

(Aus der physikalischen Abteilung des Physiologischen Institutes
zu Berlin.)

Untersuchungen über binokulares Sehen mit Anwendung des HERINGSchen Fallversuchs.

Von

Dr. RICHARD GREEFF,

Assistenzarzt an der kgl. Universitäts-Augenklinik zu Berlin.

(Mit 8 Abbildungen.)

Inhalt.

§ 1. Einleitung und Apparat	S. 21.
§ 2. Tiefenwahrnehmung bei parallel gestellten und divergierenden Sehaxen	S. 28.
§ 3. In welcher Entfernung ist der Fallversuch noch möglich?	S. 34.
§ 4. Binokularsehen bei herabgesetzter Sehschärfe eines Auges	S. 41.
§ 5. Binokulares Sehen Schielender	S. 45.

§ 1. Einleitung und Beschreibung des Apparates.

Die Lokalisation und Beurteilung der uns umgebenden Dinge geschieht offenbar durch eine Kombination aus den Netzhautbildern und den Muskelempfindungen unserer Augen. Wir ziehen aus der Größe und Beschaffenheit der beiden Netzhautbilder und dem Spiel der Außen- und Binnenmuskeln der Augen einen Schluss auf die Größe, Gestalt und Entfernung des betrachteten Objekts. Diesen Schluss richtig zu ziehen, lehrt uns erst die Erfahrung; bekanntlich ist ein Blinder, der plötzlich sehend wird, den größten Irrtümern unterworfen.

Auch der Einäugige besitzt ein gewisses körperliches Sehen, wie uns die tägliche Erfahrung lehrt, er ist z. B. wohl im stande, eine weiße Scheibe von einer gleich großen Kugel zu unterscheiden, jedoch bleibt er in der Beurteilung der Außenwelt, besonders der Tiefen-Dimensionen oder der Entfernungen vom Auge, gegen den binokular Sehenden weit zurück und wird viel häufiger, als dieser, falsche Schlüsse ziehen. Dem Einäugigen fehlt von den Netzhauteindrücken und von den Muskelempfindungen je ein wichtiger Faktor. Von ersteren entbehrt er die Beurteilung nach den verschiedenen perspektivischen Netzhautbildern der beiden Augen, von letzteren die Beurteilung nach der Konvergenz der Sehaxen.

Die Verschmelzung der beiden Netzhautbilder im Gehirn muß erlernt werden, und es scheint, daß sie in ganzer Vollendung nur in der Jugend erlernt wird (s. unten). Unter Umständen findet diese Verschmelzung der Bilder bei Zweiaugigen nicht statt; trotzdem dieselben auf beiden Augen scharfe Netzhautbilder empfangen, können dieselben geistig nicht vereinigt werden, es fehlt ihnen der binokulare Sehakt, und sie verhalten sich im körperlichen Sehen wie Einäugige. Die Theorie von der steten Unterdrückung des einen Netzhautbildes kann als widerlegt betrachtet werden; beide Bilder kommen zum Bewußtsein, wie zu beweisen ist,¹ können jedoch nicht zu einem geistigen Urteil vereinigt werden.

Das feinste Prüfungsmittel, ein Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des binokularen Sehens zu prüfen, ist der sogenannte HERINGSche Fallversuch.² Der Apparat ist so beschaffen, daß er die Muskelbewegungen der Augen so gut wie ganz auszuschließen im stande ist, und er soll dadurch den Beweis bringen, daß das Wesentliche zur Beurteilung der Tiefen-Dimension die perspektivischen Netzhautbilder ausmachen, eine Ansicht, die schon von dem Erfinder des Stereoskopes, WHEATSTONE, ausgesprochen wurde, gegenüber der Meinung von BRÜCKE und anderen, welche das Hauptgewicht auf die Muskelempfindungen legten.

Man stellt den HERINGSchen Fallversuch bekanntlich folgendermaßen an: Durch einen weiten Cylinder aus Pappe von wenigen Zoll Länge blickt man mit beiden Augen auf einen vorgehaltenen Punkt (eine Nadelspitze oder sonst ein isoliertes Objekt), während ein Gehülfe kleine Kügelchen dicht vor oder hinter dem fixierten Punkte herunterfallen läßt. Man wird sich dann nie darüber täuschen, ob die Kügelchen diesseits oder jenseits des fixierten Punktes gefallen sind, sondern wird sogar im stande sein annähernd anzugeben, in welchem Abstände vom Fixationspunkte sie herabgefallen sind. Bei Verschluss eines Auges oder bei fehlendem binokularem Sehakt wird man dagegen hierzu nicht im stande sein. Als Fixationspunkt wählt man gewöhnlich eine weiße Perle, die vor der Papp-

¹ Siehe SCHWEIGGER: *Lehrbuch der Augenheilkunde*. 5. Aufl. S. 138 u. f.

² E. HERING: *Die Gesetze der binokularen Tiefenwahrnehmung*. *Archiv f. Anat. u. Physiol.*, Jahrg. 1865.

röhre in einer Entfernung von ca. 50 cm vom Auge zwischen Drähten an einem von oben nach unten verlaufenden Faden vor einem schwarzen Hintergrund angebracht ist.

Gegen die Exaktheit des HERINGSchen Fallversuches wurden von DONDERS und seinen Schülern folgende Einwände erhoben:¹

1. Wenn die Kugel nicht dicht vor dem Auge niederfällt, so muß sie aus einer ansehnlichen Höhe fallen, um während des Falles jede Bewegung der Augen sicher auszuschließen.

2. Die scheinbare Schnelligkeit des Falles, die mit der Verminderung der Entfernung vom Auge zunimmt, dürfte eine Andeutung geben.

3. Fixiert man einen Punkt, so bekommt man von anderen vor oder dahinter liegenden Punkten Doppelbilder, und zwar von den davorliegenden Punkten gekreuzte, von den dahinterliegenden gleichnamige. Das fallende Kügelchen erscheint also in jedem Falle doppelt, und zwar als doppelte senkrechte Linie, jedoch mit dem Unterschiede, daß diese Linien, vor dem Fixierpunkte gelegen, nach oben zu divergieren scheinen, hinter dem Fixierpunkte gelegen, nach oben zu konvergieren scheinen. Auch aus dieser Thatsache soll sich ein Anhaltspunkt für das Urteil ergeben.

In der That fand DESSÉ durch eine große Reihe von Versuchen, welche im DONDERSschen Institut angestellt wurden, daß beim Sehen mit nur Einem Auge im HERINGSchen Apparate die falschen Angaben sich zu den richtigen verhielten, wie 2 : 3, nicht wie nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu verlangen ist, wie 2 : 2.

Um den nicht fixierten Punkt dem Beobachter nur momentan zu zeigen und eine Bewegung der Augenmuskeln also nach Möglichkeit auszuschließen, ließ DONDERS deshalb im dunklen Raume eine Linie fixieren, welche durch schnell nacheinander zwischen zwei Kupferdrähten überspringende Induktionsfünkchen gebildet wurden. Vor und hinter dieser Fixationslinie sprangen von Zeit zu Zeit Funken über, deren Abstand vom Fixierpunkte (vor oder hinter demselben) angegeben werden mußte.²

¹ VAN DER MEULEN: *Stereoskopie bei unvollkommenem Sehen*. v. Graefes Archiv, Bd. XIX (1).

² DONDERS: *Archiv f. Ophthalm.*, Bd. XVII und *Ibid.*, Bd. XIII.

HERING¹ suchte die Einwände von DONDERS gegen den Fallversuch zu widerlegen und betonte, daß dieselben praktisch jedenfalls nicht in Betracht kämen.

Fußend auf den Einwänden von DONDERS wurde jedoch von VAN DER MEULEN ein verbesserter HERINGScher Fallapparat² konstruiert, ein ziemlich kompliziertes Instrument, welches nach folgenden Grundsätzen gebaut ist: 1. Die Zeit, während welcher die Kügelchen im Gesichtsfeld sind, soll so kurz sein, daß Augenbewegungen ausgeschlossen sind; 2. die Kügelchen sollen aus einer solchen Höhe fallen, daß sie die verschiedenen Höhen-Dimensionen des Gesichtsfeldes bei verschiedenen Entfernungen vom Auge in derselben Weise durchlaufen; 3. der Winkel, unter dem die Kügelchen gesehen werden, soll für alle derselbe sein.

Die erste Bedingung wird dadurch erfüllt, daß die Augen durch ein kleines Kästchen sehen, in dem das Gesichtsfeld durch eine horizontale und vertikale Spalte sehr eingeschränkt wird. Um die zweite Bedingung zu erfüllen, ist über dem Apparat eine Kurve angebracht, welche durch Striche die Höhe anzeigt, in der die Kügelchen in den verschiedenen Entfernungen fallen müssen, um in derselben Weise das Gesichtsfeld zu durchlaufen. Der dritten Forderung wird dadurch genügt, daß neun verschiedenen große Kügelchen vorhanden sind, welche von Teilstrichen der oben befindlichen Kurve herabfallen und deren Größe der Entfernung entsprechend zu wählen ist.

Dieser wissenschaftlich sehr exakte Apparat hat gegenüber dem einfachen zum Unterricht und zur Untersuchung leicht herzustellenden HERINGSchen den Fehler, zu kompliziert zu sein; ferner ist man bloß in kleinen Strecken vor dem Auge imstande, den Versuch anzustellen. So hat sich der Apparat VAN DER MEULENS auch nicht einzubürgern vermocht.

Die Einwände DONDERS' sind theoretisch sicher richtig, es fragt sich nur, ob bei der praktischen Ausführung dieselben eine nennenswerte Bedeutung haben, was ja schon von HERING geleugnet wurde.

Sicher reduzieren wir die Fehler auf ein Minimum oder bringen sie thatsächlich zum Verschwinden, wenn wir die

¹ E. HERING: *Archiv f. Ophthalm.*, Bd. XIV, 1.

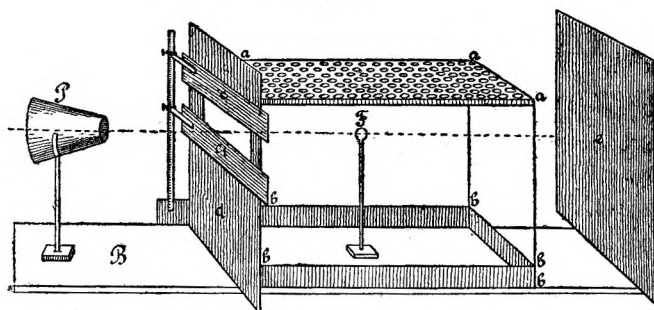
² VAN DER MEULEN: *Graefes Archiv*, Bd. XIX, 1.

fallenden Kugeln einfach dadurch dem Beobachter möglichst kurze Zeit erscheinen lassen, daß wir den Gesichtswinkel, unter welchem dieselben sichtbar sind, möglichst klein nehmen, und es zeigt die praktische Ausführung, daß derselbe recht klein sein kann.

Ferner war es zu meinen Untersuchungen notwendig, den Apparat so einzurichten, daß er in jeder, auch weiten Entfernung vor den Augen benutzt werden kann, und schließlich, daß man die Entfernung, welche die fallenden Kugeln von dem Fixierpunkt haben, nicht vernachlässigt, sondern genau zu bestimmen im stande ist.

Unter diesen Gesichtspunkten und in der Absicht, den Apparat möglichst einfach zu lassen, gestaltete sich im Laufe der Untersuchungen der Apparat folgendermaßen:

Fig. 1.



Der Beobachter sieht durch die gewöhnliche Pappröhre (*P*) von etwa 30 cm Länge, welche hinten eine Öffnung von etwa 20 cm im Durchmesser hat, so daß das ganze Gesicht hinein- geht und welche nach vorne behufs Verkleinerung des Gesichtsfeldes enger wird. Das Innere der Röhre ist schwarz. Der Zweck dieser Röhre ist nur, störende Bilder oder Licht von den Augen abzuhalten; sie kann oft, besonders bei weiten Entfernungen, unbeschadet fortgelassen werden. Die Röhre besitzt unten ein Stativ und steht auf einem langen schwarzen Brett (*B*), auf dem weiter vorne als Fixierpunkt (*F*) in gleicher Höhe eine kleine weiße Perle oder nach Bedürfnis eine etwas größere Gipskugel sich befindet, die auf der Spitze eines möglichst feinen schwarzen Drahtes befestigt ist. Dieser Punkt steht in einem etwa 60 cm langen und 20 cm breiten Kasten (*bb*)

von geringer Höhe, dessen Boden mit einem dicken schwarzen Tuch bedeckt ist, welches die fallenden Kugeln aufhalten soll. Über dem Kasten baut sich ein Gerüst von 30 cm Höhe auf, dessen Decke (*aa*) aus einer Pappscheibe besteht, in welche genau im Abstand von je 2 cm runde Löcher von $\frac{1}{2}$ cm im Durchmesser geschlagen sind. Durch diese Löcher werden die Kügelchen fallen gelassen, und man ist so im stande, genau anzugeben, um wie viel vor oder hinter dem Fixierpunkt die Kügelchen fielen. Um den Gesichtswinkel, unter dem die fallenden Kugeln erscheinen, berechnen und beliebig vergrößern oder verkleinern zu können, sind vor dem Kasten zwei schwarze Pappscheiben (*c* und *c'*) so angebracht, daß sie, in Schrauben eingeklemmt, an einem seitlich befindlichen Ständer bequem nach oben und unten verschoben werden können. Endlich ist seitlich und über dem Kasten noch eine Pappwand (*d*) anzubringen, welche den Zweck hat, die Bewegungen des Gehülfen dem Beobachter zu verdecken. In beliebiger Entfernung hinter dem Apparat muß ein schwarzer Hintergrund sich befinden (*e*).

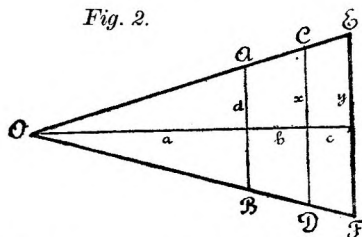
Man wird leicht im stande sein, sich diesen Apparat selbst herzustellen.

Als Lichtquelle wurde meist eine seitlich vom Apparat neben dem Fixierpunkt befindliche Gasflamme benutzt, zur Kontrolle wurde auch Tageslicht und das LINNEMANNSCHE Zirkonlicht angewendet.

Daß dieser Apparat den gestellten Anforderungen genügt, soll ein Beispiel klarlegen: Der Fixationspunkt (eine kleine weiße Perle) befinde sich in 1 m Entfernung von den Augen und 5 cm davor der durch die beiden verschiebbaren Platten gebildete Spalt. Es bedarf alsdann keiner zu großen Aufmerksamkeit, um die fallende Kugel deutlich zu sehen, wenn der Spalt 3 cm breit eingestellt wird. Der Fixationspunkt steht in der Mitte zwischen zwei Löchern, in der Decke des Gerüsts, und die Kügelchen fallen in der ersten Reihe der Löcher vor oder hinter dem Fixationspunkt, also je 1 cm von diesem entfernt, herab.

Die Entfernung (*a*) des Spaltes von dem Auge beträgt also 95 cm, die Breite ($AB = d$) des Spaltes 3 cm, die Entfernung (*b*) des Weges ($CD = x$) der vorne fallenden Kugel vom Spalt beträgt 4 cm, die Entfernung ($b + c$) des Weges ($EF = y$) der hinten fallenden Kugel vom Spalt 6 cm.

Fig. 2.



Es verhält sich nun $x : a + b = d : a$

$$\text{also ist } x = d \cdot \frac{a + b}{a} = 3 \cdot \frac{95 + 4}{95}$$

$x = 3,126 \text{ cm} = \text{Weg der vorne fallenden Kugel.}$

Ebenso verhält sich $y : a + b + c = d : a$

$$\text{also ist } y = d \cdot \frac{a + b + c}{a} = 3 \cdot \frac{95 + 6}{95}$$

$y = 3,189 \text{ cm} = \text{Weg der hinten fallenden Kugel.}$

Es dürfte hieraus ersichtlich sein, daß der Unterschied in der Länge der Wege der vorne und hinten fallenden Kugel, der also nur 0,063 mm ausmacht, unmöglich beschuldigt werden kann, einen Anhaltspunkt für die Beurteilung der Tiefen-Dimension abzugeben.

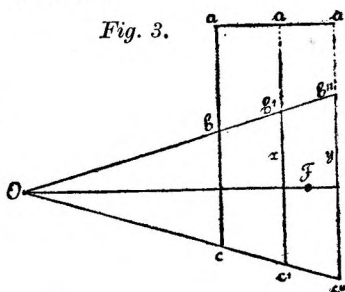
Was die Zeit betrifft, in der die beiden Kugeln dem Auge sichtbar werden, so kann man dieselbe, mit Vernachlässigung einer kleinen Ungenauigkeit, schon so bestimmen, daß man die Fallgeschwindigkeit auf der Mitte des Weges nach der Formel:

$$v = \sqrt{2gs}$$

berechnet und hierdurch den Weg der fallenden Kugeln (x resp. y) dividiert.

Theoretisch genauer ist folgendes Verfahren: Man berechnet die Zeit bis zum Sichtbarwerden der Kugel und die Zeit bis zum Verschwinden derselben und substrahiert erstere von letzterer.

Fig. 3.



aaa ist die Decke des Kastens, von der die Kugeln fallen.

Die Kugeln fallen bis zur Höhe des Fixierpunktes (F) 15 cm herab.

Also beträgt:

$$ab' = 15 - \frac{1}{2}x$$

$$ac' = 15 + \frac{1}{2}x$$

$$ab'' = 15 - \frac{1}{2}y$$

$$ac'' = 15 + \frac{1}{2}y$$

Diese Werte als s in die Formel

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$$

eingesetzt, ergeben: für ab' , $t = 0,1720$ Sek., für ac' , $t = 0,1910$ Sek.; also ist die Zeit, in der $b'c'$ durchfallen wird, gleich $0,0190$ Sek. = Sichtbarsein der vorne fallenden Kugel; ferner für ab'' , $t = 0,1718$ Sek., für ac'' , $t = 0,1912$ Sek., also wird $b''c''$ durchfallen in $0,0194$ Sek. = Sichtbarsein der hinten fallenden Kugel.

Die Zunahme in der Zeit, in der eine hinten fallende Kugel sichtbar bleibt, ist also eine verschwindend kleine und kann selbst bei größeren Abständen unmöglich einen Anhaltspunkt gewähren.

Auch ist bei einem Sehen in einer Zeit von noch nicht $\frac{2}{10}$ Sekunde eine Augenbewegung und eine Accommodation ausgeschlossen.

§ 2. Tiefenwahrnehmung bei parallel gestellten und divergierenden Sehaxen.

Wenn man der Ansicht ist, daß die Konvergenz der Sehaxen wesentlich zur Tiefenwahrnehmung beiträgt, so muß sich finden, daß entweder bei künstlich parallel gestellten Sehaxen oder in einer solchen Entfernung, daß die einfallenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen, der HERINGSche Versuch nicht mehr möglich ist oder doch wesentlich ungünstiger ausfällt.

Setzt man vor ein Auge ein Prisma mit der Basis nach innen, so erhält man von einem in der Nähe fixierten Punkte gleichnamige Doppelbilder, welche (vorausgesetzt, daß das Prisma nicht zu stark ist) durch Divergieren des Auges überwunden werden. Damit nun das Auge bei Fixation des Punktes so weit divergiere, daß die Sehaxen parallel gestellt sind, muß ich entweder nach der Entfernung, in welcher der Punkt sich befinden soll, genau die Stärke des Prisma wählen oder, was sich mehr empfiehlt, den Ablenkungswinkel der vorhandenen

Prismen bestimmen und danach für jedes Prisma die Entfernung berechnen, in welcher sich der Fixationspunkt bei parallelen Sehaxen befinden muß.

Fig. 4.

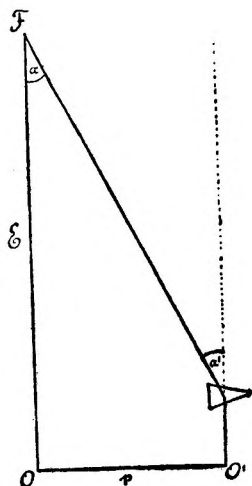
O und O' sind die beiden Augen.

p = Pupillardistanz.

F = Fixationspunkt.

E = Entfernung, in welcher der Punkt bei parallel gestellten Axen sich befindet.

$\alpha' = \alpha$ = Ablenkungswinkel des Prismas.



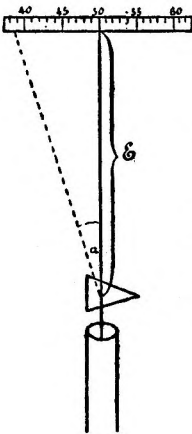
Ich erhalte somit:

$$E = \frac{p}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Man darf sich bei diesen Versuchen nicht mit der Bezeichnung der Prismen nach Graden begnügen und die Hälfte als Ablenkungswinkel rechnen, wie dies für die augenärztliche Praxis wohl genügt, sondern muß genau den Ablenkungswinkel bestimmen. Nach Professor KÖNIG empfiehlt sich hierzu, falls man kein Goniometer mit Teilkreis zur Verfügung hat, folgendes Verfahren: Man sieht durch ein Fernrohr mit Fadenkreuz nach einem horizontalen Maßstab und stellt den vertikalen Faden genau auf einen bestimmten Teilstrich des Maßstabes ein, den horizontalen Faden so ein, daß er parallel der Kante des Maßstabes läuft. Bringt man nun ein Prisma vor das Fernrohr, so steht der vertikale Faden nicht mehr auf dem vorher notierten Teilstrich, sondern ist entsprechend dem Grad des Prismas um eine Anzahl Striche weitergerückt. Bekanntlich ist aber die Ablenkung eines Prismas verschieden groß, je nach der Stellung desselben zu seiner vertikalen Axe. Um den Winkel der minimalen Ablenkung zu erhalten, dreht man das Prisma vor dem Fernrohr um die vertikale Axe und beobachtet am Centimetermaß, daß das Fadenkreuz entsprechend verschoben wird. Sobald nun durch diese Drehung die Stellung in der minimalen Ablenkung vorhanden sein wird, muß bei weiterem Drehen das Fadenkreuz nach der entgegengesetzten Richtung wandern. Man notiert also die Zahl am Centimetermaß, bei welcher diese Wendung des Fadenkreuzes auftritt.

Der horizontale Faden muß mit einer Kante oder einem Längsstrich des Maßstabes zusammenfallen, und das Prisma muß so gedacht werden, daß trotz der seitlichen Verschiebung dieses Zusammenfallen bestehen bleibt. Dann steht die brechende Kante des Prismas genau vertikal, und man notiert sich durch zwei Punkte auf dem Prisma die horizontale Axe.

Fig. 5.



Man erhält sodann den Ablenkungswinkel α des betreffenden Prismas nach der Formel:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V}{E}, \text{ wo}$$

V = Ablenkung, welche der Faden auf dem Centimetermaß durch das Prisma erleidet.

E = Entfernung des Prismas von dem Centimetermaß.

In dem von mir benutzten Brillenkasten ergab sich nach dieser Methode der Ablenkungswinkel und die dazu gehörige Entfernung, in der der Fixationspunkt bei parallelen Sehaxen sich befinden muß, für die einzelnen Prismen folgendermaßen:

Für Prisma 3: Ablenkungswinkel $1^{\circ} 29'$; Fixationspunkt in 2,78 m

"	"	4:	"	$1^{\circ} 56'$;	"	"	2,12 "
"	"	5:	"	$2^{\circ} 34'$;	"	"	1,60 "
"	"	6:	"	$2^{\circ} 50'$;	"	"	1,37 "
"	"	7:	"	$3^{\circ} 40'$;	"	"	1,12 "
"	"	8:	"	$4^{\circ} 19'$;	"	"	0,90 "
"	"	9:	"	$4^{\circ} 50'$;	"	"	0,80 "
"	"	10:	"	$4^{\circ} 59'$;	"	"	0,75 "
"	"	12:	"	$6^{\circ} 40'$;	"	"	0,56 "
"	"	14:	"	$7^{\circ} 26'$;	"	"	0,51 "
"	"	16:	"	$8^{\circ} 20'$;	"	"	0,46 "

Die Reihe ist unregelmäßiger, als man erwarten sollte, und deshalb die Bestimmung des Ablenkungswinkels bei Prismen nicht überflüssig.

Die Versuche wurden so angestellt, daß vor das rechte Auge die Prismen mit der Basis nach innen gesetzt wurden und der Fixationspunkt mit dem oben beschriebenen Apparate in die dafür berechnete Entfernung geschoben wurde. Als Fixation diente eine kleine weiße Perle und bei weiteren

Entfernungen ein etwas größeres Gipskugelchen. Bei den weiteren Entfernungen mußte auch der Abstand der fallenden Kugeln vom Fixationspunkt etwas größer als 1 cm genommen werden (s. u.). Die Öffnung der Spalte im Apparate, die sich immer 5 cm vor dem Fixationspunkte befand, betrug stets 3 cm.

Als Resultat ergab sich, daß in jeder Entfernung ebenso richtig die Tiefenwahrnehmung gemacht wurde, wenn mit unbewaffneten Augen auf den Punkt konvergiert wurde, als wenn durch Prismen die Sehaxen parallel gestellt wurden. Die Sicherheit war in beiden Fällen vollkommen die gleiche. Durch eine große Anzahl Versuche ergab es sich, daß man absolute Sicherheit im Bestimmen der Tiefe des Falles annehmen kann, wenn 2—3% Fehler gemacht werden, die durch momentane Unaufmerksamkeit, durch zeitliches Zusammentreffen von dem Fallen einer Kugel mit dem Lidschlag etc. entstehen können.

Es wurden nun die Prismen vor dem rechten Auge verstärkt, und das Resultat blieb ganz dasselbe, so lange die Prismen durch Divergieren der Augen überwunden werden konnten.

Z. B.: Dr. GREEFF auf beiden Augen Emmetropie. Sehschärfe = $\frac{6}{6}$ Fixationspunkt in 1,12 m.

	Anzahl der Kugeln	Richtig	Falsch
		angegeben	
1. Monokular	50	26	24
2. Binokular (frei)	50	49	1
3. Binokular mit gestellten Sehaxen: Rechts Pr. 7	50	50	—
4. Binokular mit divergenten Sehaxen: Rechts Pr. 8	20	18	2
„ „ 10	20	20	—
„ „ 12	20	17	3
„ „ 14	20	8	12

Bei Prisma 12 wurden die Doppelbilder nur mit Mühe und nach einiger Zeit vereinigt; bei Prisma 14 konnte keine, oder doch nur momentane Einigung erzielt werden.

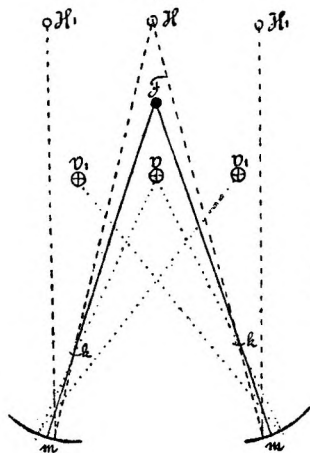
Dasselbe Resultat fand sich bei jeder den einzelnen Prismen entsprechenden Entfernung: Die Tiefenwahrnehmung ist dieselbe bei konvergenten wie bei parallel gestellten und bei divergenten

Axen; bei letzteren, so lange sich die entstehenden Doppelbilder noch vereinigen lassen. Bei mir konnte zu dem Prisma, welches bei Fixation der Kugel die Sehaxen parallel stellt, in jeder Entfernung noch bis Prisma 5 hinzugegeben werden.

VAN DER MEULEN machte mit seinem Apparate Prismenversuche in 575 mm Entfernung und fand bezüglich der divergenten Axen dasselbe. Er giebt ferner an, dafs, sobald die Doppelbilder sich nicht mehr vereinigen lassen, alle Kügelchen, auch diejenigen, welche vorne fallen, bedeutend hinter dem Fixationspunkt herabzufallen scheinen. Diese Thatsache war auch mir sehr auffallend. Umgekehrt ist bei Prismen mit der Basis nach aufsen, bei Doppelbildern der Eindruck vorhanden, als wenn alle Kügelchen vorne herabfielen, doch ist letztere Erscheinung nicht so deutlich, wie erstere.

Die Erklärung dürfte vielleicht diese sein:

Fig. 6.

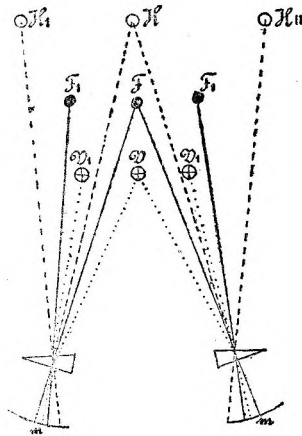


- F = Fixationspunkt.
 V = Vorne fallende Kugel.
 H = Hinten fallende Kugel.
 m = Macula lutea.
 K = Knotenpunkt des Auges.

Sehen wir mit freien Augen den Fixationspunkt an, so erzeugt die dahinter herabfallende Kugel (H) ein gleichnamiges Doppelbild, d. h. die Bilder ihres Weges liegen auf den inneren Netzhauthälften, und zwar auf symmetrischen Stellen.¹ Wir sind also wohl auch umgekehrt gewohnt, Doppelbilder, welche auf die Netzhauthälften nach innen von der Macula lutea fallen, auf eine Stelle zu beziehen, die hinter dem Punkte liegt, auf den die Macula lutea eingestellt ist.

¹ E. HERING: *Arch. f. Anat. u. Physiol.*, s. o.

Fig. 7.



Setzen wir nun vor unsere Augen Prismen mit der Basis nach innen, welche uns den Fixationspunkt in gleichnamigen Doppelbildern erscheinen lassen (Fig. 7, F u. F'), so werden die Strahlen von einer davor fallenden Kugel nicht wie sonst auf die äußeren Netzhauthälften fallen, sondern bei stärkeren Prismen über die Macula lutea hin auf die innere Seite der Retina abgelenkt. Wir erhalten also anstatt gekreuzter Doppelbilder (Fig. 6, V u. V') gleichnamige (Fig. 7, V u. V') und lokalisieren diese gewohnheitsgemäß nach hinten.

Die hinten fallenden Kugeln liefern in diesem Falle natürlich ebenfalls gleichnamige Doppelbilder, nur daß die Bilder weiter auseinandergerückt erscheinen müssen.

Es scheinen daher alle Kugeln hinten zu fallen, und anfangs ist es unmöglich, richtig zu urteilen, um die vorne von den hinten fallenden zu trennen. Da aber theoretisch die Doppelbilder der vorne fallenden Kugeln viel enger zusammenliegen müssen, als die der hinten fallenden, so lohnte es der Mühe, zu untersuchen, ob dieser Unterschied zum Bewußtsein kommen kann. In der That gelang es mir nach einiger Übung, obwohl noch alle Kugeln hinten zu fallen schienen, unter 100 Fällen etwa 75 mal richtig anzugeben, wie die Kugeln geworfen wurden.

Ich will noch angeben, daß es mir nie gelungen ist, mir bei den Versuchen zum Bewußtsein zu bringen, daß die fallenden Kugeln in Doppelbildern erscheinen.

§ 3. In welcher Entfernung ist der Fallversuch noch möglich?

Man pflegt zur Prüfung des binokularen Sehens den Fallversuch so anzustellen, daß das fixierte Objekt (eine weiße Perle) sich in 50 cm bis höchstens 1 m Entfernung befindet. Auch VAN DER MEULEN hat seine Versuche in 575 mm Entfernung gemacht. Ist nun, wie wir eben gesehen haben, der Fallversuch möglich bei durch Prismen parallel und divergent gestellten Sehaxen, so ist es interessant, zu untersuchen, ob und unter welchen Bedingungen und Gesetzen derselbe stattfindet in Entfernungen, bei denen Konvergenz der Sehaxen und Accommodationsbewegung nicht mehr vorhanden sein kann. Untersuchungen über die Frage, in welcher Entfernung der HERINGSche Fallversuch noch möglich ist, liegen meines Wissens noch nicht vor.

Versuch: Fixierpunkt in 60 cm; Spalte 5 cm davor; Breite des Spaltes 2 cm; Gesichtsfeld, unter dem die fallende Kugel erscheint, dementsprechend $1^{\circ} 56'$.

		Anzahl der Kugeln		Richtig	Falsch
		vorne fallend	hinten fallend		
Dr. G.					
beiderseitig Emmetrop. S = 6/6.					
Monokular	50	50	52	48	
Binokular	50	50	98	2	
Dr. K.					
beiderseitig Emmetrop. S. = 6/6.					
Monokular	25	25	22	28	
Binokular	25	25	50	0	
Stud. S.					
beiders. Myop. (— 3 D.) S. = 6/9 — 6/6.					
Monokular	25	25	24	26	
Binokular	25	25	49	1	
			98 =	102 =	
Monokular	200		49 0/0	51 0/0	
			173 =	3 =	
Binokular	200		98,5 0/0	1,5 0/0	

Resultat: Bei monokularem Sehen scheinen alle fallenden Kugeln mit dem Fixierpunkt in einer Ebene zu liegen, man ist

bei den Angaben auf reines Raten angewiesen; dementsprechend finden sich ca. 50% falsche Angaben vor. Sobald mit beiden Augen gesehen wird, ist das Gefühl der absoluten Sicherheit in der Schätzung der Tiefe vorhanden, und die Angaben sind immer richtig mit Ausnahme von etwa $1\frac{1}{2}\%$ Fehlern, die durch momentane Unaufmerksamkeit etc. (s. o.) verschuldet sein können.

Bei denselben Versuchsbedingungen ergab sich für weitere Entfernungen bei binokularem Sehen folgendes:

Fixierpunkt in 1	m:	1,5%	Fehler im Durchschnitt		
"	" 1 $\frac{1}{2}$	" 1,0%	"	"	"
"	" 2	" 3,0%	"	"	"
"	" 3	" 6,0%	"	"	"

Es nimmt also in 2 m Entfernung der Prozentsatz von Fehlern um ein Geringes, in 3 m um ein Bedeutendes zu. Der Grund hierfür ist entweder der, daß der Fallversuch in diesen Entfernungen überhaupt schon nicht mehr exakt möglich ist, oder nur, daß er unter diesen Bedingungen nicht mehr möglich ist. Drei Faktoren können in Betracht kommen, um den Versuch zu erleichtern: 1. Die Vergrößerung des Gesichtsfeldes, in dem die fallenden Kugeln erscheinen; 2. die Vergrößerung des Fixierpunktes und der fallenden Kugeln; 3. die Vergrößerung des Tiefenunterschiedes, d. h. der Entfernung, in der die fallenden Kugeln auf ihrem Weg sich von dem Fixierpunkt in der Höhe der Blicklinie befinden.

Um No. 1 regulieren zu können, ist der durch die zwei verschiebbaren Pappscheiben veränderliche Spalt vor dem Kasten angebracht; um No. 3 messen zu können, befinden sich in der Decke des Kastens über dem Fixierpunkt die Reihen Löcher in Abständen von je 2 cm.

Der Fixationspunkt wurde nun in 3 m Entfernung aufgestellt.

Die Resultate bei Vergrößerung des Gesichtsfeldes waren diese:

Öffnung des Spaltes	2 cm:	6 %	Fehler im Durchschnitt		
"	" "	3	" 8 %	"	" "
"	" "	5	" 5 %	"	" "
"	" "	10	" 5,5%	"	" "
"	" "	20	" 2,5%	"	" "
"	" "	}20	" 4,3%	"	"
monokular gesehen					

Resultat: Durch die Vergrößerung des Gesichtsfeldes werden anfangs keine besseren Resultate erzielt; erst nachdem die Spalte 20 cm breit eingestellt wird, ist der Prozentsatz-Fehler annähernd der gleiche, wie bei den Versuchen in geringerer Entfernung. Jedoch vermindert sich dann auch die Anzahl der Fehler bei monokularer Fixation, ein Beweis, daß das bessere Resultat erzielt wird durch Nebenumstände, auf die DONDERS als bei weitem Gesichtsfeld auftretend aufmerksam gemacht hat (s. o.), nicht durch vollkommeneres Binokularsehen.

Durch weitere Versuche habe ich mich überzeugt, daß, ebensowenig wie die mit der Zunahme der Entfernung des Fixationspunktes ansteigende Vergrößerung des Gesichtsfeldes, die genau bestimmte Größe des Fixationspunktes und der fallenden Kugeln in Betracht kommt. Bei beidem hat man nur soviel zu berücksichtigen, daß die Aufmerksamkeit des Beobachters nicht über die Massen angestrengt wird, und daß die Kugeln bequem noch sichtbar sind. So habe ich den Gesichtswinkel von Versuch 1 immer beibehalten und bei größeren Entfernungen Gipskugeln von $1\frac{1}{2}$ — $3\frac{1}{4}$ cm Durchmesser gewählt, die immer gut sichtbar waren. Größere Kugeln erwiesen sich nicht besser.

Um den Einfluß von Punkt 3 zu prüfen, stellte ich die früheren Versuchsbedingungen wieder her, nur fielen die Kugeln jetzt nicht 1 cm vor oder hinter dem Fixationspunkte nieder, sondern der Tiefenunterschied wurde allmählich vergrößert.

Entfernung des Fixationspunktes 3 m, Breite des Spaltes 3 cm.

Tiefenunterschied 1 cm: 6 % Fehler im Durchschnitt.

"	2	"	5,5%	"	"	"
"	3	"	4 %	"	"	"
"	5	"	5 %	"	"	"
"	6	"	2 %	"	"	"
"	8	"	2,5%	"	"	"
"	10	"	2,0%	"	"	"

Resultat: Mit der Zunahme des Tiefenunterschiedes nehmen die Fehler ab, bis der Unterschied 6 cm beträgt. Darüber hinaus werden keine besseren Resultate mehr erzielt. Es ist also jedenfalls bei Beurteilung der Tiefendimensionen die Größe des Tiefenunterschiedes im Verhältnis zu der Ent-

fernung vom Auge von großer Wichtigkeit, ein Umstand, welcher meines Wissens bisher noch nicht berücksichtigt worden ist.

Um dieses Verhältnis näher bestimmen zu können, fuhr ich so fort, daß ich mit jeder Zunahme der Entfernung den Tiefenunterschied durch die fallenden Kugeln allmählich vergrößerte, bis ich den Abstand hatte, über den hinaus keine Verbesserung des Resultates mehr erzielt werden konnte.

Versuch in 6 Meter:

Tiefenunterschied		Anzahl der Kugeln	Richtig	Falsch
Dr. G.	6 cm	25	22	3
	8 "	50	45	5
	10 "	50	48	2
	12 "	50	48	2
	15 "	50	48	2
Dr. K.	6 "	25	21	4
	8 "	25	21	4
	10 "	25	22	3
	12 "	25	24	1
	16 "	25	23	2

Das Verhältnis des Tiefenunterschiedes zur Entfernung vom Auge beträgt also bei Dr. G. 10:600, bei Dr. K. 12:600.

Wir pflegen unsere Sehprüfungen meist in einer Entfernung von 6 m anzustellen und betrachten die von dort kommenden Strahlen als parallel in unser Auge einfallend. Diese Sehprüfungen werden monokular angestellt, es divergieren also die von einem in 6 m sich befindlichen Punkte kommenden Strahlen nur um die Weite der Pupille, wenn sie in ein Auge gelangen; bei binokularer Betrachtung divergieren dieselben um die Pupillendistanz und bilden einen Winkel, der bei 6 m Entfernung noch nicht vernachlässigt werden darf.

Deshalb genügte mir auch hier die Entfernung von 6 m noch nicht, um die Augenaxen als parallel gestellt zu betrachten.

Für weitere Entfernungen ergaben sich durch oft angestellte Versuche folgende Resultate:

Entfernung	Tiefenunterschied	Fehler
8 m	12 cm	4 ‰
10 "	20 "	4 ‰
12 "	25 "	5 ‰
15 "	30 "	6 ‰
20 "	35 "	6,5 ‰

Es versteht sich von selbst, daß immer wieder Kontrollversuche monokular angestellt wurden, um etwa vorhandene Fehlerquellen zu entdecken. Eine solche Fehlerquelle bestand bei größeren Tiefenunterschieden der fallenden Kugeln in der Beleuchtung. Steht nur eine Lampe seitlich vom Apparate, so wenden die weit vorne fallenden Kugeln dem Beschauer die beschattete, die weit hinten fallenden Kugeln die beleuchtete Seite zu, was nach längerem Experimentieren dem Beschauer einen Anhaltspunkt zur richtigen Angabe geben kann, auch bei monokularer Betrachtung. Man muß also entweder seitlich und etwas nach vorne zwei Lampen aufstellen oder aus etwas größerer Entfernung einen helleren Lichtkegel einfallen lassen, z. B. Zirkonlicht. Man kann auch von hinten beleuchten, indem man als Hinterwand durchscheinendes Papier und die Kugeln davor schwarz wählt. Künstliche Beleuchtung empfiehlt sich im allgemeinen wegen größerer Lichtstärke.

Wenn ich mich auch durch Versuche mit mir und einigen Kollegen berechtigt fühle, die Resultate als sicher zu betrachten, so muß doch hervorgehoben werden, daß in Entfernungen, wo Accommodation und Konvergenz nicht mehr unterstützen, ein hoher Grad von Aufmerksamkeit erforderlich ist, um richtige Angaben zu machen, eine Aufmerksamkeit, die an allen Tagen nicht die gleiche ist und die manchem Patienten überhaupt fehlt. Wir haben auch eine größere Anzahl Fehler zugeben müssen. Immer aber war, auch in 20 m Entfernung, nach Verschluss eines Auges sofort das Gefühl der völligen Unsicherheit und des Ratens bei den Angaben vorhanden und das Resultat dementsprechend bedeutend schlechter. Auch der Umstand, auf den DONDERS besonderes Gewicht legt, daß die erste fallende Kugel richtig angegeben würde, fand seine Bestätigung.

Die Versuche berechtigen den Satz, daß der HERINGSche Fallversuch noch möglich ist in Entfernungen, bei denen Konvergenz der Sehaxen und Accommodation nicht mehr in Frage kommen, sobald die Kugeln deutlich sichtbar sind und der Tiefenunterschied zwischen der vorne und der hinten fallenden Kugel groß genug ist im Verhältnis zu der Entfernung des Fixierpunktes vom Auge des Beobachters.

Dies Verhältnis ist offenbar ein ganz bestimmtes; wir fanden in

1 m Entfernung	1 cm Tiefenunterschied	als	notwendig
2 "	3 "	"	"
3 "	6 "	"	"
6 "	10 "	"	"
10 "	20 "	"	"
15 "	30 "	"	"
20 "	35 "	"	"

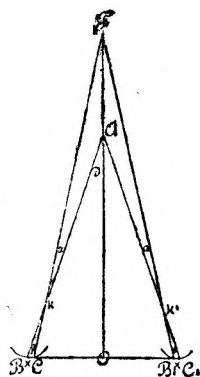
Etwas grob das Mittel genommen, erhält man das Verhältnis der Entfernung zum Tiefenunterschied wie 100:2.

Es ist klar, daß der Tiefenunterschied, welcher im Apparat bei den fallenden Kugeln für vollkommenes binokulares Sehen notwendig ist, genau entspricht einer Strecke auf der Netzhaut, um welche beiderseits die perspektivischen Netzhautbilder von der Macula lutea nach innen oder nach außen zu entfernt sein müssen, damit richtige Tiefenwahrnehmung stattfindet.

Diese Strecke läßt sich berechnen:

Fig. 8.

C und C' : Macula lutea.
 Pupillardistanz = 70 mm.
 F : Fixationspunkt, 10 m entfernt von C .
 A : Vorne fallende Kugel: 20 cm von F .
 K und K' : Knotenpunkt des Auges.



$$\sin CFO = \sin \gamma = \frac{CO}{FC} = \frac{35}{10000}$$

$$\gamma = 0^\circ 12' 2''$$

$$\sin \delta = \frac{CO}{AC \text{ resp. } AB} = \frac{35}{9800}$$

$$\delta = 0^\circ 12' 17''$$

$$\alpha = \delta - \gamma = 0^\circ 0' 15''$$

$$\beta = \alpha$$

$$\varepsilon = 90^\circ - \delta = 89^\circ 47' 43''$$

$$x : 15 = \sin \beta : \sin \varepsilon$$

$$x = \frac{15 \cdot \sin \beta}{\sin \varepsilon}$$

$$x = 0,00238 \text{ mm.}$$

Es müssen also zur richtigen Tiefenwahrnehmung die perspektivischen Netzhautbilder um mindestens 0.002 bis 0.003 mm beiderseits von der eingestellten Macula lutea entfernt auf die Netzhaut fallen. Es ergab sich diese Strecke als mittlerer Wert für mein Auge. Sicher ist diese Strecke bei allen Menschen nicht genau dieselbe, sondern je nach der Fähigkeit, zu beobachten und die Aufmerksamkeit anzustrengen, um ein Geringes kleiner oder gröfser. Wie aus der Rechnung ersichtlich, spielt dabei auch die Gröfse der Pupillardistanz eine wesentliche Rolle, doch ist bei den verschiedenen Menschen der Unterschied in der Gröfse derselben nicht allzu beträchtlich. Bei meinen Experimenten trat ferner der Umstand hervor, dafs durch Übung das Verhältnis der beiden oben angeführten Faktoren sich günstiger gestaltet. Die Übung in der Beurteilung der uns umgebenden Dinge, besonders in der Schätzung der Tiefen-Dimensionen, führt sicher zu einer Feinheit der Empfindung hierin, die andere Individuen erstaunen machen kann. Wenn wir das scharfe Gesicht der Naturvölker rühmen hören, so dürfen wir dies wohl weniger so verstehen, dafs die Sehschärfe um ein Beträchtliches erhöht sei — es liegen darüber auch dies bestätigende Untersuchungen vor — sondern so, dafs dieselben im Kampf ums Dasein gelernt haben, feinere Unterschiede in der Tiefenwahrnehmung zu machen.

Auch für die Tierwelt trifft dies zu. Als diese Arbeit ziemlich beendet war, erschien im Druck der Aufsatz von

Professor BERLIN: *Über Schätzung der Entfernungen bei Tieren.*¹ BERLIN bespricht die ebenso schnelle wie sichere Beurteilung der Entfernungen, welche er bei fliehenden Gamsen zu bewundern Gelegenheit hatte, und führt ferner an, daß Reiter sich auf unbekanntem Terrain bei Überwindung eines Hindernisses blindlings dem Gaul zu überlassen pflegen, die Überlegenheit des Pferdes in der Schätzung der Entfernung und des dazu gehörigen Kraftmaßes zur Überwindung des Hindernisses anerkennend. Diese Eigenschaft geht den Tieren verloren, sobald einseitige Erblindung eintritt, ein Beweis dafür, daß die übrigen Vorzüge, welche ein Tierauge vor dem Auge des Menschen etwa besitzen könnte, zurücktreten gegen die im Kampf ums Dasein gewonnene virtuose Taxation der Tiefendimensionen durch binokulares stereoskopisches Sehen. Manche Tierarten unterstützt dabei die oft sehr große Pupillardistanz.

Aus den oben angeführten Untersuchungen geht also hervor, daß die Vorzüge des Binokularsehens auch in großen Entfernungen noch zur Geltung kommen, daß die weite Welt dem binokular Sehenden anders erscheint, als dem Einäugigen, nur nimmt die Feinheit der Tiefenwahrnehmung in ganz bestimmter Weise proportional der Entfernung vom Auge ab.

§ 4. Binokularsehen bei herabgesetzter Sehschärfe eines Auges.

VAN DOOREMAUL und VAN DER MEULEN teilen Resultate mit, welche sie durch Experimentieren an sich selbst gewannen, indem sie sich vor ein Auge mattgeschliffene oder dunkelgefärbte Gläser setzten.

Es steht demgegenüber aus, diese bei künstlichem, unvollkommenem Sehen eines Auges gewonnenen Ergebnisse zu vergleichen resp. zu kontrollieren mit Untersuchungen an Patienten, deren eines Auge entweder durch Krankheiten im späteren Lebensalter einen Teil der Sehschärfe eingebüßt hat, oder von Geburt an in seiner Leistungsfähigkeit gegen das andere Auge zurückgeblieben ist. Uns interessieren hier besonders Trübungen der brechenden Medien eines Auges (Maculae corneae, Cataracta incipiens), Amblyopia congenita eines Auges und verschiedene optische Einstellung der beiden Augen (Anisometropie).

¹ Zeitschr. f. vergl. Augenheilk., Bd. VII, 1.

Wenn es richtig ist, was die beiden Autoren anführen, daß bei normalem Binokularsehen durch Gläser künstlich die Sehschärfe eines Auges um ein Bedeutendes herabgesetzt werden kann unbeschadet der Exaktheit der Tiefenwahrnehmung, so fragt es sich, ob auch trotz seit Jugend bestehender einseitiger Schwachsichtigkeit das Binokularsehen erlernt werden kann und umgekehrt, ob es im späteren Alter, wenn bei früher beiderseits gutem Sehvermögen die Sehschärfe eines Auges dauernd herabgesetzt wird, wieder verlernt wird.

Zunächst wurden Plangläser fein mit Vaseline bestrichen und mit Lycopodium bepudert. Die durch dieselben noch vorhandene Sehschärfe wurde bestimmt durch Sehprüfungen mit den SCHWEIGGERSchen Sehproben in 1 m Entfernung:

		Entfernung des Fixationspunktes	Anzahl der fallenden Kugeln	Fehler
Dr. GREEFF.	Rechtes Auge. S. = $\frac{6}{6}$	1 m	100	2
	Linkes Auge. S. = $\frac{6}{12}$	NB. Fixationspunkt und fallende Kugeln werden links gut gesehen.		
		2 m	100	3
		3 m	100	5
		NB. Fixationspunkt links eben noch sichtbar.		
		4 m	100	18
		NB. Fixationspunkt nicht deutlich mehr sichtbar.		
		5 m	100	39
<hr/>				
	Rechtes Auge. S. = $\frac{6}{6}$	1 m	100	3
	Linkes Auge. S. = $\frac{1}{36}$	2 m	100	20

Als Resultat ergibt sich, daß die Sehschärfe eines binokular sehenden Isometropen künstlich auf einem Auge bis etwa auf $\frac{1}{24}$ bis $\frac{1}{36}$ resp. $\frac{1}{12}$ auf 3 m herabgesetzt werden kann, ohne daß wesentlich das Binokularsehen leidet. Eine geringere

Sehschärfe wird ohne große Fehlerzahl nicht ertragen. Die Versuche wurden bei Kollegen wiederholt und ergaben hier ungefähr dasselbe, bei den Einen um ein Geringes mehr, bei Anderen etwas weniger.

Von natürlichen Krankheitsformen wurden 20 Fälle einseitiger Trübungen der brechenden Medien untersucht, und zwar zehn Kinder im Alter von 13—16 Jahren mit *Maculae corneae*, welche in den ersten Lebensjahren durch *Blennorrhoea neonatorum* oder *Keratitis phlycthaenulosa* erworben waren oder mit einseitiger *Amblyopia congenita*, und zehn Erwachsene, welche erst im vorgerückten Alter *Maculae corneae* oder *Cataracta incipiens* auf einem Auge erhalten hatten. Bei keinem Patienten bestand *Strabismus*. Es wurden zu diesen Versuchen besonders intelligente Patienten ausgewählt.

Nach Feststellung der Sehschärfe wurde in derselben Weise vorgegangen, wie bei dem letztangeführten Versuch: Der Fixationspunkt wurde immer weiter abgerückt, bis die Fehlerzahl 5% überstieg.

Es ergab sich, daß auch diejenigen Kinder, welche in den ersten Lebensjahren Trübungen eines Auges erworben hatten, Binokularsehen gelernt hatten, wofern das Auge noch eine Sehschärfe von etwa $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{18}$ besaß. Die Sehschärfe $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{18}$ ist als mittlerer Wert aus den erhaltenen Zahlen genommen; natürlich stellt sich dieselbe bei den einzelnen Menschen etwas größer oder kleiner heraus, je nach Intelligenz und Aufmerksamkeit.

Es möge genügen, ein Beispiel anzuführen:

Helene K., 15 Jahre. Rechtes Auge. S. = % alles normal. Linkes Auge. S. = $\frac{1}{18}$ *Maculae corneae*, sonst normal.

Intelligentes Mädchen. Die Mutter giebt an, daß H. am dritten Tage nach der Geburt auf dem linken Auge eine mehrere Wochen anhaltende Eiterung gehabt (*Blennorrhoea neonat.*) und von da ab die Flecken auf dem Auge bekommen habe.

Fallversuch	in	1 m	3% Fehler
"	"	2 "	3% "
"	"	3 "	19% "

Die Kugel wird in 3 m links nicht mehr recht gesehen. Es werden als Fixationspunkt und als fallende Kugeln größere Gipskugeln genommen, die links wieder sichtbar sind.

Fallversuch in 3 m	5%
„ „ 4 „	6%
„ „ 5 „	37%

Über 5 m hinaus ist keine Spur von stereoskopischem Sehen vorhanden.

Binokularsehen ist also von der H. K. erlernt worden; obwohl, ehe sie binokularen Sehakt hatte, das Sehvermögen eines Auges um ein ganz Bedeutendes herabgesetzt wurde.

Nach allen Versuchen, auch bei Kranken, muß es erstaunen, wie schwach nur ein Gegenstand dem einen der beiden Augen zu erscheinen braucht, ohne daß ein stereoskopisches Sehen dadurch verloren geht.

Ich kann mich also dem anschließen, was VAN DER MEULEN schon nach Versuchen an gesunden Menschen vermutend aussprach, daß, im Falle ein Auge normal ist, das andere aber an Trübungen leidet, es sich lohnt, die Sehschärfe desselben durch Gläser, durch Iridektomie oder auf andere Weise zu verbessern, und wenn es auch nur bis zu $\frac{1}{12}$ Sehschärfe ist, indem es feststeht, daß dies genügt, für die Nähe einen binokularen Sehakt zu erhalten. Vielleicht wird dieser auch im stande sein, ein Abweichen des sehschwachen Auges zu verhüten.

Was das binokulare Sehen von Anisometropen betrifft, so habe ich Dem, was ich in meiner Arbeit: *Zur Vergleichung der Accommodationsleistung beider Augen*¹ gesagt habe, kaum etwas hinzuzufügen. Anisometropen haben vollkommenes binokulares Sehen, wofern kein Strabismus vorhanden ist, ohne daß damit die Annahme ungleicher Accommodation verbunden zu sein braucht, wie schon aus Dem hervorgeht, was sich bei den Untersuchungen mit einseitigen Trübungen brechender Medien ergeben hat.

Wir können unsere Resultate in den Satz zusammenfassen: Bei herabgesetzter Sehschärfe eines Auges ist binokulares Sehen vorhanden, so lange dem sehschwachen Auge der betreffende Gegenstand auch nur ganz schwach oder in großen Zerstreuungskreisen erscheint, einerlei, ob es sich um Trübungen in den brechenden Medien handelt oder um falsche optische Einstellung des betreffenden Auges, und einerlei, ob die Sehschwäche von Geburt an besteht oder erst erworben wird, nachdem vollkommenes binokulares Sehen bestanden hat.

¹ R. GREEFF: *Archiv f. Augenheilk.* Bd. XXIII. S. 371 u. f.

§ 5. Binokulares Sehen Schielender.

Es würde den Rahmen und die Absicht dieser Arbeit überschreiten, wenn ich hier auf die Anschauungen und Theorien eingehen wollte, die darüber, wie und wie weit sich das schielende Auge am binokularen Sehen beteiligt, ein Streit, der sich hauptsächlich um die von JOHANNES MÜLLER begründete Lehre von den identischen Netzhautpunkten dreht. Ich kann nur wiederholen, was schon öfters ausgesprochen ist, daß ich keinen Schielenden vor der Operation ausfindig machen konnte, welcher den HERINGSchen Fallversuch bestanden hätte. VAN DER MEULEN und SCHWEIGGER berichten ferner, daß auch nach der Operation bei guter Stellung der Augen ein vollkommenes Binokularsehen sich nicht herstellte.

Um diese Mitteilung nachzuprüfen, habe ich mich bemüht, einige Fälle von früherem Strabismus zu ermitteln, bei denen seit längerer Zeit vollkommen gute Stellung der Augen post operationem vorhanden und beiderseits gutes Sehvermögen vorhanden ist, obwohl wir aus Obigem wissen, daß zum binokularen Sehakt gleiches Sehvermögen beider Augen durchaus nicht erforderlich ist. Bei keinem Einzigen jedoch fand sich so vollkommenes Sehvermögen, daß die Tiefenangaben im Fallapparat richtig gemacht werden konnten.

Ein Beispiel möge genügen:

H. D., 15 Jahre alt.

$$\text{XI. 1889.} \left\{ \begin{array}{l} \text{R.} + 0,75 \text{ D. S.} = \frac{6}{6}; \text{ Schw. } 0,3 \text{ in } 35 - 10 \text{ cm,} \\ \text{S. E. S.} = \frac{6}{6}; \text{ Schw. } 0,3 \text{ in } 30 - 8 \text{ cm.} \end{array} \right.$$

Strabismus convergens alternans praecipue oculi dextri. Ablenkung 8 mm. Kein Beweglichkeitsdefekt. Ophthalmoskopisch in Mydriasis bds. 1 D. H. R. Tenotomie des Musc. rect. int. und Vornähung des Musc. rect. extern.

Nach 14 Tagen: Ganz geringe Konvergenz noch vorhanden. Spontan keine Doppelbilder, mit rotem Glas und Prisma gekreuzte Doppelbilder nachweisbar. Soll in der Schule Brille + 1,0 D weiter tragen.

Dez. 90. Vollkommene richtige Einstellung beider Augen. Kein Doppelsehen nachweisbar.

Im Apparat wird bds. die Kugel gut gesehen, und sie verändert bei abwechselndem Verdecken eines Auges ihre Stellung nicht.

Fehleranzahl ca. 50%. Reines Raten; sieht binokular ebenso, wie monokular.

Die beiderseitigen Eindrücke werden wahrgenommen, jedoch nicht zu dem Begriff des Binokularsehens verschmolzen.

Es scheint, daß dieses geistige Verschmelzen der Bilder nur in frühester Jugend erlernt werden kann.

Die Prüfung des Vorhandenseins oder Fehlens eines binokularen Sehakts nach geglückter Strabotomie hat eine praktische Bedeutung für die Frage: Wann sollen wir bei schielenden Kindern die Operation vornehmen? Ergiebt es sich als richtig, daß ein binokularer Sehakt sich herstellen kann, so ist sicher dazu am meisten Aussicht, wenn man die Operation möglichst früh vornimmt; das Binokularsehen wird die Richtigestellung der Augen sehr befördern. Finden wir aber bei keinem Schielenden nach der Operation binokulares Sehen, so ist das Verfahren derjenigen exakter, welche das Lesenlernen der Kinder abwarten, um ein Urteil über die Sehkraft der Augen zu besitzen. Das letztere Prinzip, welches an der Berliner Universitätsklinik eingehalten wird, würde also auch nach meinen Untersuchungen als das richtigere zu empfehlen sein. Bis heute konnte ich kein vernünftiges Kind auf-treiben, welches nach der Schieloperation binokulares Sehen in vollem Maße bekommen hätte.

GRAEFE¹ giebt vier Punkte an, welche bei normaler Stellung beider Augen Einfachsehen als Produkt binokularer Zusammenwirkung beider Augen erkennen läßt:

1. Das Auffassen der Sammelfigur im Stereoskop.
2. Der Nachweis der Anwesenheit physiologischer Doppelbilder.
3. Die richtige Schätzung der Tiefendistanzen (Nachweis durch den HERINGSchen Fallversuch).

4. Das Auftreten von Doppelbildern bei Anwendung von Prismen oder der dieselben verschmelzenden Augenbewegungen.

Der Umstand gerade, daß die Proben 1, 2 und 4 von Schielenden nach geglückter Operation meist bestanden werden,

¹ GRAEFE-SEMISCH. *Handbuch der Augenheilkunde*, Bd. VI, S. 173.

also das Vorhandensein eines binokularen Sehakts zu beweisen scheinen, Probe 3 aber immer negativ ausfällt, also das Fehlen vollkommenen binokularen Sehens darthut, zeigt uns, daß der HERINGSche Fallversuch die höchsten Anforderungen an das Binokularsehen stellt, das feinste Reagens auf das Vorhandensein desselben ausmacht. Probe 1, 2 und 4 zeigen, daß binokulare Sammelbilder entstehen können, Probe 3, der Fallversuch, zeigt, ob dieselben geistig zu einem normalen Binokularsehen mit Wahrnehmung der Tiefendimensionen verschmolzen werden.

Es drängt mich schließlic noch, meinem Lehrer, Herrn Geheimrat SCHWEIGGER, für die Anregung zu dieser Arbeit und Herrn Professor Dr. A. KÖNIG für die Überlassung der nötigen Apparate in seinem Laboratorium, sowie für die mannigfachen Ratschläge zur Förderung meiner Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.
