

[istockphoto.com / Atypeek](https://www.istockphoto.com/Atypeek)

Stereopsis im natürlichen Sehen und in einer Testsituation

Zum Gedenken an den unvergleichlichen Binokular-Pionier
Hans-Joachim Haase, geboren vor 101 Jahren am 3. Juli 1915

Von Helmut Goersch

Visuelle Raumwahrnehmung

Das visuelle System bewältigt hauptsächlich die beiden Aufgaben

- Erkennung der Anordnung von Objekten im Raum (räumliches Sehen) und
- Erkennung von Objekteinzelheiten.

Weit vor der akustischen und der taktilen Raumwahrnehmung besitzt die visuelle Raumwahrnehmung die größte Bedeutung für die Orientierung eines Menschen in seiner Umgebung.

Richtungssehen und Tiefensehen

Das räumliche Sehen dient dazu, die gegenseitige Lage von Objekten im Raum zu beurteilen und deren Anordnung relativ zueinander und relativ zum Beobachter richtig zu erkennen.

Räumliches Sehen besteht aus Richtungssehen und Tiefensehen. Zu beidem tragen sowohl monokulare als auch binokulare Faktoren bei, wobei die Bedeutung der einzelnen Faktoren in hohem Maße von der Objektentfernung abhängig ist.

Beim Richtungssehen wird die Richtung, in der ein Objekt gesehen wird, relativ zu einer „Nullrichtung“ (= Bezugsblickrichtung) beurteilt.

Die Bezugsblickrichtung ist

- im monokularen Sehen die Richtung der Fixierlinie im Raum,
- im binokularen Sehen die Richtung der Fixierlinie des sogenannten Zyklopauges, das ist die Richtung von der Mitte der Verbindungsgeraden der optischen Augendrehpunkte beider Augen zum angeblickten Objektpunkt.

„Man denke sich in der Mitte zwischen beiden Augen ein imaginäres Cyclopaenge, welches auf den gemeinsamen Fixationspunkt beider Augen gerichtet ist, ... Dann werden die Punkte des Netzhautbildes nach außen projiziert, in der Richtungslinie des imaginären Cyclopauges.“ [1, S. 756]



Abb. 1: Zyklopaenge

Zur allgemeinen Richtungswahrnehmung wird außer dem Richtungssehen noch das Muskelgefühl bei Kopfdrehungen und bei Rumpfdrehungen ausgewertet.

Beim Tiefensehen ist zu unterscheiden zwischen dem absoluten Tiefensehen, bei dem beurteilt wird, wie weit ein Objektpunkt vom Beobachter entfernt ist und dem relativen Tiefensehen, bei dem der Entfernungsunterschied zweier Objektpunkte beurteilt wird.

Für nahe Objekte ist das relative Tiefensehen mit keiner anderen Funktion so genau möglich wie mit der Stereopsis.

Das absolute Tiefensehen, das mit der Stereopsis allein nicht möglich ist, wird manchmal auch als Entfernungssehen bezeichnet.

Sowohl die Seheindrücke der unbewegten Augen (Gesichtsfeld) als auch die der bewegten Augen (Blickfeld) tragen zur visuellen Raumwahrnehmung bei.

Alle diese komplexen Funktionen sind im natürlichen Sehen untrennbar miteinander verknüpft, nur in einer Testsituation kann eine einzelne Sehfunktion in gewissen Grenzen experimentell überprüft werden.

Monokulare Raumwahrnehmung

Die monokularen Faktoren, die zum räumlichen Sehen beitragen, reichen von der Perspektive über die Bewegungsparallaxe und andere Faktoren bis hin zur Verteilung von Licht und Schatten.

Das Bild „Spuren im Sand“ in Abb. 2 scheint den Betrachter zu täuschen: Statt Spuren, die tief in den Sand hineingetreten sind, zeigen sich aus dem Sand herausragende Abdrücke von Schuhsohlen.

Dies ist ein gutes Beispiel für den Prozess des Vergleichs der momentanen Wahrnehmung mit den Erinnerungsbildern. Das Ergebnis dieses Prozesses ist die visuelle Erkennung, die immer an bereits vorhandene Kenntnisse anknüpft: Menschen haben gelernt, dass Licht in der Regel von links oben kommt. Der erwartete Seheindruck entsteht hier erst bei Betrachtung des um 180° gedrehten Bildes. ▶

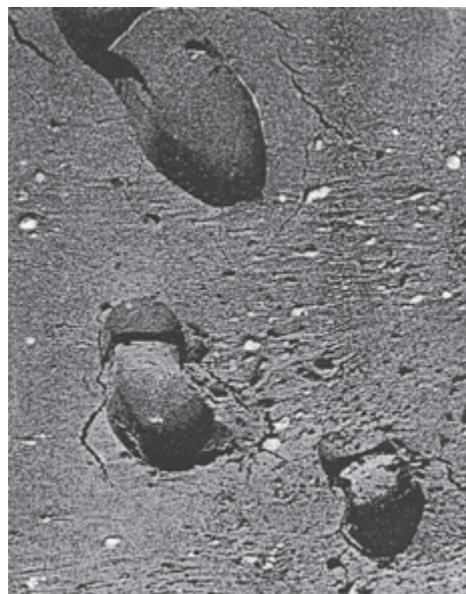


Abb. 2: Spuren im Sand

Binokulare Raumwahrnehmung

Zur binokularen Raumwahrnehmung tragen bei

- die Stereopsis (das querdisparate Raumsehen) und
 - das Augenmuskelgefühl bei der momentanen Vergenzstellung.
- Das querdisparate Raumsehen wird dadurch ermöglicht, dass von einem tiefenausgedehnten Objekt oder von mehreren in unterschiedlichen Entfernungen befindlichen Objekten in beiden Augen Netzhautbilder entstehen, die sich etwas voneinander unterscheiden. Dieser Unterschied wird zum relativen Tiefensehen und zum binokularen Richtungssehen ausgewertet.

In beiden Augen müssen stets zwei oder mehr Objektpunkte mit unterschiedlicher Querdissparation abgebildet werden. Ein einzelner Objektpunkt kann ebenso wenig stereoskopisch wahrgenommen werden wie nur lateral ausgedehnte Objekte, zum Beispiel frontparallele Leitungen zwischen zwei Strommasten.

Bei der Auswertung disparater Abbildungen spielt nicht nur die Größe der Querdissparation, die sogenannte Disparationsstrecke eine Rolle, sondern auch die Disparationsrichtung.

Objekte vor dem Horopter führen zu temporaler Querdissparation, Objekte hinter dem Horopter zu nasaler Querdissparation. Aufgrund dieser in der Phase des Sehenlernens erlebten und in der Erinnerung gespeicherten eindeutigen Zusammenhänge wird ein in einem Stereopsistest dargebotenes Stereo-Objekt entsprechend der haploskopisch verursachten Querdissparationsrichtung vor oder hinter dem angeblickten Fixierobjekt gesehen.

Abbildungen mit Vertikaldissparation können zwar in gewissen Grenzen fusioniert werden, führen aber nicht zur Stereopsis.

Die Stereopsis als wichtigste Sehfunktion des beidäugigen Sehens setzt die Orthostellung der Augen in der Phase des Sehenlernens voraus. Nur wenn eine derartige Entwicklung im frühesten Kindesalter stattgefunden hat, kann in späteren Lebensphasen durch eine exakte prismatische Korrektur die volle Qualität der Stereopsis wieder hergestellt werden, falls diese sich infolge von statischer Fixationsdisparation verschlechtert hatte.

Grundlagen der Stereopsis

Stereoskopische Parallaxe

„Zwei Bilder, welche einen stereoskopischen Effect machen sollen, müssen also zwei verschiedenen perspectivischen Ansichten desselben Gegenstandes entsprechen, ... Ihre Distanz kann man die stereoskopische Parallaxe nennen.“
[1, S. 782-783]

Die stereoskopische Parallaxe wird in [2] definiert als „Abstand zwischen den auf einen Objektpunkt gerichteten Knotenpunktstrahlen beider Augen, gemessen in einer frontparallelen Ebene mit anderer Entfernung“. In den Anmerkungen heißt es dort weiter „Die stereoskopische Parallaxe verursacht Abbildungen auf querdissparaten Netzhautstellen“, und „Im bevorzugten An-

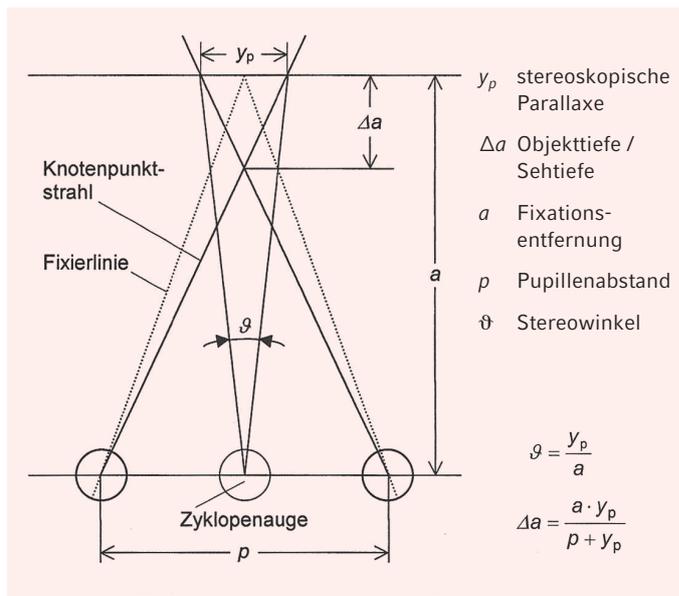


Abb. 3: Stereoskopische Parallaxe

wendungsfall stereoskopischer Bildpaare wird die stereoskopische Parallaxe in der Ebene dieser Bildpaare gemessen.“

Abb. 3 zeigt ein Augenpaar beim Blick auf ein Objekt in der Entfernung a . Dabei ist Δa

- entweder die Objekttiefe eines realen Objektes (Blick auf den hintersten Punkt des Objektes: $a = a_n$)
- oder die wahrgenommene Sehtiefe „nach vorn“ (temporale Querdissparation: $\Delta a = \Delta a_v$) beim Blick auf einen Stereotest in Normaldarbietung, bei dem das Stereo-Objekt mit der stereoskopischen Parallaxe y_p dargeboten wird.

Stereowinkel

Der Stereowinkel ϑ ist der Sehwinkel, unter dem die stereoskopische Parallaxe y_p von einem hypothetischen Mittelaugen (Zyklopenauge) aus erscheint.

Der Stereowinkel ist ein Maß für die Größe der Querdissparation, mit welcher der betreffende Objektpunkt im Augenpaar abgebildet wird. Die Disparationsstrecke im Augenpaar ist die Entsprechung der stereoskopischen Parallaxe im Außenraum.

Wenn der Stereowinkel eine gewisse Größe überschreitet, können die disparaten Bilder nicht mehr fusioniert werden. Wird diese obere Grenze überschritten, dann resultiert im natürlichen Sehen Bahnung und Hemmung zur Vermeidung von Diplopie, in Testsituationen entsteht Diplopie.

Stereogrenzwinkel

Der kleinste Stereowinkel, bei dem Stereopsis vorhanden ist, wird als Stereogrenzwinkel ϑ_g bezeichnet. Er hängt von der Leuchtdichte des Objektraumes und von der Sehaufgabe ab und liegt im photopischen Sehen (Tagesehen) in der Größenordnung von 10 Winkelsekunden.

Stereo-Tiefensehschärfe

Die Stereo-Tiefensehschärfe ist als Kehrwert des Stereogrenzwinkels definiert. Es gibt jedoch (noch) keine Vorschrift zur normgemäßen Bestimmung der Stereo-Tiefensehschärfe, auch eine Einheit müsste für diese Tiefensehschärfe festgelegt werden, ähnlich wie es für den Visus eine Einheit und eine Vorschrift zur Messung gibt.

Solange keine solchen Festlegungen existieren, ist es zweckmäßig, den Stereogrenzwinkel anstelle der Stereo-Tiefensehschärfe zur Qualitätsbeurteilung von Stereopsis heranzuziehen.

Stereo-Tiefenunterscheidungsstrecke

Die Stereo-Tiefenunterscheidungsstrecke t ist der kleinste allein mit Hilfe der Stereopsis wahrnehmbare Entfernungswert zwischen zwei Objektpunkten: relatives Tiefensehen.

Diese Tiefenunterscheidungsstrecke hängt von der Größe des Stereogrenzwinkels sowie vom Pupillenabstand ab und wächst mit zunehmender Fixationsentfernung a .

Tabelle 1 zeigt berechnete Tiefenbereiche a bis $a + t$ ohne eine stereoskopische Unterscheidbarkeit für Beobachter mit dem Pupillenabstand $p = 65$ mm und dem Stereogrenzwinkel $\vartheta_g = 10''$.

| a (m) | $a + t$ (m) |
|---------|-------------|
| 5 | 5,02 |
| 10 | 10,08 |
| 20 | 20,3 |
| 50 | 52 |
| 100 | 108 |
| 200 | 235 |
| 500 | 800 |
| 670 | ∞ |

Tabelle 1: Tiefenunterscheidbarkeit [3, S. 101]

Es ist ersichtlich, dass die Größe der Stereo-Tiefenunterscheidungsstrecke mit zunehmender Fixationsentfernung stark anwächst.

Im Greifbereich beträgt diese Tiefenunterscheidungsstrecke einige Zehntel Millimeter, in einer Entfernung von 40 cm liegt sie zwischen 0,1 und 0,2 mm, und in einer Entfernung von ungefähr 35 m beträgt sie bereits 1 m. In Entfernungen von einigen hundert Metern ist eine Tiefenunterscheidung mit der Stereopsis allein kaum noch möglich.

„Die Entfernung der beiden Pupillenmitten kann man zu 63 mm annehmen. Setzt man dann noch den physiologischen Grenzwinkel gleich 1 Winkelminute, so liefert die Gleichung 210 m. Bis zu 210 m tief in den Raum hinein reicht also nur das stereoskopische Sehen.“ [4, S. 195-196]

Die Stereopsis ist daher eine typische Nahfunktion und hat für Entfernungen über etwa 50 m kaum noch eine praktische Bedeutung. Daraus darf jedoch nicht abgeleitet werden, dass eine gute Stereopsis zum Beispiel zum Autofahren unnötig sei.

Stereopsis im natürlichen Sehen

Im natürlichen Sehen, das heißt im Sehen bei Anwesenheit von Sehreizen und Fusionsreizen in natürlicher Umgebung (sowohl im freien Sehen als auch im Sehen mit Korrektur), ist die Objektweite Δa die Ausgangsgröße für die stereoskopische Wahrnehmung.

Im Beispiel der Abb. 4 wird der hinterste Punkt eines ausgehnten Objektes angeblickt (Fixationsentfernung a_h), und der vom Pupillenabstand p abhängige Stereowinkel ist

$$\vartheta = p \cdot \frac{\Delta a}{a_h \cdot (a_h - \Delta a)}$$

Bei größerem Pupillenabstand p_1 ergeben sich ein größerer Stereowinkel ϑ_1 und eine größere stereoskopische Parallaxe $y_{p,1}$ als bei kleinerem Pupillenabstand p_2 , bei dem sich der Stereowinkel ϑ_2 und die kleinere stereoskopische Parallaxe $y_{p,2}$ ergeben. ▶

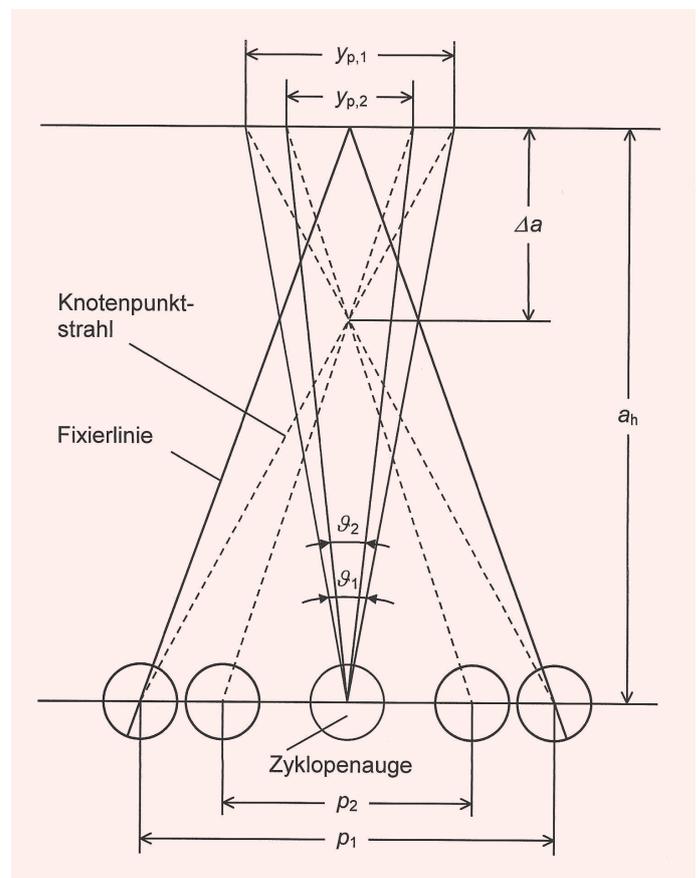


Abb. 4: Stereopsis im natürlichen Sehen

Wenn der vorderste Punkt des Objektes angeblickt wird (Fixationsentfernung a_v), ergibt sich derselbe Stereowinkel

$$\vartheta = p \cdot \frac{\Delta a}{a_v \cdot (a_v - \Delta a)}$$

denn wegen $\Delta a = a_h - a_v$

ist $a_v \cdot (a_v + \Delta a) = a_h \cdot (a_h - \Delta a)$.

Für sehr kleine Objektiefen im Vergleich zur Fixationsentfernung ($\Delta a \ll a$) vereinfacht sich die Beziehung für den Stereowinkel zu:

$$\vartheta = p \cdot \frac{\Delta a}{a^2}$$

Trotz des größeren Stereowinkels bei größerem Pupillenabstand wird die gleiche Objektiefe Δa wahrgenommen wie bei kleinerem Pupillenabstand, da alle Beobachter gelernt haben, dass genau diese Objektiefe zu ihrem individuellen Stereowinkel in dieser Sehsituation gehört.

Beim erstmaligen Tragen einer Korrektur, bei einer Veränderung bisheriger Korrekturwerte oder beim Wechsel der Sehhilfe (Brille/Kontaktlinse) wird innerhalb einiger Tage neu gelernt, mit der veränderten Perspektive wieder die „richtige“ Raumwahrnehmung zu erhalten.

„Diese Lernfähigkeit des Sehens geht das ganze Leben lang nicht verloren.“ [5, S. 211]

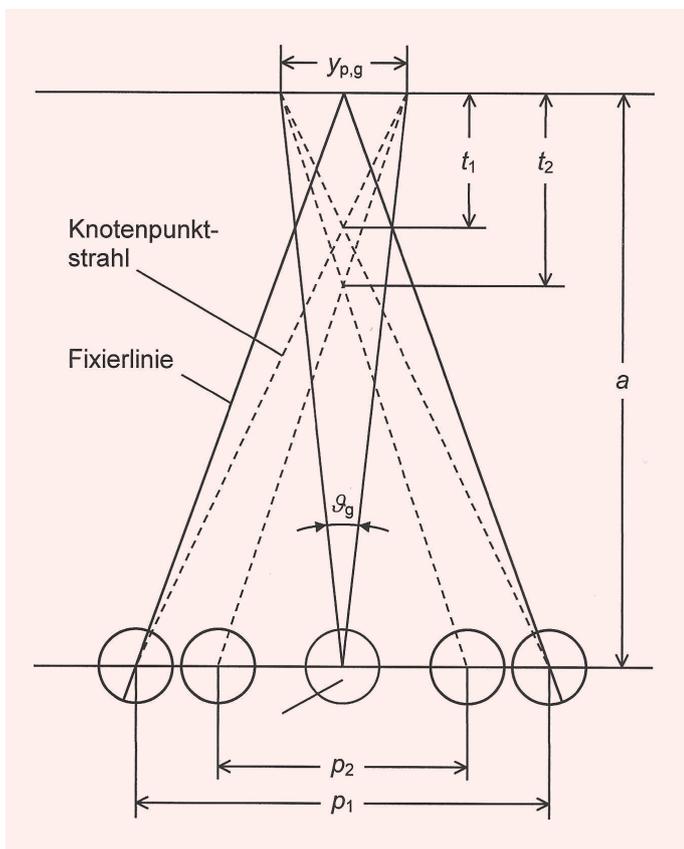


Abb. 5: Stereopsis und Pupillenabstand

Die Darstellung in Abb. 5 zeigt, warum Personen mit einem größeren Pupillenabstand bei gleichem Stereogrenzwinkel ϑ_g eine „bessere Stereopsis“ haben als solche mit einem kleineren Pupillenabstand, da der gleiche Stereogrenzwinkel und damit die gleiche stereoskopische Parallaxe $y_{p,g}$ zu unterschiedlich großen Tiefenunterscheidungsstrecken t führt. Bei größerem Pupillenabstand sind also geringere Objektiefen erkennbar.

Stereopsis in einer Testsituation

Mit Prüfgeräten wie dem Dreistäbchentest nach Helmholtz [6, S. 317] wird die Stereopsis im natürlichen Sehen getestet. Die folgenden Erörterungen beziehen sich daher ausschließlich auf Stereopsisteste, die mit einem Trenner-Verfahren dargeboten werden. Dabei ist die stereoskopische Parallaxe y_p die Ausgangsgröße für die stereoskopische Wahrnehmung.

Moderne elektronische Prüfgeräte liefern automatisch diejenigen stereoskopischen Parallaxen, die bei der einstellbaren Prüfentfernung a zu den vorgesehenen Stereowinkeln gemäß

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

Stereopsis am Dreiecktest

Der Aufbau des Dreiecktests ist in Abb. 6 dargestellt.

Mit diesem Test kann geprüft werden:

- Ist Stereopsis vorhanden?
- Besteht eine Stereo-Verzögerung?
 - a) Wird die Tiefenrichtung der Dreiecke sofort richtig erkannt oder besteht eine Spontanverzögerung?
 - b) Wird die richtige Stereotiefe erreicht oder besteht eine Nachverzögerung?

Abb. 7 zeigt den Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Sehtiefe Δa und dem Pupillenabstand p bei der stereoskopischen Parallaxe y_p in der Fixationsentfernung a .

Der vom Pupillenabstand p unabhängige Stereowinkel ist

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

Die theoretische Sehtiefe beträgt bei Normaldarbietung

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

(temporale Querdisparation = Wahrnehmung des Stereo-Objektes „nach vorn“), bei Inversdarbietung

$$\Delta a_h = a \cdot \frac{y_p}{p - y_p}$$

(nasale Querdisparation = Wahrnehmung des Stereo-Objektes „nach hinten“).

Aus diesen Formeln ergibt sich, dass die Sehtiefe in einer Testsituation (im Gegensatz zum natürlichen Sehen!) vom Pupillenabstand abhängig ist:

Das in einem Trenner-Verfahren dargebotene Stereo-Objekt wird bei kleinerem Pupillenabstand in größerer Entfernung vom Fixationsobjekt wahrgenommen als bei größerem Pupillenabstand.

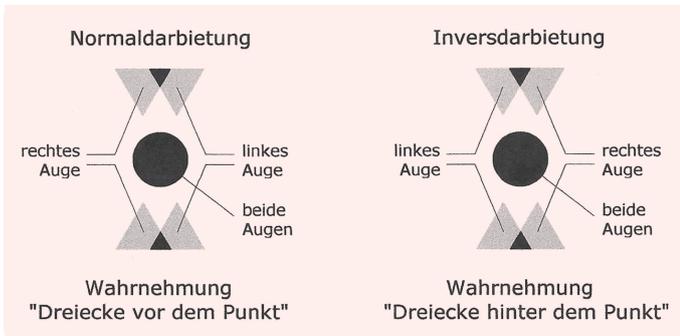


Abb. 6: Dreiecktest

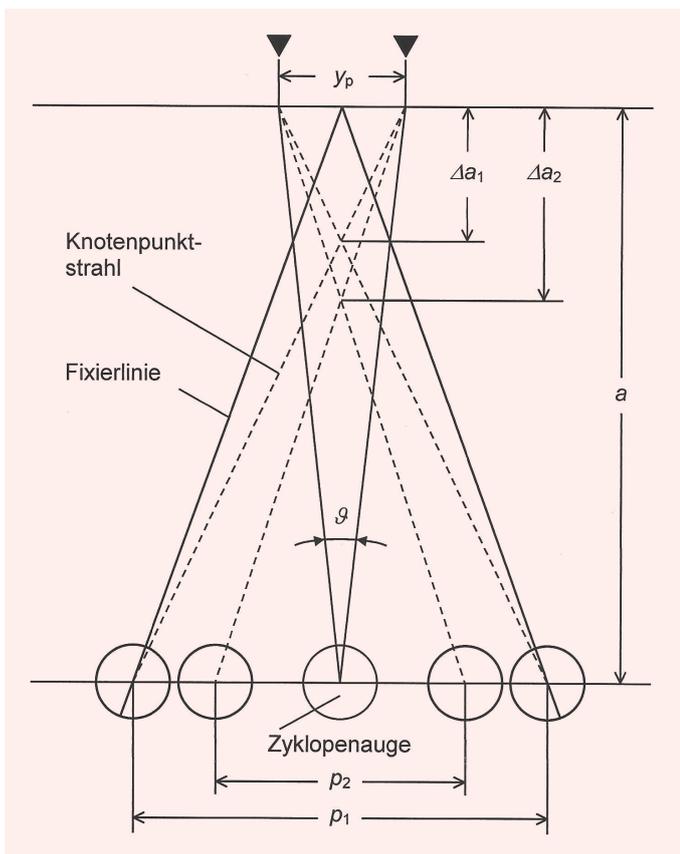


Abb. 7: Stereopsis am Dreiecktest

Tabelle 2 zeigt die theoretischen Sehtiefen Δa_v „nach vorn“ in Abhängigkeit vom Pupillenabstand p und von der stereoskopischen Parallaxe y_p eines in der Fixationsentfernung a dargebotenen Stereotests (ϑ : Stereowinkel).

Die Tatsache, dass eine nach hinten größere Sehtiefe wahrgenommen wird als nach vorn ist für die Ermittlung prismatischer Korrekturen ohne Bedeutung.

| p (mm) | Δa_v (cm) bei | | | |
|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | $y_p = 11$ mm | | $y_p = 20$ mm | |
| | $a = 5$ m $\vartheta = 7' 34''$ | $a = 6$ m $\vartheta = 6' 18''$ | $a = 5$ m $\vartheta = 13' 45''$ | $a = 5$ m $\vartheta = 11' 28''$ |
| 56 | 82,1 | 98,5 | 131,6 | 157,9 |
| 57 | 80,9 | 97,1 | 129,9 | 155,8 |
| 58 | 79,7 | 95,7 | 128,2 | 153,8 |
| 59 | 78,6 | 94,3 | 126,6 | 151,9 |
| 60 | 77,5 | 93,0 | 125,0 | 150,0 |
| 61 | 76,4 | 91,7 | 123,5 | 148,1 |
| 62 | 75,3 | 90,4 | 122,0 | 146,3 |
| 63 | 74,3 | 89,2 | 120,5 | 144,6 |
| 64 | 73,3 | 88,0 | 119,0 | 142,9 |
| 65 | 72,4 | 86,8 | 117,6 | 141,2 |
| 66 | 71,4 | 85,7 | 116,3 | 139,5 |
| 67 | 70,5 | 84,6 | 114,9 | 137,9 |
| 68 | 69,6 | 83,5 | 113,6 | 136,4 |
| 69 | 68,8 | 82,5 | 112,4 | 134,8 |
| 70 | 67,9 | 81,5 | 111,1 | 133,3 |
| 71 | 67,1 | 80,5 | 109,9 | 131,9 |
| 72 | 66,3 | 79,5 | 108,7 | 130,4 |

Tabelle 2: Theoretische Sehtiefen nach vorn für den reduzierten und den normalen Dreiecktest

Messung der Sehtiefe und der Stereo-Tiefenunterscheidungsstrecke

Die wahrgenommene Sehtiefe und die Stereo-Tiefenunterscheidungsstrecke können mit Versuchsanordnungen ähnlich dem Pola-Stereometer ermittelt werden. [7, S. 99]

Beim Pola-Stereometer wird der reduzierte Dreiecktest (stereoskopische Parallaxe 11 mm) in Normaldarbietung verwendet und die Sehtiefe der vor dem Fixierpunkt wahrgenommenen Dreiecke gemessen, indem deren Lage (virtuelles Objekt) mit derjenigen eines realen Objekts verglichen wird.

Der Vergleich der wahrgenommenen Sehtiefe mit dem theoretischen Wert aus Tabelle 2 lässt einen Rückschluss auf die momentane Qualität der stereoskopischen Tiefenwahrnehmung zu.

Bei genügend vielen Messungen ergibt sich die Stereo-Tiefenunterscheidungsstrecke aus den Unterschieden der Sehtiefen bei den Einzelmessungen. [8]

Messung des Stereogrenzwinkels

Mit Hilfe der in Abb. 8 dargestellten differenzierten Stereoteste kann der Stereogrenzwinkel abgeschätzt werden.

Der alte fünfreihige differenzierte Stereotest D5 enthält in jeder Reihe unterschiedliche Figuren, unter denen sich jeweils ein Stereo-Objekt befindet. ▶

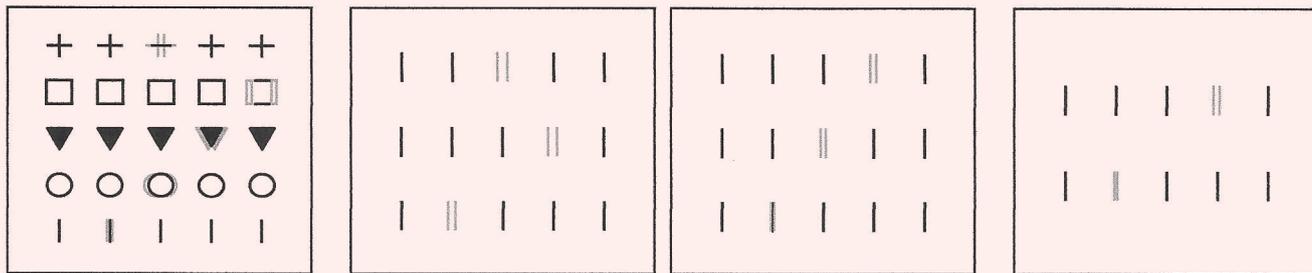


Abb. 8: Differenzierte Stereoteste: D5, D6 in zwei Feldern und D10

Random-Dot-Stereopsis

Random-Dot-Stereopsis ist ein Stereosehen ausschließlich aufgrund unterschiedlich querdisparater Netzhautbilder ohne monokulare Erkennbarkeit der Stereo-Objekte.

Dies ist nur in einer Testsituation bei haploskopischer Darstellung möglich.

Abb. 9 zeigt ein Beispiel zur Random-Dot-Stereopsis, bei welchem ein Beobachter mit intakter Stereopsis die Struktur in der Mitte als tiefenversetztes Rechteck erkennt.

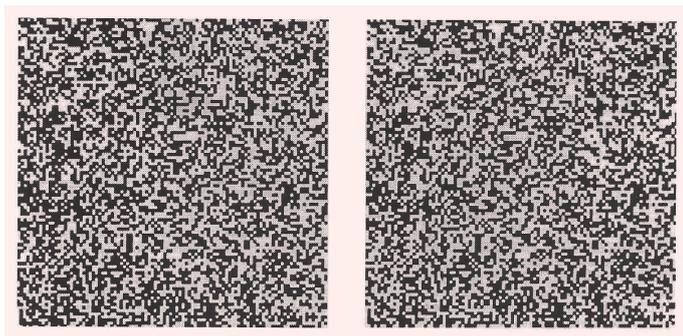


Abb. 9: Random-Dot-Stereotest [10, S. 21]

Bei einer Prüfentfernung von 5,5 m ergeben sich folgende Stereowinkel: Kreuz 4', Quadrat 3', Dreieck 2', Kreis 1', Strich 30".

Die in Form und Struktur ungleichen Figuren stellen unabhängig von der jeweiligen stereoskopischen Parallaxe ungleiche Sehanforderungen. Diese unterschiedlichen Sehanforderungen können zu scheinbar paradoxen Ergebnissen führen. Dabei wird beispielsweise die Lage des Stereo-Objekts bei den Quadraten nicht erkannt, wohl aber bei den Dreiecken, obwohl das Stereo-Dreieck unter einem kleineren Stereowinkel dargeboten wird als das Stereo-Quadrat.

Der spätere sechsreihige differenzierte Stereotest D6 liefert dagegen in jeder Reihe dieselbe formenbedingte Sehanforderung und ist auf zwei Testfelder mit je drei Reihen aufgeteilt. Er enthält in jeder Reihe fünf Striche, von denen ein Strich das Stereo-Objekt darstellt. In der Prüfentfernung von 5,5 m ergeben sich in den Reihen von oben nach unten Stereowinkel von 5', 4', 3', 2', 1' und 30". Bei elektronischen Prüfgeräten kann die Position des Stereo-Objekts innerhalb jeder Reihe variiert werden.

Ein weiterer Vorteil dieses Tests besteht darin, dass bei größerem Stereogrenzwinkel (das heißt geringerer Stereotiefensehschärfe) des Probanden die zweite Testtafel gar nicht erst dargeboten zu werden braucht.

Der neueste elektronische differenzierte Stereotest D10 lässt eine genauere Messung des Stereogrenzwinkels zu. Er enthält zehn Stereowinkel in einer sinnvollen logarithmischen Abstufung (Wahrnehmungsschritte wie bei einer Visusbestimmung, hier aber mit dem Faktor 1,5848), was zu folgenden Stereowinkeln führt: 5'; 3,2'; 2'; 1,25'; 0,8'; 0,5'; 19,2"; 12"; 7,5"; und 4,8". [9]

Fazit

Damit das visuelle System die höchste Qualität von Raumwahrnehmung und Objekterkennung ermöglicht, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

1. Objekte im Außenraum müssen in jedem Einzelauge bestmöglich abgebildet werden.
 2. Die Augen müssen sich in der Orthostellung befinden.
- Deshalb sollte die Vollkorrektur von monokularen und binokularen Fehlsichtigkeiten das angestrebte Ziel eines jeden Augenglasbestimmers sein.

Vor Anwendung der MKH (Mess- und Korrekturmethode nach Hans-Joachim Haase) müssen Ametropien der Einzelaugen exakt korrigiert sein. Danach wird mit der MKH eine vorhandene Winkelfehlsichtigkeit bestimmt und korrigiert, und innerhalb der MKH dient die Stereopsis zur Feinbestimmung prismatischer Korrekturen.

Liegt ein großer Stereogrenzwinkel vor oder ist eine Stereo-Verzögerung vorhanden, so ist das in der Regel ein Hinweis darauf, dass eine Winkelfehlsichtigkeit noch nicht voll korrigiert ist. Die erlernte höchste Qualität der Stereopsis kann erst durch eine prismatische Vollkorrektur (wieder) erreicht werden.

Eine (erst) durch binokulare Vollkorrektur erreichte gute Stereopsis ist beispielsweise sehr hilfreich beim Einfädeln in die Öse einer Nähnadel oder von erheblichem Vorteil im Auto bei der Durchfahrt durch ein enges Tor oder beim Einparken.

Wird bei Winkelfehlsichtigkeit eine mit der MKH ermittelte prismatische Korrektur getragen und bei späteren Messungen eine Verbesserung der Stereopsis festgestellt, zum Beispiel bei der wahrgenommenen Stereotiefe, so zeigt dies den Erfolg der Korrektur. ■

Erklärung verwendeter Begriffe [11]

Freies Sehen: Sehen ohne Korrektur.

Frontparallele Ebene: Lotrechte Ebene parallel zur Verbindungsgeraden zwischen den optischen Augendrehpunkten beider Augen.

Fusionsreiz: Von beidäugig wahrgenommenen Konturen ausgehender Reiz, der aufgrund hinreichend gleicher Bildeindrücke die Fusion anregt.

Haploskopie: Verfahren der für jedes Auge getrennten Objektdarbietung, die eine gleichzeitige visuelle Wahrnehmung ermöglicht.

Nachverzögerung: Stereo-Verzögerung mit einer verzögerten Wahrnehmung der richtigen Sehtiefe.

Orthostellung: Vergenzstellung, bei der sich die Fixierlinien beider Augen im angeblickten Objektpunkt schneiden.

Sehreiz: Von wahrgenommenen Konturen ausgehender Reiz, der das Akkommodationssystem zu einer Einstellung anregt, die zur Erkennung des angeblickten Objektes führen kann.

Sehtiefe: Wahrgenommene räumliche Tiefe eines in Blickrichtung ausgedehnten Objekts.

Sehwinkel: Winkel, unter dem zwei Objektpunkte vom objektseitigen Knotenpunkt des unbewegten Auges aus erscheinen (= Winkel zwischen den auf beide Punkte gerichteten Knotenpunktstrahlen). Nicht zu verwechseln mit **Blickwinkel:** Winkel zwischen den beiden Richtungen der Fixierlinie eines Auges, wenn bei unbewegtem Kopf zwei verschiedene Objektpunkte nacheinander angeblickt werden.

Spontanverzögerung: Stereo-Verzögerung mit einer verzögerten Wahrnehmung von Stereotiefe.

Statische Fixationsdisparation: Fixationsdisparation, die bei Winkelfehlsichtigkeit entsteht, wenn der fusionale Vergenzbedarf nicht vollständig durch fusionale Vergenz gedeckt wird.

Stereo-Verzögerung: Zeitliche Verzögerung der richtigen stereoskopischen Wahrnehmung einer in einer Binokularprüfung plötzlich dargebotenen Stereo-Figur oder eines im natürlichen Sehen unerwartet auftauchenden Stereo-Objektes.

Trenner-Verfahren: Verfahren der Haploskopie, bei dem jedes Auge das ihm zugedachte Bild eines Stereo-Bildpaares bezüglich Farbe, Größe, Helligkeit, Kontrast und Struktur gleichwertig dargeboten bekommt.

Autor:

Dr. Helmut Goersch

Westhofener Weg 30

12129 Berlin

www.drhgoersch.de

Literaturangaben

- [1] H. von Helmholtz: Handbuch der Physiologischen Optik, Verlag von Leopold Voss 1896
- [2] Norm: DIN 5340, Begriffe der physiologischen Optik, April 1998, in DIN-Taschenbuch Augenoptik, 3. Aufl. 1999, Beuth Verlag, ISSN 0342-801X, 3-37
- [3] Carl Zeiss, Markenoptik (Herausgeber): Handbuch für Augenoptik, 4. Auflage 2000
- [4] A. Gleichen und E. Klein: Schule der Optik, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1914
- [5] Norbert Günther: Die visuelle Raumwahrnehmung, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart 1969
- [6] Wilhelm Trendelenburg: Der Gesichtssinn, 2. Auflage, Springer-Verlag 1961
- [7] Hans-Joachim Haase: Zur Fixationsdisparation, DOZ-Verlag 2000, ISBN 3-922269-28-1
- [8] Peter Ringleb: So wird die Tiefensehschärfe am Pola-Stereometer ermittelt, Focus 18 (1982) 18-21
- [9] Georg Stollenwerk: Mündliche Mitteilung (Veröffentlichung in Vorbereitung)
- [10] Bela Julesz: Foundations of Cyclopean Perception, The University of Chicago Press 1971, ISBN 0-226-41527-9
- [11] Helmut Goersch: Wörterbuch der Optometrie, DOZ-Verlag 2004, ISBN 978-3-922269-43-4

Weitere empfehlenswerte Literatur zum Thema

Diepes, Heinz

Das nicht-querdisparate Tiefensehen und seine Bedeutung für die Raumwahrnehmung, Deutsche Optikerzeitung 7 (1979) 6-25

Goersch, Helmut

- Die Grundlagen der Stereopsis, Neues Optikerjournal 11 (1980) 17-23
- Stereopsis unter phorischer Belastung, Deutsche Optikerzeitung 9 (1982) 8-18
- Winkelfehlsichtigkeit – das Meßergebnis der MKH, Neues Optikerjournal 12 (1995) 10-13
- Meß- und Korrektionsmethodik nach H.-J. Haase (Seminar-Unterlagen, pdf-Datei), in „drhgoersch.de“ unter „Gesprochenes > Seminare Optometrie > Vom Autor allein durchgeführte Seminare > Nr. 10 (1997)“

Günther, Norbert

Die Struktur des Sehraumes, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart 1955

Haase, Hans-Joachim

– Winkelfehlsichtigkeiten mit Fixationsdisparation, DOZ-Verlag 2009, ISBN 978-3-922269-91-5

Hofmann, Franz Bruno

Die Lehre vom Raumsinn des Auges, Springer-Verlag Berlin 1970 [Reprint aus „Handbuch der gesamten Augenheilkunde“ (Graefe/Saemisch) 2. Aufl. Band III (Physiologische Optik), Kap. XIII – Teil 1 (1920) und Teil 2 (1925)]

Krüger, Ralph

Untersuchungen am Stereotest des Polatest-Sehprüfgerätes, Neues Optikerjournal 10 (1997) 6-18

Paysan, Heinz-Wilhelm; Schürle, Hermann

Random-Dot-Teste für das Polatest-Sehprüfgerät, Der Augenoptiker 5 (1985) 20-21

Sachsenweger, Rudolf

Experimentelle und klinische Untersuchungen des stereoskopischen Raumes, Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Nummer 136, Band 20, Johann Ambrosius Barth Verlag Leipzig 1958

Stollenwerk, Georg

- D6 – ein neuer differenzierter Stereotest, Neues Optikerjournal 4 (1998) 42-48, 5 (1998) 10-16, 6 (1998) 14-19, 7/8 (1998) 24-28
- Erweiterte Mess- und Korrektionsmöglichkeiten mit neuen differenzierten Stereotesten, Deutsche Optikerzeitung 5 (1999) 42-45, 6 (1999) 30-34
- Möglichkeiten und Grenzen bei der Anwendung des neuen reduzierten Valenztestes, Neues Optikerjournal 9 (1999) 26-31
- Stereopsis – Grundlagen und Prüfverfahren, Optometrie 1 (2012) 18-31