wahrzunehmenden Figuren im TNO Random-Dot-Test. Die Stereowinkel liegen zwischen 120° und 15° bei einer Prüfentfernung von 40 cm (Abb. 11 stellt Plate VI dar)

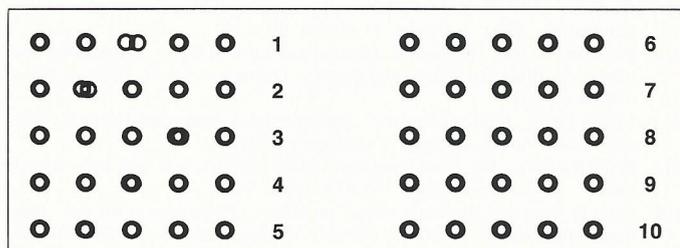


Abb. 13 AOC Ringtest für Polarisierungstrennung. Die Stereowinkel liegen zwischen 600° und 12° bei einer Prüfentfernung von 40 cm

6. Der Frisby Sterotest (Abb. 14). Bei diesem Test ist keine binokulare Trennung erforderlich. Das in Abb. 14 gezeigte Muster ist auf die Vorderseite einer dünnen Plexiglasplatte aufgedruckt, wobei sich in einem der Quadrate eine kreisförmige Aussparung befindet, in welcher das Muster von der Rückseite aufgedruckt ist. Dieses muß herausgefunden werden. In  $a = 40$  cm ist der kleinste (hier vom Pupillenabstand abhängige) Stereowinkel ungefähr 55°.

Während am Humphrey Vision Analyser die phorische Belastung

Test	Empfindlichkeit in cm/m bei	
	Orthophorie	Heterophorie
HVA	vert.: 0,12 - 0,25 horiz.: 0,25 - 0,37	0,25 - 0,75 0,25 - 2,0
V	0,5	0,5 - 1,0 0,5 - 4,0
diff.5	0,5	0,5 - 2,0 0,5 - 4,0
TNO	0,5	0,5 - 3,0
AOC Ringe	0,5	0,5 - 3,0 0,5 - 4,5
Frisby	0,5	1,0 - 2,0 0,5 - 5,0

Abb. 15 Überblick über die phorischen Belastungen, die bei Orthophorie und bei vollkorrigierter Heterophorie eine Verschlechterung der Stereopsis lieferten.

HVA: Random-Dot-Test im Humphrey Vision Analyser (Abb. 10)

V: Valenztest im Polatest (Abb. 9)

diff. 5: differenzierter Stereotest fünfzeilig im Polatest (Abb. 6)

TNO: Random-Dot-Test (Abb. 11 und 12)

AOC Ringe: Stereotest (Abb. 13)

Frisby: Stereotest (Abb. 14)

Weitere Einzelheiten im Text

kontinuierlich gesteigert wurde (mit Anzeige in Stufen von 0,12 cm/m), erfolgte an allen anderen Testen die Steigerung in Stufen von 0,5 cm/m. Das Ergebnis aller Messungen ist in Abb. 15 zusammengefaßt. Die erste Spalte gibt den verwendeten Test an, die beiden anderen Spalten die phorischen Belastungen, bei denen von natürlich orthophorischen Personen und von Personen mit vollkorrigierter Heterophorie („künstlich orthophorisch“) eine Verschlechterung der Stereopsis bezüglich des jeweils gerade getesteten Qualitätskriteriums bemerkt wurde. Dabei enthält jede Zeile den kleinsten und größten Grenzwert (zum Beispiel 0,5–2,0 cm/m) aus den jeweils 8 oder 16 Messungen, die für Ferne/Nähe bei temporaler und nasaler Querdisparation und den vier Richtungen der phorischen Belastung durchgeführt wurden. Innerhalb dieser Grenzen lagen alle Werte der Einzelmessungen,

bei denen je nach verwendetem Test eine Verringerung der wahrgenommenen Tiefe oder der Verlust der räumlichen Wahrnehmung (durch Verschlechterung der Tiefensehschärfe) oder eine Prävalenz eines Auges auftrat. Nicht untersucht wurde dabei die Stereo-Verzögerung, die unter Umständen schon einsetzt, bevor sich ein Einfluß der phorischen Belastung auf das jeweils getestete Kriterium der Stereopsis bemerkbar macht.

Die in Abb. 15 dargestellte pauschale Zusammenfassung der Einzelergebnisse zeigt, daß sich die meisten Heterophorien bei korrektem Vorgehen mit der Methodik nach H.-J. Haase auf 0,5 cm/m genau bestimmen lassen. Mit dieser Genauigkeit müssen sie auch korrigiert werden, um optimale Stereopsis sicherzustellen. Zur Feinbestimmung des Korrektionsprismas ist von den hier verwendeten Testen der Random-Dot-Test im Humphrey Vision Analyser am besten geeignet, gefolgt vom Valenztest und vom differenzierten Stereotest im Polatest. Außerdem läßt sich die bekannte Tatsache erkennen, daß ein Augenpaar auf vertikale Belastungen meistens empfindlicher reagiert als auf horizontale.

Der quantitative Zusammenhang zwischen der Größe der Fixationsdisparation und der Verschlechterung einer bestimmten Stereoqualität wurde nicht untersucht. Derartige Messungen finden sich in [13]. Es wurden auch keine Fixationsdisparations-Kurven nach Ogle aufgenommen. Die durchgeführten Versuche sollten lediglich zeigen, welche bei der routinemäßigen Augenglasbestimmung zur Verfügung stehenden Stereoteste am besten zur Feinbestimmung des Korrektionsprismas geeignet sind. Die Tatsache, daß durch prismatische Vollkorrektur von Heterophorien im Regelfall Stereo-Sehgleichgewicht (wieder) herstellbar ist, kann als erneuter Beweis dafür gewertet werden, daß die Fixationsdisparation eine „reversible sensorische Verschiebung darstellt, im Gegensatz zur Mikroanomalie als irreversibler sensorischer Verknüpfung primär nicht korrespondierender Netzhautstellen“ [14]. Insgesamt bestätigen die meßtechnischen Erfahrungen die Richtigkeit der Aussage von Trendelenburg [15, S. 343]:

„Das Augenpaar ist ein Gespann, dessen Leistung nur dann vollkommen sein kann, wenn beide Partner genau gleichwertig sind.“

## 5. Zusammenfassung

\* Fixationsdisparation ist die physiologische Antwort auf eine phorische Belastung eines Augenpaares. Die Auswirkung von Fixationsdisparation auf das Stereosehen wird beschrieben. Dabei werden die drei Qualitätskriterien der Stereopsis, nämlich relative Tiefenwahrnehmung, Tiefensehschärfe und Stereo-Sehgleichgewicht gesondert erörtert und Möglichkeiten ihrer Messung bei der praktischen Augenglasbestimmung aufgezeigt.

Bei einigen Versuchspersonen wurde der Einfluß von phorischer Belastung insbesondere auf Stereo-Sehgleichgewicht und Tiefensehschärfe meßtechnisch untersucht. Dabei zeigte sich, daß die meisten Heterophorien anhand dieser Stereoqualitäten mit der Methodik von H.-J. Haase auf 0,5 cm/m genau bestimmt werden können. Am empfindlichsten reagieren der Random-Dot-Stereotest im Humphrey Vision Analyser sowie der Stereo-Sehgleichgewichtstest und der differenzierte Stereotest im Polatest bei phorischer Belastung der Augen.

Die Tatsache, daß durch prismatische Vollkorrektur von Heterophorien im Regelfall Stereo-Sehgleichgewicht (wieder) herstellbar ist, zeigt erneut den reversiblen Charakter von Fixationsdisparation im Gegensatz zum Mikrostrabismus.

## 5. Summary

Fixation disparity is the physiological answer to phoric strain of the eyes. It is described in respect to its influence on stereoscopic vision. The three stereoscopic qualities relative depth perception, stereo-acuity and stereo-balance are discussed and possibilities of their measurement with routine eye examination are shown.

The influence of phoric strain especially on stereo-balance and stereo-acuity was examined with some test persons. The results showed that with the aid of these stereoscopic qualities most heterophorias can be determined with an accuracy of 0.5<sup>A</sup> using the method of H.-J. Haase. The most sensitive reactions on phoric strain are perceived with the random-dot-stereotest in the Humphrey Vision Analyser as well as with the stereo-balance test and the differentiated stereotest in the Polatest.

Under prismatic full correction of heterophoria the eyes as a rule (re)gain stereo-balance. This fact shows again the reversible character of fixation disparity in contrast to microtropia.

### Literaturhinweise

- [1] Rudolf Sachsenweger:
  - a. „Experimentelle und klinische Untersuchungen des stereoskopischen Raumes“; Nova Acta Leopoldina, Band 20, Nr. 136, Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig (1958)
  - b. „Sensorische Fusion und Schielen“; v. Graefes Arch. Ophthalm. 159 (1958), 502–528
  - c. „Die Anomalien des stereoskopischen Sehens bei Schielenden und ihre Behandlung“; Sammlung zwangloser Abhandlungen aus dem Gebiete der Augenheilkunde, Band 19, VEB Georg Thieme, Leipzig (1959)
- [2] Hans-Joachim Haase:
  - a. „Binokulare Korrektur“; (Eine Sammlung von zehn Arbeiten aus den Jahren 1957–1978), Willy Schrickel Verlag, Düsseldorf (1980)
  - b. „Zur Fixationsdisparation“; (Eine erweiterte Theorie und praktische Folgerungen), Serie in bisher 12 Folgen (wird fortgesetzt), der Augenoptiker 3 (1980) bis 8 (1982) sowie Optometrie 3 (1980) bis 3 (1982)
- [3] Helmut Goersch:
  - a. „Einführung in das Binokularesehen“; Serie in bisher 5 Folgen (wird fortgesetzt), der Augenoptiker 7 (1980) bis 10 (1981) sowie Oculus (Amsterdam) 3 (1981) bis 7 (1982)
  - b. „Die Grundlagen der Stereopsis“; Neues Optiker-Journal 11 (1980), 17–23 sowie 32. Sonderdruck der WVAO (1980), 219–227
  - c. „Sensorische Abweichungen vom idealen Binokularesehen“; Neues Optiker-Journal 2 (1979), 7–13
- [4] Kurt Günther: „Heterophorien im Spiegel der Statistik“; der Augenoptiker 12 (1980), 8–15 sowie 31. Sonderdruck der WVAO (1980), 39–51
- [5] Kenneth N. Ogle, Frances Mussey und Avery de H. Prangen: „Fixation disparity and the fusional processes in binocular single vision“; Amer. J. Ophthalm. 32 (1949), 1069–1087
- [6] G. A. Fry and P. R. Kent: „The effects of base-in and base-out prisms on stereo-acuity“; Amer. J. Optom. 21 (1944), 492–507
- [7] Kenneth N. Ogle, Theodore G. Martens und John A. Dyer: „Oculomotor Imbalance in Binocular Vision and Fixation Disparity“; Lea & Febiger, Philadelphia (1967)
- [8] Joseph Lang: „Mikrostrabismus“; Bücherei des Augenarztes, Heft 62, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 2. Auflage (1982)
- [9] Peter Ringleb: „Die Ermittlung der Tiefensehschärfe mit dem Pola-Stereometer“; 32. Sonderdruck der WVAO (1980), 229–234
- [10] Peter O. Bishop: „Binocular vision“ in Adler's „Physiology of the eye“ (Clinical Application), The C. V. Mosby Company, Saint Louis, Seventh Ed. (1981)
- [11] „Handbuch für Augenoptik“; Herausgeb. Carl Zeiss, Oberkochen (1977)
- [12] M. M. Parks: „Stereoacuity as an Indicator of Bifixation“; Intern. Strabismus Symp. Gießen 1966, S. Karger, Basel (1968), 258–260
- [13] Roy Gordon Cole und Richard P. Boisvert: „Effect of fixation disparity on stereo-acuity“; Amer. J. Optom. and Physiol. Opt. 51 (1974), 206–213
- [14] M. Monjé, H. Stingl und W. de Decker: „Fixationsdisparität bei peripherem und zentralem Binokularesehen unter phorischer Belastung“; A. v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthalm. 194 (1975), 95–107
- [15] Wilhelm Trendelenburg: „Der Gesichtssinn“; Springer-Verlag, Berlin (1961)

Anschrift des Autors:

Dr. Helmut Goersch, Westhofener Weg 30, D-1000 Berlin 38