Dr. Helmut Goersch, Berlin

Einführung in das Binokularsehen

Teil III

(Fortsetzung aus Heft 12/1980)

2.5 Vergenz-Arbeitsstellung und Fusion

Normales binokulares Einfachsehen kann unter Umständen auch dann vorhanden sein, wenn sich die Augen nicht genau in der Orthostellung befinden. Dabei liegt kein bifoveoläres Sehen vor, nur die Fixierlinie *eines* Auges ist auf das Fixationsobjekt gerichtet. In einem späteren Kapitel über die Sensorik des Binokularsehens wird auf diese „Fixationsdisparation" näher eingegangen. Diejenige Vergenzstellung, bei welcher sich im Normalfall binokulares Einfachsehen ergibt, soll als „Arbeitsstellung" bezeichnet werden.

Definition 9 **Vergenz-Arbeitsstellung**

Vergenzstellung eines Augenpaares, bei der normales binokulares Einfachsehen vorliegt.

Die ideale Arbeitsstellung ist selbstverständlich die Orthostellung.

Mit dem Begriff „Fusion" [2, Lfd. Nr. 11] werden alle Vorgänge zusammengefaßt, die zur Verschmelzung der beiden monokularen Seheindrücke eines Augenpaares zu einer beidäugigen Einfachwahrnehmung führen. Als Ergebnis des *Vorganges* „Fusion" entsteht der *Zustand* „binokulares Einfachsehen", der auch als „Simultansehen mit Fusion" bezeichnet wird.

Definition 10 **Fusion**

Gesamtheit der Vorgänge, die eine Verschmelzung der Seheindrücke beider Augen zum binokularen Einfachsehen liefern.

Zur Fusion gehören sowohl motorische als auch sensorische Vorgänge, die stets ineinandergreifen. Weicht die Vergenzstellung eines Augenpaares von der für die binokulare Einfachwahrnehmung eines interessierenden Objektes notwendigen Arbeitsstellung ab, so ergibt sich daraus ein „Fusionsreiz" [2, Lfd. Nr. 13]. Durch diesen Fusionsreiz wird eine Vergenz ausgelöst, bis die Arbeitsstellung (im Idealfall also die Orthostellung) erreicht ist. Die Tatsache, daß der gesamte Vorgang unwillkürlich geschieht, ist als „Fusionszwang" oder „Fusionsreflex" bekannt [34, S. 131].

Die durch den Fusionsreiz ausgelöste Vergenz wird als „motorische" Fusion, manchmal auch als „Fusionsbewegung" bezeichnet [35, S. 43; 36, S. 74].

Definition 11 **Motorische Fusion**

Durch einen Fusionsreiz bewirkte Vergenz, die ein Augenpaar bei vorgegebener Lage eines Fixationspunktes in eine Arbeitsstellung überführt.

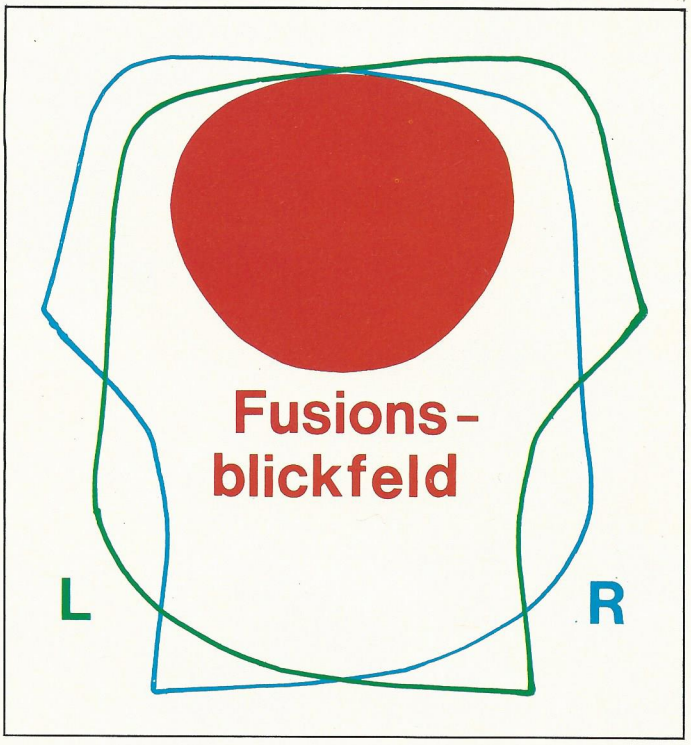

Abb. 16: Das Fusionsblickfeld eines Augenpaares nach Hering (L: Blickfeld des linken Auges, R: Blickfeld des rechten Auges. Aus [9] S. 269)

Befindet sich ein Augenpaar in einer Arbeitsstellung, dann setzt im Normalfall binokulares Einfachsehen durch „sensorische" Fusion ein.

Definition 12 **Sensorische Fusion**

Verschmelzung der Seheindrücke beider Augen zum binokularen Einfachsehen, ohne daß dazu eine Vergenz nötig ist.

Auch auf die sensorische Fusion wird im Kapitel über die Sensorik näher eingegangen.

Damit aus einer von der Arbeitsstellung abweichenden Vergenzstellung heraus Fusion erfolgen kann, müssen stets zwei Voraussetzungen erfüllt sein. Erstens muß ein Fusionsreiz vorhanden sein, und zweitens muß das Augenpaar die Fähigkeit besitzen, diesem Reiz mit entsprechender Vergenz Folge zu leisten. Bedingung für das Auftreten von Fusionsreizen ist *hinreichende* Gleichheit der Netzhautbilder in beiden Augen („objektive" Fusionsbedin-

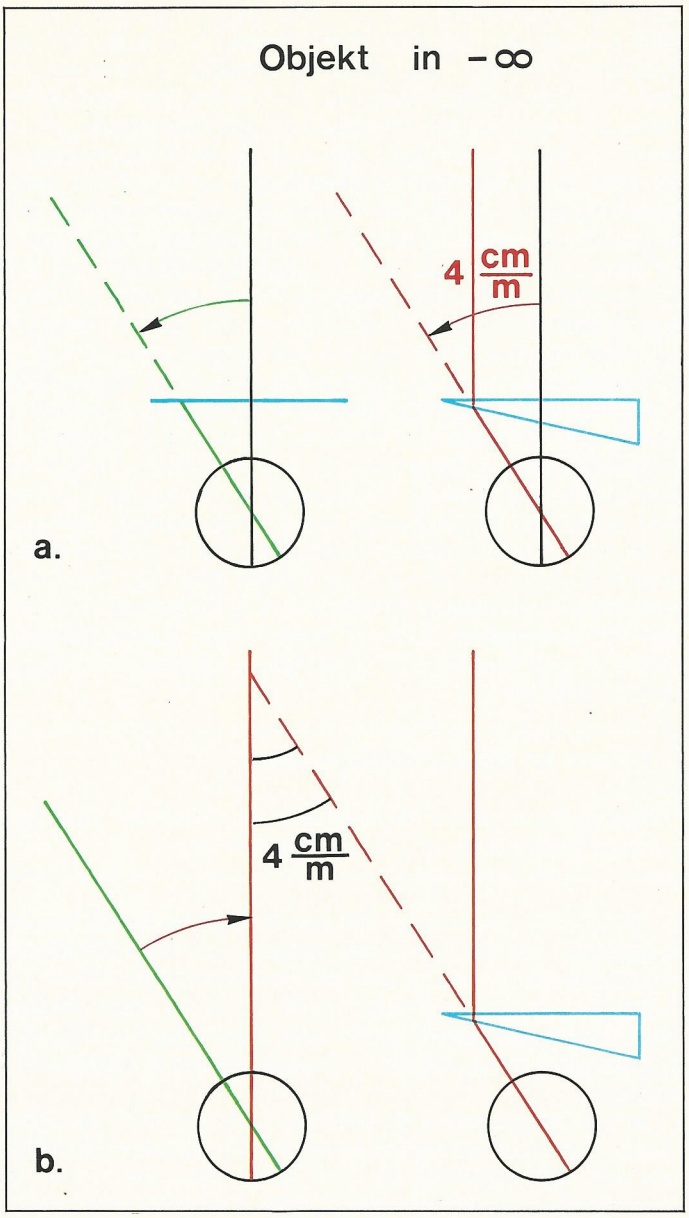

Abb. 17: Fusion bei unsymmetrischer Veränderung der Orthostellung

gung). Diese hinreichende Gleichheit bezieht sich auf Größe, Form, Struktur, Helligkeit, Kontrast, Schärfe und Farbe der Bilder. Ist die objektive Fusionsbedingung erfüllt, und besitzen die beiden monokularen Seheindrücke demzufolge hinreichend gleiche Wahrnehmungsqualität, dann müssen die Augen außerdem noch in der Lage sein, durch die Tätigkeit der Augenbewegungsmuskeln dem Fusionsreiz zu folgen, bis die Arbeitsstellung (im Idealfall die Orthostellung) erreicht ist („subjektive" Fusionsbedingung). Ist die subjektive Fusionsbedingung nicht erfüllt, wie etwa im Dissoziationsverfahren nach v. GRAEFE [8, S. 363; 35, S. 122], so wird doppelt gesehen. Für den äußerst seltenen (pathologischen) Fall, daß trotz erfüllter Fusionsbedingungen keine Fusion erfolgt, sondern Diplopie mit ständig wechselnder Entfernung der beiden monokularen Seheindrücke vorliegt, wird der Ausdruck „Horror fusionis" verwendet [37, S. 34].

Während das monokulare Blickfeld [1, Lfd. Nr. 11] eines jeden Auges alle Objekte umfaßt, die bei ruhig gehaltenem Kopf von diesem Auge zentral fixiert werden können, gibt das „Fusionsblickfeld" [26, S. 16] oder „binokulare Blickfeld" an, welche Objekte im natürlichen Sehen bei ruhendem Kopf fusioniert werden können. Am bekanntesten ist wohl die auf HERING zurückgehende, in Abb. 16 wiedergegebene Darstellung des Fusionsblickfeldes [9, S. 269].

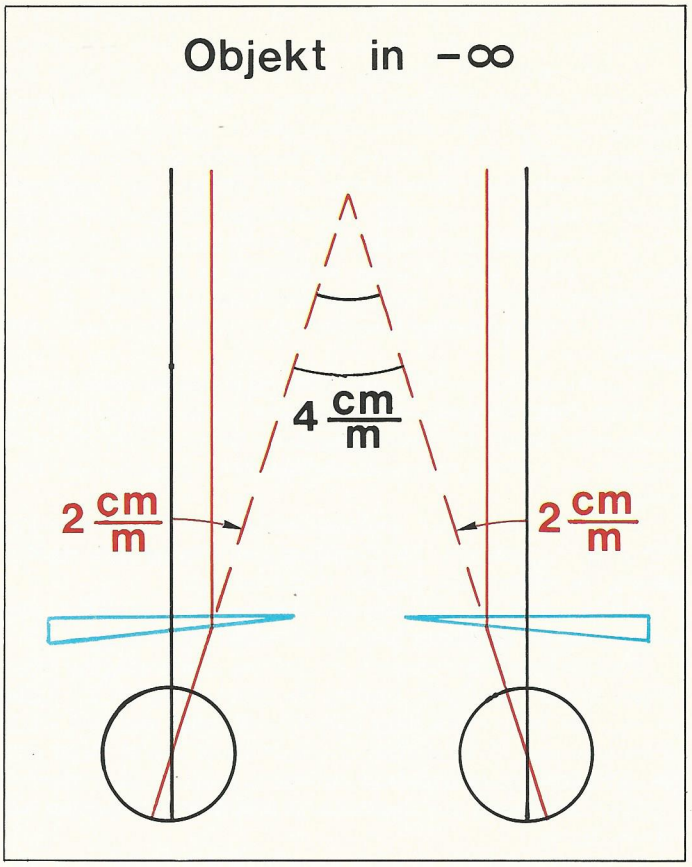

Abb. 18: Fusion bei symmetrischer Veränderung der Orthostellung

Die Fusion sorgt einerseits dafür, daß ein Augenpaar durch Vergenz in die zum binokularen Einfachsehen nötige Arbeitsstellung gelangt, andererseits aber auch dafür, daß eine einmal eingenommene Arbeitsstellung solange beibehalten wird („fusionale Verriegelung"), bis das Objekt des Interesses wechselt. Diese Tatsache der fusionalen Verriegelung einer Arbeitsstellung soll mit folgendem Beispiel illustriert werden, wobei die Orthostellung als Arbeitsstellung angenommen wird. Das Augenpaar der Abb. 17 blickt auf einen fernen Fixationspunkt. Die Orthostellung ist die Parallelstellung, es herrscht bifoveoläres binokulares Einfachsehen. Nun wird das linke Auge abgedeckt, und vor das rechte Auge wird ein Prisma (von z. B. 4 cm/m) mit der Basis außen, das heißt temporal, gehalten. Das Bild des Objektes wird um den entsprechenden Betrag zur temporalen Seite der Netzhaut hin verlagert. Der „Fixationsreflex" [38, S. 849] dient nun dazu, die zentrale Fixation wieder aufzunehmen. Dadurch wird eine Adduktion des rechten Auges ausgelöst. So erklärt sich auch die für Prismen mit Basis außen häufig benutzte Bezeichnung „adduzierende" Prismen (entsprechend heißen Prismen mit Basis innen, das heißt nasal, auch „abduzierende" Prismen). Nach dem HERING'schen Gesetz erfolgt außerdem eine gleichzeitige gleichgroße Abduktion des abgedeckten linken Auges, insgesamt macht das Augenpaar also eine Laevoversion, wodurch die Parallelstellung beibehalten wird (Abb. 17a), sofern dies die entsprechende Dunkelruhestellung des Augenpaares ist (siehe Abschnitt 2.6). Wenn nun die Abdeckung des linken Auges entfernt wird, so erfolgt eine Adduktion dieses Auges, um wieder zentrale Fixation des fernen Objektes aufzunehmen und damit Fusion zu ermöglichen (Abb. 17b). Würde das rechte Auge diese Duktion im Sinne einer Dextroversion mitmachen, dann würde das Fixationsobjekt doppelt gesehen. Das wird jedoch von dem jetzt wieder vorhandenen Simultansehen mit Fusion verhindert, die Vergenzstellung der Augen richtet sich nach der neuen, durch das Prisma veränderten Orthostellung cc. Es handelt sich dabei in diesem Beispiel um eine asymmetrische Konvergenzstellung von 4 cm/m. Wäre das Prisma vor

das rechte Auge gesetzt worden, ohne das linke Auge abzudekken, so hätte sich aufgrund der motorischen Fusion unmittelbar die asymmetrische Konvergenzstellung der Abb. 17b ergeben. Wenn andererseits das Prisma mit Basis außen vor das linke Auge gehalten worden wäre, hätte dieses eine entsprechende Adduktion ausgeführt, um das Augenpaar in die nun zur anderen Seite hin asymmetrische Orthostellung cc zu bringen. Bei symmetrischer Verteilung der binokular-prismatischen Wirkung mit temporaler Basislage auf beide Augen hätte der Fusionsreiz eine Konvergenz zur Folge, durch die das Augenpaar in die symmetrische Konvergenzstellung der Abb. 18 gelangte (Orthostellung cc).

Anhand der erläuterten Beispiele kann zusammenfassend festgestellt werden:

1. Eine binokular-prismatische Wirkung in den Durchblickpunkten einer Brille verändert die durch einen Fixationspunkt in einer bestimmten Arbeitsentfernung gegebene Orthostellung (die nach Formel 1 zu ermitteln ist) um den Betrag dieser prismatischen Wirkung.

2. Bei adduzierender binokular-prismatischer Wirkung ergibt sich eine Vergrößerung, bei abduzierender Wirkung eine Verkleinerung der horizontalen Vergenz-Orthostellung.

3. Eine vertikale binokular-prismatische Wirkung liefert eine entsprechende Vertikalkomponente für die Orthostellung.

4. Ist die binokular-prismatische Wirkung gleichmäßig auf beide Augen verteilt (das heißt: beiderseits gleiche Beträge mit Basis außen, oder Basis innen, oder rechts Basis unten und links Basis oben, oder rechts Basis oben und links Basis unten), dann wird die Orthostellung symmetrisch verändert, anderenfalls unsymmetrisch entsprechend den ungleichen prismatischen Wirkungen vor beiden Augen.

5. Der Fusionszwang sorgt dafür, daß die Augen eine der neuen Orthostellung cc entsprechende Arbeitsstellung einnehmen, sofern objektive und subjektive Fusionsbedingungen erfüllt sind.

6. Die Veränderung der Orthostellung durch eine binokular-prismatische Wirkung in den Durchblickpunkten einer Brille bedeutet eine gleichgroße Veränderung des Vergenzbedarfs (Definition 6). Diese Auswirkung wurde früher auch mit dem Ausdruck „Brillenvergenz" bezeichnet [4, S. 152].

2.6 Vergenz-Ruhestellung und Ruhestellungsfehler

Es besteht wohl Einigkeit darin, mit dem Begriff „Ruhestellung" (oder Ruhelage) den unter den gegebenen Umständen anstrengungsärmsten Zustand eines Vergenzsystems zu bezeichnen. In einer Ruhestellung gelangen die insgesamt schwächsten Innervationsimpulse an die Augenbewegungsmuskeln, wobei die Innervationsverhältnisse von verschiedenen äußeren Umständen abhängig sind. Es handelt sich jeweils um Zustände eines „Muskelgleichgewichtes", da hierbei keine Kraftrichtung überwiegt.

Definition13 **Vergenz-Ruhestellung**

Die unter vorgegebenen äußeren Umständen anstrengungsärmste Vergenzstellung eines Augenpaares (Muskelgleichgewichtsstellung).

Um eine andere als die Vergenz-Ruhestellung einzunehmen, sind stärkere Innervationen der Augenmuskeln notwendig, das Muskelgleichgewicht ist gestört, und der Energiehaushalt des Körpers wird (meist unnötig) belastet.

Zu unterschiedlichen äußeren Umständen gehören verschiedene, teilweise stark voneinander abweichende Ruhestellungen. Die absolute (auch anatomische, mechanische oder statische), das heißt innervationslose Ruhestellung, liegt nur unmittelbar nach dem Tode vor [34, S. 169; 36, S. 144] und ist sowohl für die physiologische Optik als auch für die Optometrie ohne Bedeutung. Aber auch die Schlafruhestellung des BELL'schen Phänomens [9, S. 289] als eine der physiologischen relativen (das heißt von den äußeren Umständen des lebenden Organismus abhängigen) Ruhestellungen ist optometrisch bedeutungslos. Von wesentlicher Bedeutung sind jedoch diejenigen Vergenz-Ruhestellungen, in denen im Wachzustand bei offenen Augen Muskelgleichgewicht herrscht. Einen besonders starken Einfluß auf die Größe dieser Ruhestellungen kann die Leuchtdichte des Gesichtsfeldes [1, Lfd. Nr. 9], insbesondere im zentralen Bereich, besitzen. Diese qualitativ schon lange bekannte und als „Hell-Dunkel-Effekt" des Vergenzsystems bezeichnete Tatsache [39, S. 64] wurde kürzlich auch quantitativ untersucht [40]. Dabei zeigte sich der Hell-Dunkel-Effekt bei zwei Drittel aller Versuchspersonen, beginnend im Übergangsbereich zwischen dem photopischen und dem mesopischen Sehen [4, S. 64], also etwa bei Leuchtdichten zwischen 10 und 1 cd/m^2. Die gute Reproduzierbarkeit der bei den Versuchen erhaltenen Meßergebnisse legt den Schluß nahe, daß die Größe der Vergenz-Ruhestellung in Abhängigkeit von der Leuchtdichte eine individuelle Eigenart eines jeden Vergenzsystems darstellt.

Im Bereich des photopischen Sehens ist die Vergenz-Ruhestellung offenbar nicht von der Leuchtdichte abhängig. Für diesen optometrisch wichtigsten Bereich wird deshalb von *der* „Hellruhestellung" gesprochen, wobei für beide Augen gleiche Helligkeit vorliegen muß, was im natürlichen Sehen ohnehin in der Regel gewährleistet ist.

Definition 14 **Vergenz-Hellruhestellung**

Vergenz-Ruhestellung im photopischen Sehen bei gleicher Beleuchtungsstärke der Netzhäute beider Augen.

Ohne Zusatz bezieht sich der Begriff Hellruhestellung auf den Zustand der auf ihre Fernpunkte eingestellten, das heißt akkommodationslosen Augen, obwohl der Deutlichkeit wegen auch der Ausdruck „Fernhellruhestellung" zu finden ist. Zu jedem *anderen* Akkommodationszustand gehört eine andere Ruhestellung des Augenpaares; diese „Nahruhestellungen" werden in Abschnitt 2.8 erläutert.

In Vergenzsystemen mit Hell-Dunkel-Effekt weicht die Ruhestellung bei Leuchtdichten unterhalb des photopischen Bereiches von der Hellruhestellung ab, und diese Abweichung wird mit abnehmender Leuchtdichte meist größer, aber auch ein wellenförmiger Verlauf wurde beobachtet [40]. Außer der Hellruhestellung kann es also weitere von den entsprechenden Beleuchtungsverhältnissen bestimmte Ruhestellungen geben, die als „Dunkelruhestellungen" bezeichnet werden.

Definition 15 **Vergenz-Dunkelruhestellung**

Eine der Vergenz-Ruhestellungen im mesopischen oder im skotopischen Sehen.

Auch bei ungleichen Helligkeiten für beide Augen (insbesondere also bei manchen binokularen Prüfsituationen) kann sich eine Dunkelruhestellung des Vergenzsystems ergeben.

Beim normalen binokularen Einfachsehen befinden sich die meisten Augenpaare nicht im Zustand des Muskelgleichgewichtes [41, S. 81]. Sie nehmen im natürlichen Sehen aufgrund der Fusionsreize eine Arbeitsstellung ein, und wenn *sensorisch ideales* Binokularsehen vorliegt, dann stehen sie in der Orthostellung. Bei manchen Augenpaaren führen die besonderen Umstände ihres Muskelgleichgewichtes sogar zu einem Schielen. In den vorgenannten Fällen stimmen Ruhestellung und Orthostellung nicht überein, was in der Literatur allgemein als „Stellungsanomalie" bezeichnet wird [38; 41]. Weicht die Vergenz-Ruhestellung eines Augenpaares von der durch den binokularen Fixationspunkt gegebenen Orthostellung ab, so besitzt dieses Augenpaar einen

„Ruhestellungsfehler", der oft auch nur als „Stellungsfehler" bezeichnet wird [8, S. 129; 35, S. 62].

Definition 16 **Ruhestellungsfehler**

Unterschied zwischen der Vergenz-Hellruhestellung eines Augenpaares und der Orthostellung.

Da die Orthostellung rein geometrisch-optisch zu ermitteln ist (für ferne Objekte Parallelstellung, für nahe Objekte Konvergenzstellung nach Formel 1), läuft die meßtechnische Bestimmung eines Ruhestellungsfehlers auf die Messung der Hellruhestellung hinaus. Im Rahmen dieser Einführung in das Binokularsehen geht es jedoch hauptsächlich um die begriffliche Erläuterung der physiologisch-optischen Gegebenheiten, weshalb die Frage einer korrekten Messung der Hellruhestellung hier nicht erörtert zu werden braucht. Die kontroversen Antworten auf diese Frage sind bekannt [38, S. 123]. Hier soll nur darauf hingewiesen werden, daß bisher noch nicht untersucht worden ist, ob im normalen natürlichen Binokularsehen (mit Fusion) genau die gleiche Ruhestellung maßgeblich ist, die sich unter Aufhebung aller Fusionsreize einstellt. Deshalb wurde in der Definition 13 die klassische Formulierung der Ruhestellung als *fusionsfreie* Vergenzstellung [36, S. 144] absichtlich vermieden.

Die Ruhestellungsfehler werden grundsätzlich in zwei verschiedene Arten eingeteilt, je nachdem, ob normales Binokularsehen bei Anwesenheit von Fusionsreizen vorliegt oder nicht. Stellt sich trotz eines Ruhestellungsfehlers normales binokulares Einfachsehen durch Fusion ein, dann handelt es sich um einen *latenten* Stellungsfehler, der als „Heterophorie" [2, Lfd. Nr. 15] bezeichnet wird. Durch das Simultansehen mit Fusion bleibt dieser Ruhestellungsfehler im natürlichen Sehen verborgen (*latent*).

Definition 17 **Heterophorie**

Ruhestellungsfehler, bei dem durch Fusion normales binokulares Einfachsehen zustande kommt (*Latenter* Stellungsfehler).

Verhindert der Ruhestellungsfehler eines Augenpaares das normale binokulare Einfachsehen, dann handelt es sich um einen *manifesten* Stellungsfehler, der als „Strabismus" [2, Lfd. Nr. 31] oder „Heterotropie" [3, Lfd. Nr. 148] bezeichnet wird.

Definition 18 **Heterotropie**

Ruhestellungsfehler, bei dem kein normales binokulares Einfachsehen zustande kommt (*Manifester* Stellungsfehler, *Strabismus, Schielen).*

Die Größe eines Ruhestellungsfehlers ist kein Kriterium dafür, ob es sich um eine Heterophorie oder um einen Strabismus handelt. Es gibt sowohl große Heterophorien als auch kleine Strabismen. Die Art eines Ruhestellungsfehlers kann immer nur anhand der Qualität des Binokularsehens ermittelt werden.

(Wird fortgesetzt)

Literaturhinweise

[1] DIN 58 208
„Begriffe und Zeichen bei Brillengläsern in Verbindung mit dem menschlichen Auge" Teil 3 „Auge" (September 1978) (Erste Ausgabe April 1972)
[2] DIN 58 208
„Begriffe und Zeichen bei Brillengläsern in Verbindung mit dem menschlichen Auge" Teil 5 „Binokulares System Auge — Brille" (Entwurf August 1978)
[3] DIN 5340
„Begriffe der physiologischen Optik" (Entwurf Februar 1979)
[4] „Handbuch für Augenoptik"
Herausgeb. Carl Zeiss, Oberkochen (1977)
[8] HEINZ DIEPES
„Refraktionsbestimmung" Verlag Heinz Postenrieder, Pforzheim (2. Auflage 1975)
[9] WILHELM TRENDELENBURG
„Der Gesichtssinn" Springer-Verlag, Berlin (2. Auflage 1961)
[26] G. MACKENSEN
„Untersuchung der Motilität und der Binokularfunktion" in Wolfgang Straub (Herausgeb.) „Die ophthalmologischen Untersuchungsmethoden" Band II Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1976)
[34] HOWARD SOLOMONS
„Binocular Vision" William Heinemann Medical Books Ltd., London (1978)
[35] THEO GLASER
„Die Phorien" VEB Verlag Technik Berlin (1969)
[36] BURIAN — VON NOORDEN'S
„Binocular vision and ocular motility" The C. V. Mosby Company, St. Louis (Second Edition, 1980)
[37] JOACHIM OTTO
„Lehrbuch und Atlas der Orthoptik". Verlag Hans Huber Bern (1975)
[38] FRANZ ANTON HAMBURGER
„Stellungsanomalien" in Karl Velhagen (Herausgeb.) „Der Augenarzt" Band III. VEB Georg Thieme, Leipzig (1960)
[39] H.-J. HAASE/G. FORST/D. PESTALOZZI/H. GOERSCH
„Binokulare Korrektion" (Eine Sammlung von zehn Arbeiten aus den Jahren 1957—1978). Verlag Willy Schrickel, Düsseldorf (1980)
[40] UWE WULFF
„Zusammenhang von Vergenzruhelage und Leuchtdichte zentral dargebotener Testzeichen" Dissertation, Medizinischer Fachbereich der Freien Universität Berlin (1980)
[41] W. DODEN
„Stellungsanomalien und Motilitätsstörungen" in Th. Axenfeld/H. Pau „Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde" Gustav Fischer Verlag, Stuttgart (1980)

Sammelbox

- Alle Berufsinformationen dieser Fachzeitschrift werden zukünftig stets geordnet am gleichen Platz bereit gehalten
- Jede Sammelbox faßt einen kompletten Jahrgang
- Etiketten mit der gewünschen Jahreszahl werden mitgeliefert
- Preis je Sammelbox inc. Porto **12,50 DM** + 13% MwSt.
- Lieferung nur gegen Vorkasse auf die Konten:
  Postscheck-Konto: Köln 92584-500
  Bank: Deutsche Bank Düsseldorf 3942836

Verlag Willy Schrickel, 4000 Düsseldorf 30
Klever Str. 33 · Fernruf: 0211/488521