

Die Grundlagen der Stereopsis^{*)}

Von Dr. Helmut Goersch

A. Einleitung

Bekanntlich stellt die Stereopsis die höchste Stufe des Binokularsehens dar. Ist diese Stufe erreicht, dann ist das Binokularsehen in der Regel normal. Deshalb enthalten „screening tests“ für Reihenmessungen einen Stereotest zur groben Überprüfung der Binokularfunktion der Augen. Bestätigt ein grober Stereotest das Vorhandensein von Stereopsis, so ist damit jedoch nur gezeigt, daß das querdisparate Tiefsehen funktioniert. Wie gut es funktioniert und wie gleichmäßig beide Augen daran beteiligt sind, darüber können erst weitere verfeinerte Messungen Aufschluß geben. Diese feineren Messungen untersuchen die wesentlichen Qualitätskriterien der Stereopsis, welche mit den stereoskopischen Grundbegriffen in diesem Vortrag erläutert werden sollen.

B. Grundbegriffe der Stereopsis

1. Voraussetzung für eine ideale Stereopsis

Da das Stereosehen durch kleine Unterschiede in den Netzhautbildern beider Augen zustande kommt, ist eine richtige Augenstellung die unabdingbare Voraussetzung für bestmögliche Stereopsis. Diese Voraussetzung ist erfüllt, wenn sich die Augen in der „Vergenz-Orthostellung“ befinden. Hierbei bilden die Fixierlinien beider Augen einen solchen Winkel miteinander, daß der binokular fixierte Objektpunkt gleichzeitig in beiden Netzhautgrubenmitten abgebildet wird. Bei unendlich fernem Objekt müssen die Fixierlinien dazu parallel stehen, bei nahem Objekt ist die richtige Vergenzstellung durch die Entfernung des Fixationspunktes und den Pupillenabstand gegeben. Abb. 1 zeigt diese Zusammenhänge. Selbstverständlich ergibt sich eine andere Orthostellung

cc, wenn die Durchblickpunkte in den Gläsern eines Brillenträgers eine binokular prismatische Wirkung enthalten [1].

Das in Abb. 1 dargestellte „bifoveoläre Sehen“ läßt jedoch noch keinen Rückschluß darauf zu, ob die Augen dabei auch im Muskelgleichgewicht sind. Abb. 2 zeigt, daß sowohl Orthophorie als auch voll motorisch kompensierte Heterophorie zu dieser Orthostellung der Augen führt, durch welche die Voraussetzung für eine ideale Sensorik und damit eine ideale Stereopsis geschaffen wird [2]. Bei Abweichungen der Vergenzstellung von der Orthostellung ist keine ideale Stereopsis mehr möglich. Deshalb kann die Qualität der Stereopsis wertvolle Hinweise auf den Zustand des Binokularsehens geben.

2. Korrespondierende und disparate Netzhautbilder

Befindet sich ein Augenpaar in der Orthostellung, dann werden außer dem Fixationspunkt auch alle anderen auf dem Horopter liegenden Objektpunkte auf solchen Netzhautstellen beider Augen abgebildet, die einen jeweils gleichen Richtungswert besitzen [3]. Die zu diesen „korrespondierenden Netzhautbildern“ gehörigen Seheindrücke beider Augen werden ohne weiteres sensorisch fusioniert. Alle nicht auf dem Horopter liegenden Objektpunkte führen zu „disparaten Netzhautbildern“, bei denen die Bildorte in beiden Augen unterschiedliche Richtungswerte besitzen. Sind die Unterschiede nicht zu groß, so werden die zugehörigen Seheindrücke trotz disparater Lage der Netzhautbilder sensorisch fusioniert. Dieses „Panumsehen“ ist in Abb. 3 symbolisch dargestellt.

Eine Disparation in Richtung der Verbindungslinie beider Augen heißt „Querdisparation“, und die sensorische Fusion der querdisparat abgebildeten Objektpunkte führt

^{*)} Vortrag, gehalten anlässlich des 32. Jahreskongresses der WVAO am 14. Mai 1980 in Köln.

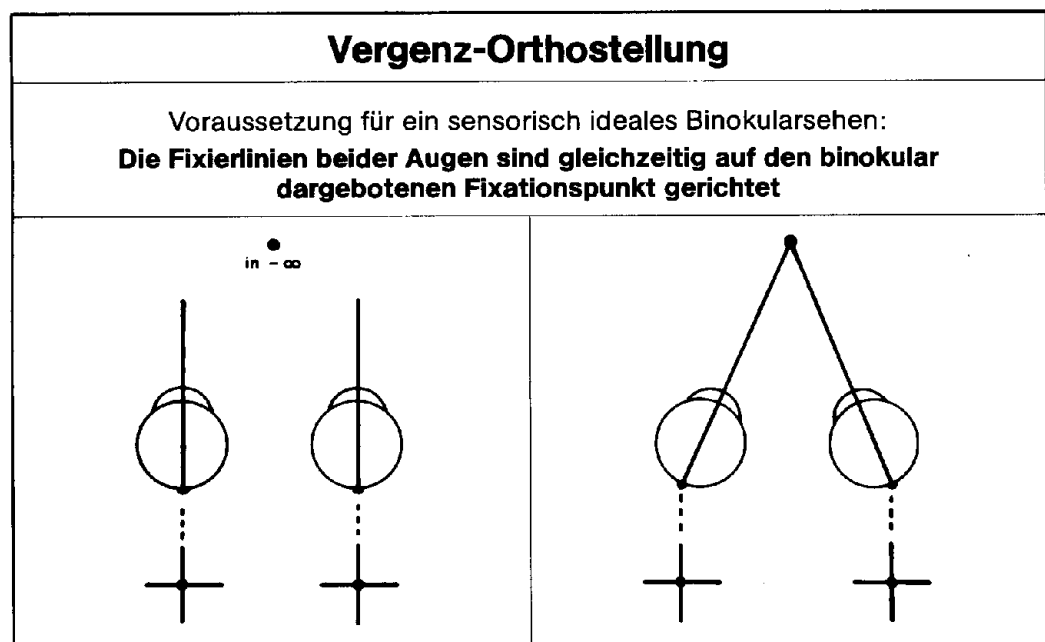


Abb. 1:
Vergenz-Orthostellung bei unendlich fernem und bei nahem Objekt.

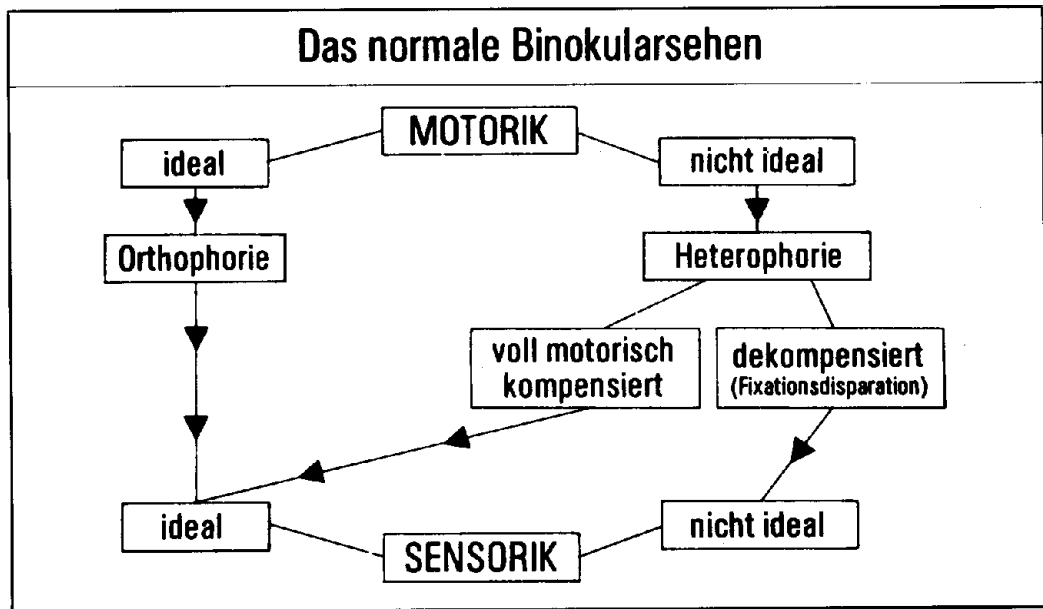


Abb. 2:
Motorik und Sensorik im normalen Binokularesehen.

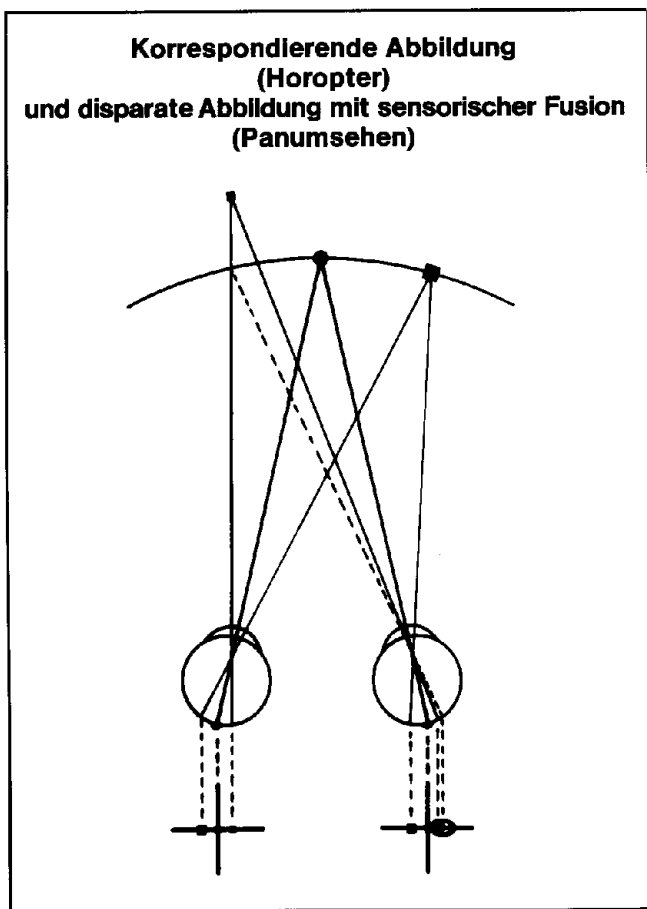


Abb. 3: Schematische Darstellung des Panumsehens.

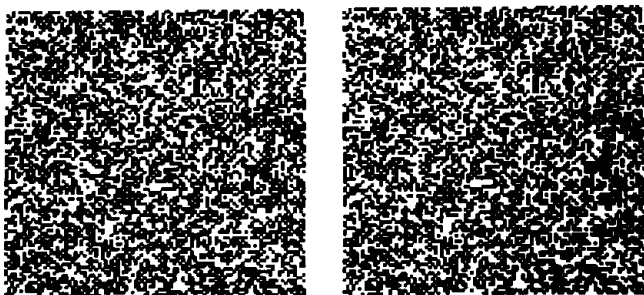


Abb. 4: Beispiel für ein Random-Dot-Stereogramm (nach B. Julesz „The Foundations of Cyclopean Perception“, University of Chicago Press, 1971).

zu deren binokular räumlicher Wahrnehmung. Voraussetzung für jegliche Stereopsis ist also ein funktionierendes Panumsehen. Daß allein die Tatsache querdisparater Netzhautbilder für das Stereosehen verantwortlich ist, zeigt sich bei Betrachtung sogenannter „Random-Dot-Stereogramme“. In Abb. 4 ist ein solches Beispiel dargestellt, bei dem ohne disparate Netzhautbilder keine Figur in dem Punktmuster zu erkennen ist. Erst wenn gleichzeitig jedes Auge nur je eine der beiden Objektvorlagen sehen kann, tritt aufgrund ihrer winzigen Unterschiede und der dadurch verursachten querdisparaten Netzhautbilder eine räumliche Figur aus diesem Zufalls-Punktmuster heraus.

3. Stereowinkel und stereoskopische Parallaxe

Die Größe der Querdisparation ist gegeben durch die Entfernung des disparaten Bildortes in einem der Augen von demjenigen Netzhautort dieses Auges, der zu dem Bildort im anderen Auge korrespondierend liegt. Diese Strecke kann direkt gemessen werden. Ein Maß dafür ist jedoch der Winkel, den diejenigen beiden bildseitigen Knotenpunktstrahlen miteinander bilden, welche die Disparationsstrecke einschließen. Abb. 5 zeigt diesen „Stereowinkel“ ϑ am Beispiel eines Stereo-Objektes, welches in Richtung der Fixierlinie des einen Auges liegt. Die zwischen den zugehörigen objektseitigen Knotenpunktstrahlen parallel zur Verbindungslinie beider Augen liegende Strecke heißt „stereoskopische Parallaxe“ y_p . Diese stereoskopische (oder binokulare) Parallaxe entspricht der Disparation und wird meist in der Entfernung des Fixationspunktes gemessen. Bei ebenen Objektvorlagen zur Prüfung auf Stereopsis wird die stereoskopische Parallaxe stets in der Objektebene gemessen.

In einem DIN-Entwurf zu Begriffen der physiologischen Optik [4] wird der Stereowinkel als derjenige Knotenpunktswinkel definiert, unter dem die stereoskopische Parallaxe von einem hypothetischen Mittelaug aus erscheint (Zykloopenauge).

4. Größenbereich des Stereowinkels

Für die zur binokularen Raumwahrnehmung führende Querdisparation und damit für den Stereowinkel gibt es einen größten und einen kleinsten Wert. Zwischen diesen individuell unterschiedlichen Werten liegt der Bereich des stereoskopischen Sehens. Über den größten

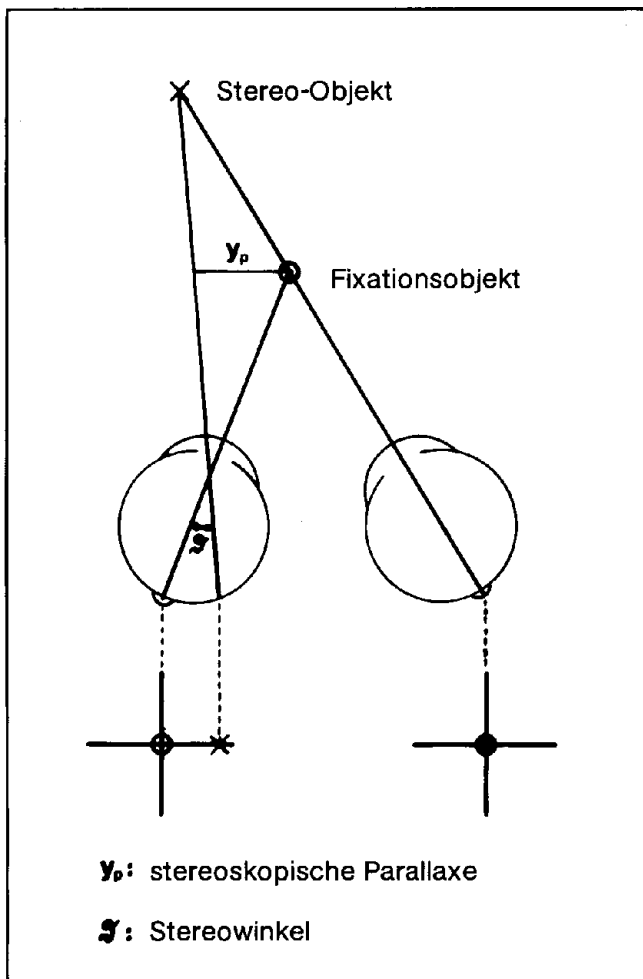


Abb. 5: Stereowinkel und stereoskopische Parallaxe als Maß für die Querdisparation.

Wert finden sich in der Literatur recht unterschiedliche Angaben, die bis zu einem Stereowinkel von 70' gehen [5]. Der kleinste Stereowinkel, der noch zu einer räumlichen Tiefenwahrnehmung führt, liegt bei etwa 10" und wird „Stereogrenzwinkel“ genannt. Er ist das Maß für den kleinsten allein aufgrund der Querdisparation wahrnehmbaren Tiefenunterschied, der nach dem bereits erwähnten DIN-Entwurf [4] „Tiefensehschärfe“ (oder Tiefenunterscheidungsvermögen) heißt.

C. Qualitätskriterien der Stereopsis

Die individuell häufig recht unterschiedliche Qualität des stereoskopischen Sehens kann geeignete Hinweise auf den augenblicklichen Zustand des Binokularsehens liefern. Deshalb werden nun die wesentlichen Kriterien für die Qualität der Stereopsis ausführlicher behandelt, nämlich die relative Tiefenwahrnehmung bei mittlerem und bei kleinstem Stereowinkel und die relative Richtungswahrnehmung des Stereo-Objektes.

1. Relative Tiefenwahrnehmung

a) Temporale und nasale Querdisparation

Das stereoskopische Sehen liefert eine relative Tiefenwahrnehmung, bei welcher die Lage des Stereo-Objektes relativ zum binokular fixierten Objekt bewertet wird. Dabei entscheidet die Richtung der Querdisparation darüber, ob das Stereo-Objekt dichter am Betrachter wahrgenommen wird als der Fixationspunkt oder weiter entfernt. In Abb. 6 ist jeweils diejenige Stelle der linken Netzhaut mit einem Punkt gekennzeichnet, die zu dem auf der rechten Netzhaut liegenden Bildort des Stereo-

Objektes korrespondiert. Diese Stelle ist die Mitte des zugehörigen Panumgebietes, und von hier aus rechnet die Richtung der Querdisparation. Das Bild des Quadrates liegt temporal davon; eine „temporale Querdisparation“ liefert also die relative Wahrnehmung „vor“ dem Fixationspunkt. Die Lage des Bildes vom Kreuz zeigt, daß zu einer „nasalen Querdisparation“ die Wahrnehmung „hinter“ dem Fixationspunkt gehört. Die Richtung der Querdisparation liefert aber lediglich eine Entscheidung darüber, ob sich das Stereo-Objekt vor oder hinter dem Fixationspunkt (bzw. Horopter) befindet. Erst die Größe der Querdisparation oder des Stereowinkels liefert einen Anhalt dafür, wie weit das Stereo-Objekt vor oder hinter dem Fixationspunkt liegt, wobei dessen Entfernung vom Betrachter eine wichtige Rolle spielt.

b) Entfernung des Fixationspunktes

Die Entfernung a des Fixationspunktes vom Betrachter ergibt den Zusammenhang zwischen dem Stereowinkel θ und der stereoskopischen Parallaxe y_p:

$$\theta = \frac{y_p}{a} \quad (1)$$

Der weitere Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen relativen Tiefe Δa und der stereoskopischen Parallaxe für eine bestimmte Entfernung des Fixationspunktes und einen bestimmten Pupillenabstand p ist:

$$\Delta a_{v, h} = \frac{a \cdot y_p}{p \pm y_p} \quad (2)$$

Dabei gilt das Pluszeichen im Nenner für temporale Querdisparation (also Wahrnehmung nach vorn: Δa_v),

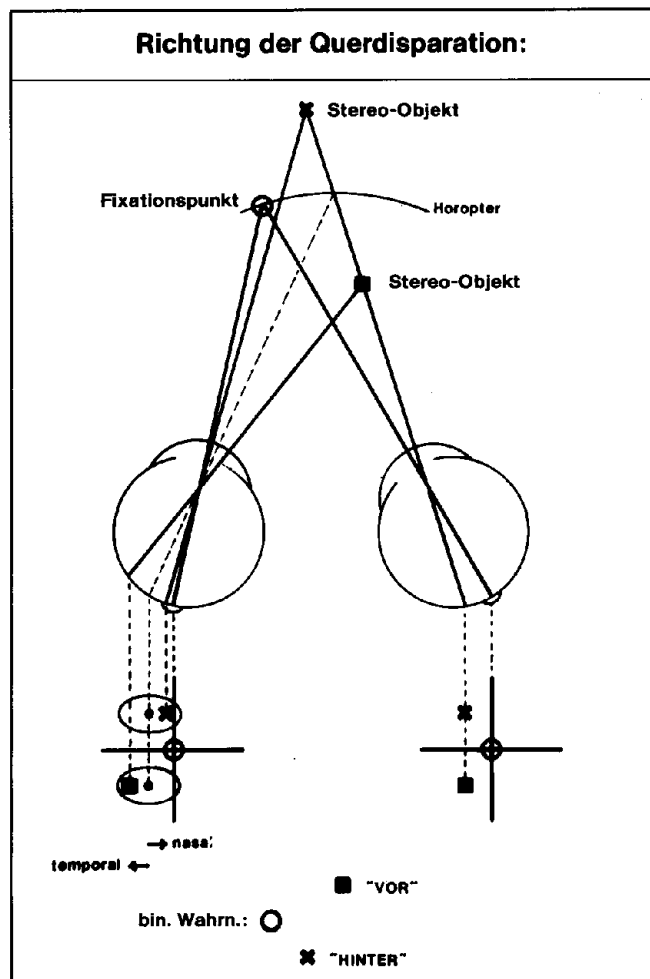


Abb. 6: Objektlage und Richtung der Querdisparation.

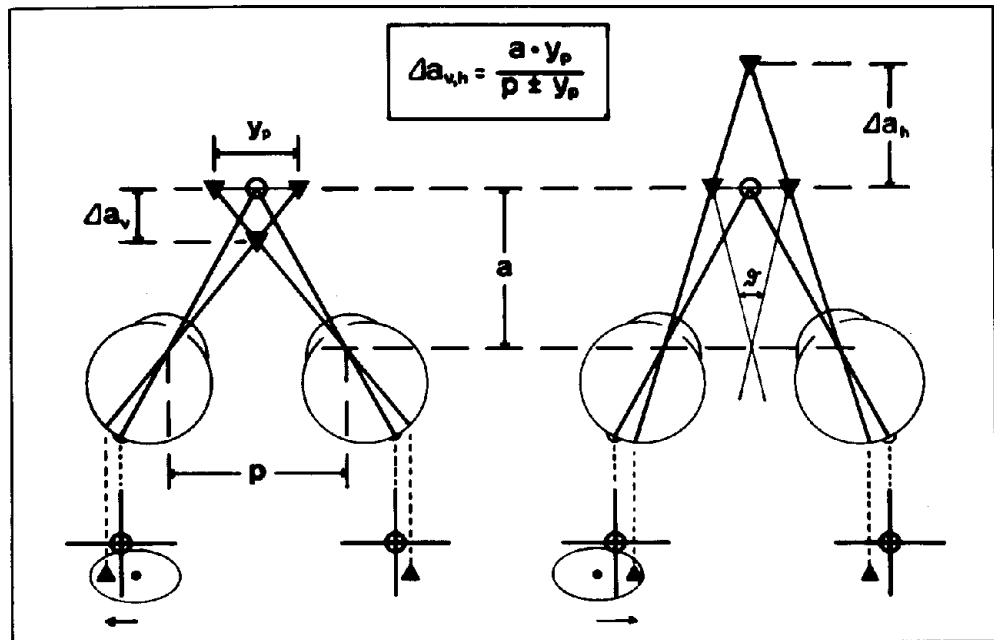


Abb. 7: Theoretischer Zusammenhang zwischen der stereoskopisch wahrgenommenen Tiefe Δa und der stereoskopischen Parallaxe y_p einer Stereoskopprüfung in Abhängigkeit von der Fixationsentfernung a und dem Pupillenabstand p .

das Minuszeichen für nasale Querdisparation (also Wahrnehmung nach hinten: Δa_h). Die einzelnen Größen sind zur Übersicht in Abb. 7 eingetragen.

Wird eine Stereoskopprüfung mit fester Parallaxe aus wachsender Entfernung betrachtet, so ergibt sich zwar nach Formel (1) ein immer kleiner werdender Stereowinkel, aber Formel (2) zeigt, daß dabei eine wachsende Tiefenwahrnehmung Δa resultiert. Als Beispiel möge der im Sehprüfgerät Polatest enthaltene Dreieckstest mit einer stereoskopischen Parallaxe von 20 mm dienen (Abb. 7). Die zahlenmäßige Auswertung ist in Tab. 1 zusammengestellt. Falls sich bei einer solchen Stereoskopprüfung mit einem Stereowinkel von etwa $12'$ bereits Diplopie ergibt, kann von eingengten Panumgebieten gesprochen werden, wenn überhaupt Stereopsis vorhanden ist.

a (m)	δ	p (mm)	Δa_v (m)	Δa_h (m)
4	17' 11"	60	1,00	2,0
		70	0,89	1,6
5	13' 45"	60	1,25	2,5
		70	1,11	2,0
6	11' 28"	60	1,50	3,0
		70	1,33	2,4

Tabelle 1: Fixationsentfernung a , Stereowinkel δ , Pupillenabstand p und theoretische relative stereoskopische Tiefe $\Delta a_{v,h}$ vor bzw. hinter dem Fixationspunkt bei einer stereoskopischen Parallaxe von $y_p = 20$ mm.

c) Pupillenabstand

Bei einer festen stereoskopischen Parallaxe (wie im Dreieckstest des Polatest) ist der Stereowinkel nach Formel (1) unabhängig vom Pupillenabstand des Betrachters. Der Einfluß des Pupillenabstandes erstreckt sich hier nach Formel (2) auf die bei gleicher Fixationsentfernung wahrgenommene Tiefe Δa . Das Beispiel in Tab. 1 zeigt, daß dabei der kleinere Pupillenabstand zu einer größeren Entfernung Δa des Stereo-Objektes vom Fixationspunkt führt. Zur Messung der tatsächlich wahrgenommenen Tiefe Δa_v dient an der SFOF Berlin ein nicht serienmäßiges Zusatzgerät zum Polatest, das bereits 1962 von H.-J. HAASE angegebene Pola-Stereometer [6]. Dieses wird zusammen mit dem zweiten Dreieckstest benutzt, der eine stereoskopische Parallaxe von 11 mm besitzt, was bei einer Beobachtungsentfernung von 5,4 m

einen Stereowinkel von $7'$ ergibt. Dieses Pola-Stereometer wird vom nächsten Vortragenden beschrieben.

d) Stereo-Verzögerung

Eine Überprüfung des Qualitätskriteriums relative Tiefenwahrnehmung erstreckt sich nach den bisherigen Erörterungen zuerst auf die täuschungssichere Richtigkeit der wahrgenommenen Lage des Stereo-Objektes vor und hinter dem Fixationspunkt sowie auf den Vergleich der praktisch ausgemessenen Strecke Δa mit dem nach Formel (2) ermittelten theoretischen Wert.

Darüber hinaus muß geprüft werden, ob das stereoskopisch wahrgenommene Objekt spontan an der richtigen Stelle des Raumes gesehen wird, wenn die Disparation plötzlich von temporal in nasal geändert wird und umgekehrt. Diese „Stereo-Wendeprobe“ geschieht am Dreieckstest des Polatest bekanntlich durch schnelles Wenden der Betrachtungsfilter. Eine „Stereo-Verzögerung“ zeigt sich an einem mehr oder weniger langsamen Wandern des Stereo-Objektes weg vom Fixationspunkt, bis die richtige Entfernung erreicht ist. Eine solche Stereo-Verzögerung kann bis zu dreißig Sekunden betragen und liefert einen Hinweis auf Fixationsdisparation.

2. Tiefensehschärfe

a) Stereogrenzwinkel

Der Stereogrenzwinkel als kleinster Stereowinkel, welcher noch zu einer binokularen Tiefenwahrnehmung führt, ist wie die Sehschärfe von verschiedenen Parametern der Objektdarbietung abhängig. Insbesondere hängt er von der Leuchtdichte des Objektraumes ab, wie in Abb. 8 dargestellt ist [7]. Im photopischen Sehen kann demnach bei günstigen Darbietungsverhältnissen ein Stereogrenzwinkel von weniger als $10''$ erwartet werden.

b) Entfernung des Fixationspunktes

Der individuelle Stereogrenzwinkel δ_g als Maß für die Tiefensehschärfe ist entfernungsunabhängig. Die zugehörige Tiefenunterscheidbarkeit als Strecke hängt jedoch von der Entfernung des Fixationspunktes ab. Aus den Formeln (1) und (2) folgt für das als Tiefe erkennbare

$$\text{Minimum von } \Delta a_{v,h} = t_{v,h} = \frac{a^2 \cdot \delta_g}{p \pm a \cdot \delta_g} \quad (3)$$

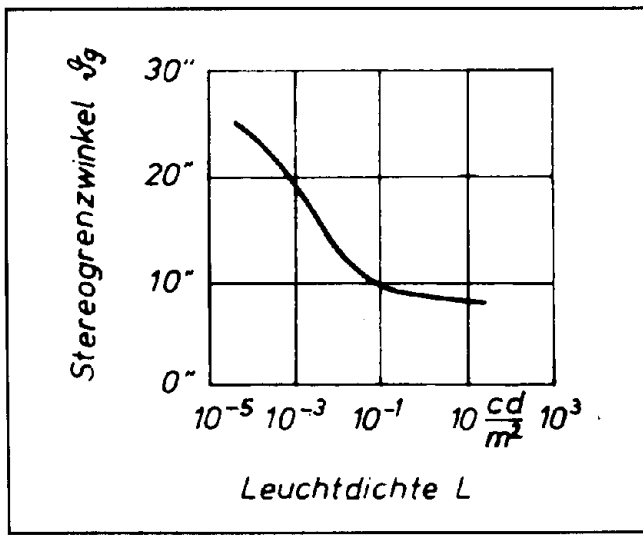


Abb. 8: Abhängigkeit des Stereogrenzwinkels von der Leuchtdichte im Objektraum (nach „Handbuch für Augenoptik“, Herausgeber Carl Zeiss, Oberkochen 1977).

Die Abb. 9 bis 11 zeigen die nach Formel (3) berechneten Tiefenunterscheidbarkeiten für einen Pupillenabstand von $p = 65 \text{ mm}$ und einen Stereogrenzwinkel $\vartheta_g = 10''$ in Abhängigkeit von der Fixationsentfernung. Daraus folgt, daß die Stereopsis für sehr große Entfernungen des Fixationspunktes praktisch bedeutungslos ist. Je kleiner die Fixationsentfernung wird, desto geringere Tiefen können stereoskopisch unterschieden werden, wobei t_v und t_h schließlich gleich groß sind. Es ist dann also praktisch gleichgültig, ob der vordere oder der hintere Endpunkt einer gerade noch in ihrer Tiefenausdehnung erkannten Strecke fixiert wird. Die prozentuale Darstellung in Abb. 12 zeigt noch einmal die besondere Bedeutung der Stereopsis für die räumliche Wahrnehmung naher Objekte.

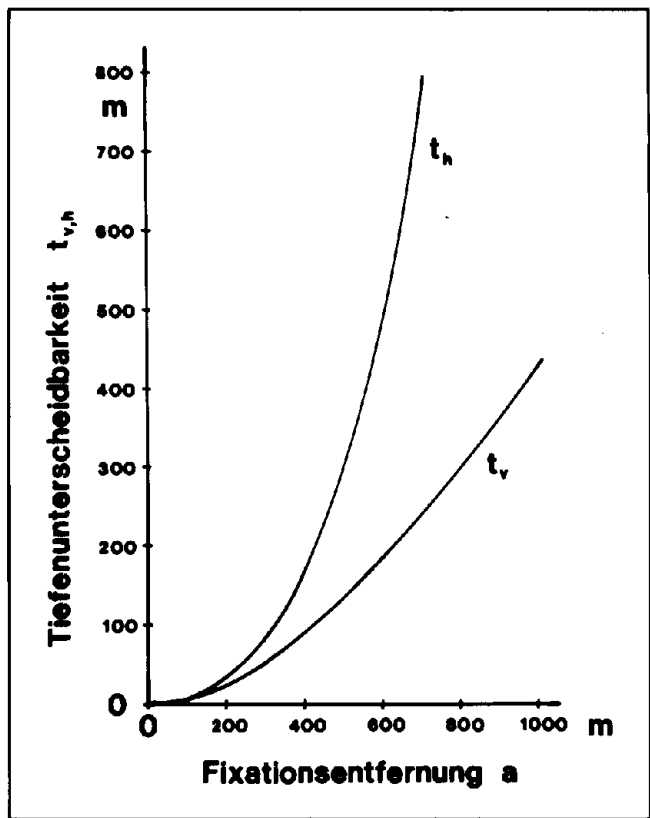


Abb. 10: Kleinste stereoskopisch wahrnehmbare Tiefe in Abhängigkeit von der Fixationsentfernung bei einem Stereogrenzwinkel von $10''$ und einem Pupillenabstand von 65 mm .

c) Pupillenabstand

Der Einfluß des Pupillenabstandes auf die Tiefenunterscheidbarkeit geht ebenfalls aus Formel (3) hervor. Bei gleichem Stereogrenzwinkel und gleicher Fixationsent-

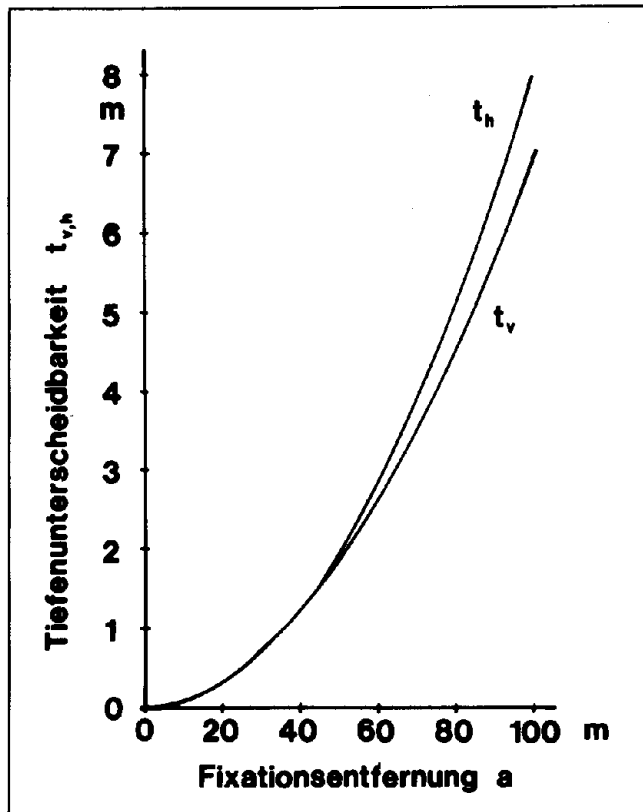


Abb. 9: Kleinste stereoskopisch wahrnehmbare Tiefe in Abhängigkeit von der Fixationsentfernung bei einem Stereogrenzwinkel von $10''$ und einem Pupillenabstand von 65 mm .

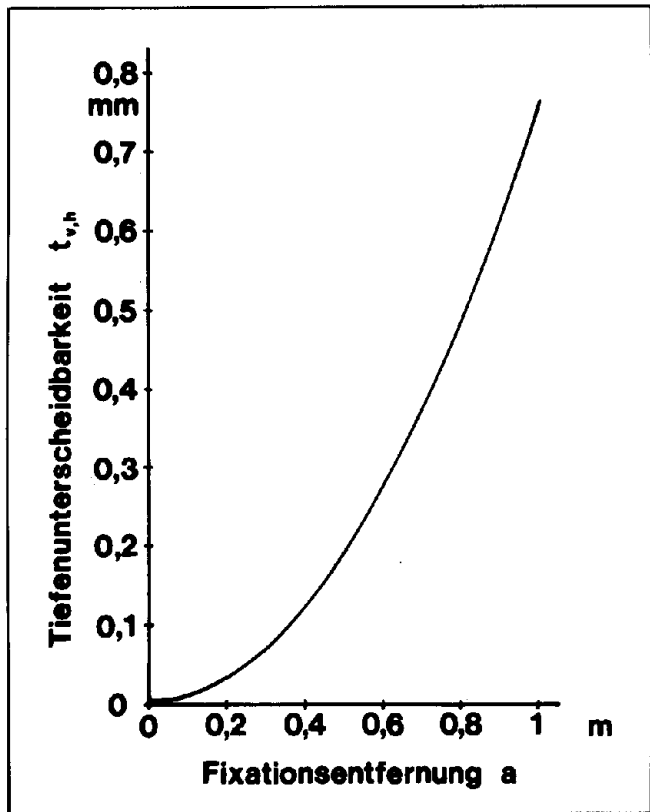


Abb. 11: Kleinste stereoskopisch wahrnehmbare Tiefe in Abhängigkeit von der Fixationsentfernung bei einem Stereogrenzwinkel von $10''$ und einem Pupillenabstand von 65 mm .

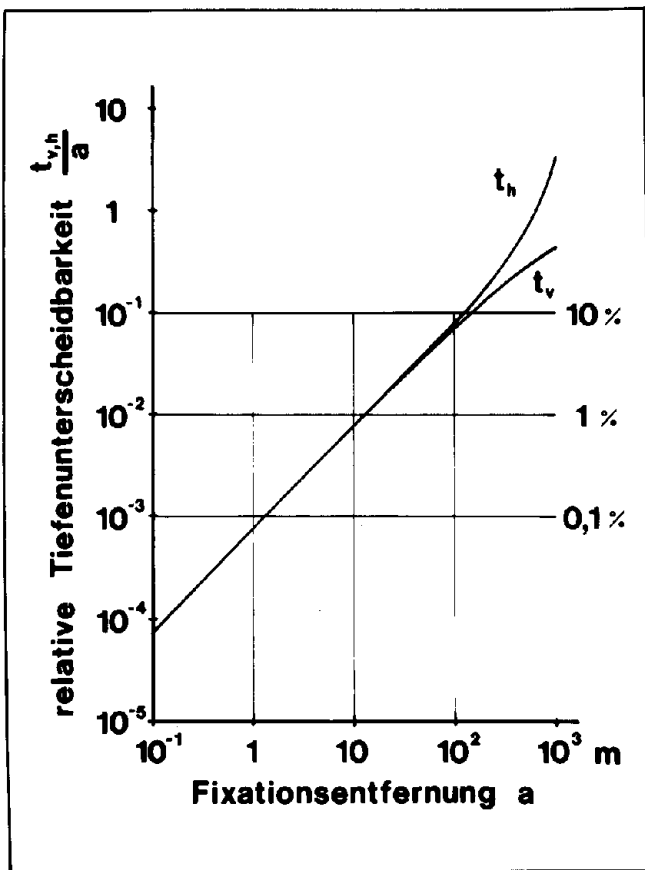


Abb. 12: Relative Tiefenunterscheidbarkeit in Abhängigkeit von der Fixationsentfernung.

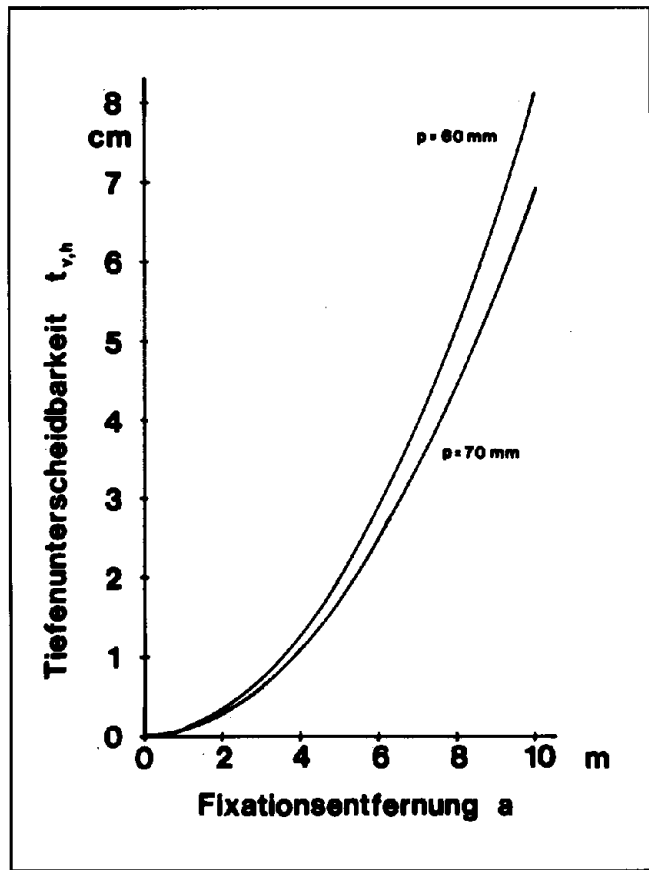


Abb. 13: Einfluß des Pupillenabstandes auf die Tiefenunterscheidbarkeit.

fernung kann ein Augenpaar mit größerem Pupillenabstand kleinere Tiefen stereoskopisch erkennen, was in Abb. 13 dargestellt ist. In der Praxis wird diese Tatsache durch geometrisch-optische Vergrößerung des Pupillenabstandes ausgenutzt (z. B. im Scherenfernrohr).

Als Qualitätskriterium der Stereopsis kann die Tiefenunterscheidbarkeit ebenfalls mit dem bereits erwähnten Pola-Stereometer gemessen und daraus der Stereogrenzwinkel berechnet werden.

3. Relative Richtungswahrnehmung

a) Valenz

Liegt das Stereo-Objekt zusammen mit dem Fixationspunkt in der Medianebene des Augenpaares (wie im Beispiel der Abb. 7), dann wird es bei idealer Stereopsis auch dort wahrgenommen. Arbeiten beide Augen jedoch nicht genau gleichwertig, dann erscheint das Stereo-Objekt gegenüber seiner wahren Lage (also auch gegenüber der Lage des Fixationspunktes) seitlich verschoben. Diese relative Richtungswahrnehmung des Stereo-Objektes im Vergleich mit dem Fixationspunkt ist ein bedeutungsvolles Kriterium für die Qualität der Stereopsis.

Die Wertigkeit der zur Stereopsis führenden Seheindrücke beider Augen wird als „Valenz“ bezeichnet. Wenn das zusammen mit dem Fixationspunkt in der Medianebene liegende Stereo-Objekt korrekt in der Mitte wahrgenommen wird, dann ist „Äquivalenz“ (oder Isovalenz) vorhanden, was in Abb. 14 schematisch dargestellt ist. Bei seitlich verschobener Wahrnehmung herrscht „Prävalenz“ (oder Anisovalenz) desjenigen Auges, welches den richtungsmäßig entsprechenden Seheindruck liefert. Die obige Bezeichnungsweise für eine Dominanz eines Auges im Stereosehen findet sich zuerst bei SACHSENWEGER [8].

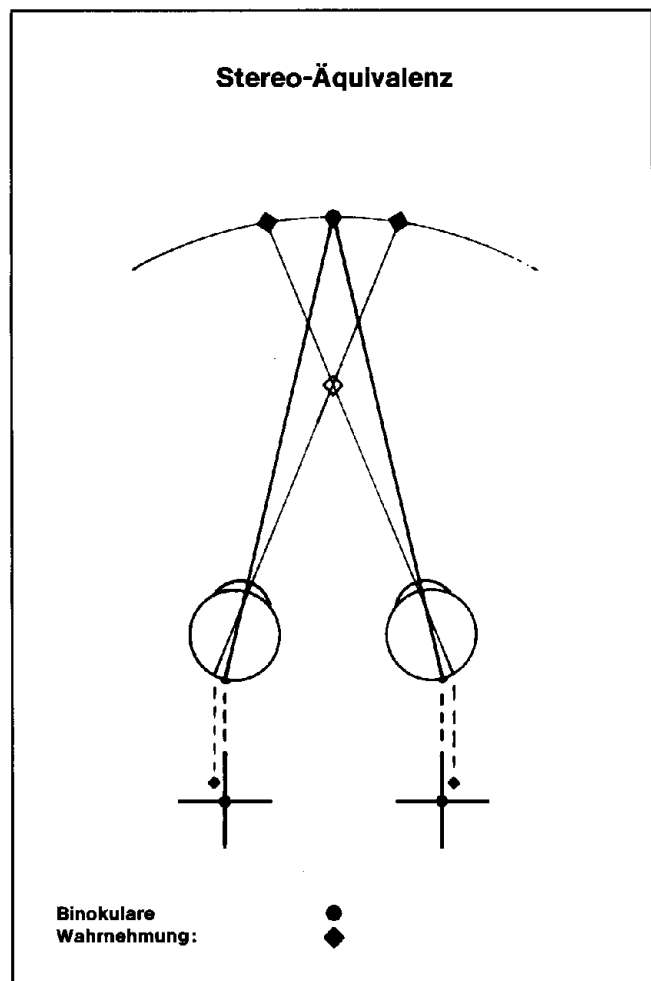


Abb. 14: Schematische Darstellung einer gleichwertigen Beteiligung beider Augen im Stereosehen.

Anzahl der Personen:	davon mit		Mängel im Stereosehen:			davon mit	
	Brille	KL	Verzögerungen	Prävalenz	Diplopie	Brille	KL
weibl. 19	7	1	1	9	—	4	—
männl. 35	23	2	1	23	1	15	1
zus. 54	30	3	2	32	1	19	1

Tabelle 2:
Freiwillige Überprüfung der Stereopsis mit dem Polatest anlässlich der von der Firma Carl Zeiss, Oberkochen, veranstalteten 10. Informationstagung für Augenoptiker in Bochum (Okt. 1979).

b) Stereo-Sehgleichgewicht

Zur Überprüfung des Valenzkriteriums der Stereopsis dient der im Polatest befindliche Stereo-Sehgleichgewichtstest der Abb. 15. Bei Äquivalenz zeigt die Spitze sowohl des oberen als auch des unteren räumlich wahrgenommenen Dreiecks genau auf die Mitte der binokular sichtbaren Skala. Beide Augen arbeiten dann gleichwertig zusammen, und sie befinden sich in der Orthostellung. Das ungefähre Ausmaß einer etwaigen Prävalenz kann anhand der Skaleneinteilung festgestellt werden.

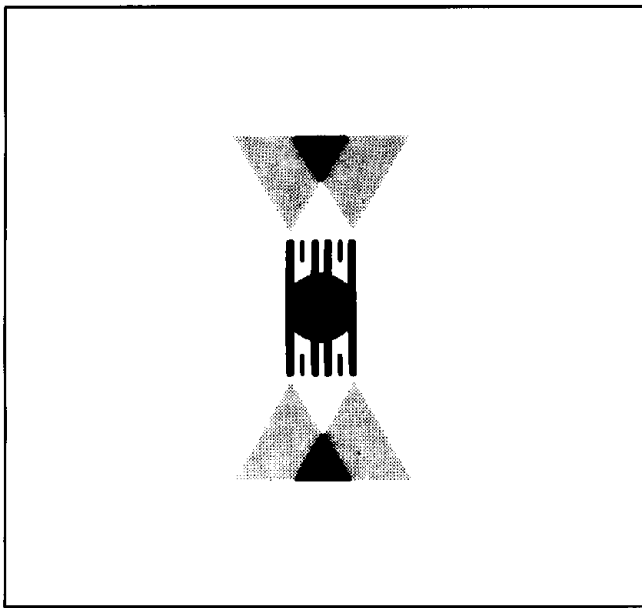


Abb. 15: Der Valenztest im Sehprüfgerät Polatest (Carl Zeiss, Oberkochen).

Die Valenzprobe muß sowohl bei temporaler als auch bei nasaler Querdisparation gemacht werden. Bei idealer Stereopsis herrscht Äquivalenz sowohl bei Dreiecksdarbietung vor dem Fixationspunkt (temporale Querdisparation) als auch bei Darbietung hinter dem Fixationspunkt (nasale Querdisparation). In diesem Fall einer Äquivalenz nach vorn und nach hinten liegt „Stereo-Sehgleichgewicht“ vor. Abweichungen vom Stereo-Sehgleichgewicht werden häufig durch eine Fixationsdisparation verursacht.

D. Zusammenfassung

Bei jeder Augenglasbestimmung sollte in der Binokularprüfung nicht nur ein einfacher Test auf das Vorhandensein von Stereopsis benutzt werden, es sollte vielmehr die Qualität der Stereopsis genauer überprüft werden. Die drei wichtigsten Forderungen an das Stereosehen sind dabei:

Erstens eine spontan richtige relative Tiefenwahrnehmung eines Stereo-Objektes sowohl bei temporaler als auch bei nasaler Querdisparation (keine Stereo-Verzögerung); zweitens eine Tiefensehschärfe mit einem Stereogrenzwinkel von ungefähr 10°; und drittens Stereo-

Sehgleichgewicht, also Äquivalenz für Stereo-Objekte vor und hinter dem Fixationspunkt.

Sind diese drei Qualitätskriterien erfüllt, dann kann von „idealer Stereopsis“ gesprochen werden. Bei nicht idealer Stereopsis liefern die einzelnen Abweichungen typische Hinweise auf den Zustand des Binokularsehens, insbesondere auf Fixationsdisparation. Aus solchen Hinweisen ergeben sich Anhaltspunkte für eine optimale binokulare Korrektur.

Auf einer Ausstellung unterzogen sich kürzlich 54 Personen beiderlei Geschlechts einer freiwilligen Überprüfung ihrer Stereopsis. Das in Tab. 2 dargestellte Ergebnis zeigt, daß bei ungefähr 60 % dieser Personen Mängel im Stereosehen vorlagen, die in den meisten Fällen durch eine nicht korrigierte Heterophorie mit Fixationsdisparation hervorgerufen sein dürften. Dazu möge ein Zitat aus dem bekannten Buch „Das Sehen“ von SCHÖBER [9] den Abschluß dieses Vortrages bilden:

„... SACHSENWEGER ... konnte zeigen, daß die räumliche Tiefensehschärfe und die absolute und relative Tiefenwahrnehmung bei Ermüdung rasch abnehmen [10]. Besonders gefährdet sind Menschen, die eine Heterophorie besitzen. Er empfiehlt aus diesem Grund eine besonders sorgfältige Heterophoriekorrektur bei allen Berufen, für die gutes, beidäugiges Sehen erforderlich ist.“

E. Literaturhinweise

- [1] Helmut Goersch: „Zentrierung von Nahbrillen“, NOJ 7 (1975) 509–516.
- [2] derselbe: „Sensorische Abweichungen vom idealen Binokularsehen“, NOJ 2 (1979) 7–13.
- [3] derselbe: „Dekompenzierte Heterophorien und ihre Auswirkungen auf das Sehen“; a) Der Augenoptiker 5 (1978) 13–23; b) Binokulare Korrektur, Verlag Willy Schrickel, Düsseldorf (1980) 271–283.
- [4] DIN 5340: Begriffe der physiologischen Optik“, Entwurf (Februar 1979).
- [5] G. Ueberschaar: „Das binokulare Sehen“, 7 Folgen in Augenoptik 1 (1975) bis 1 (1976).
- [6] Hans-Joachim Haase: „Latente Heterophorien“; a) Vorträge und Referate vom Internationalen Augenoptikerkongreß Berlin (1962), Energie-Verlag Heidelberg; b) Binokulare Korrektur, Verlag Willy Schrickel, Düsseldorf (1980) 179–212.
- [7] „Handbuch für Augenoptik“, Herausgeber Carl Zeiss, Oberkochen (1977).
- [8] Rudolf Sachsenweger: „Experimentelle und klinische Untersuchungen des stereoskopischen Raumes“, Nova Acta Leopoldina 136, Band 20 (163 Seiten), Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1958).
- [9] Herbert Schober: „Das Sehen“, Band II, S. 469, VEB Fachbuchverlag Leipzig (1964).
- [10] Rudolf Sachsenweger: „Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Ermüdung auf das räumliche Sehen“, Deutsche Zeitschrift f. gerichtl. Medizin, Bd. 44 (1955) 66–76.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Helmut Goersch, Staatliche Fachschule für Optik und Fototechnik Berlin, Einsteinufer 43–53, 1000 Berlin 10.