

(Aus der Sinnesmedizinischen Forschungsabteilung beim Sanitätsamt des Marine-Oberkommandos Ostsee.)

Über die sekundären Faktoren des binokularen räumlichen Tiefensehens.

Von

Geschwaderarzt Dozent Dr. habil. Heinsius, Marinelazarett Mürwik.

I. Das Tiefensehen.

Das räumliche Tiefensehen des Menschen beruht bekanntlich auf der Tatsache, daß die Lage zweier Gegenstände im Raume zueinander bei Betrachtung von zwei verschiedenen Standpunkten aus jeweils eine andere ist; die dabei beobachteten Differenzen gestatten rein mathematisch die Lage zweier Objekte zueinander im Raume zu projizieren, ein Vorgang, welcher nach der noch vielfach üblichen Darstellung bei der Sinneswahrnehmung automatisch erfolgt, sei es, daß beide optischen Eindrücke nacheinander aufgenommen werden, wie beim parallaktischen Tiefensehen oder gleichzeitig wie beim stereoskopischen Sehen.

Während beim parallaktischen Tiefensehen lediglich eine, allerdings zweizeitige Betrachtung mit *einem* Auge erforderlich ist, um einen Tiefeneindruck zu erhalten, erfordert das stereoskopische Sehen eine *einzeitige* Beobachtung mit *zwei* Augen. Der Bau des menschlichen Sehorgans erlaubt dank der seit *Hering* bekannten Gesetze der motorischen und sensorischen Korrespondenz und des Vorhandenseins von zwei nebeneinander geordneten Augen ein stereoskopisches Tiefensehen. Dabei ist das monokulare Tiefensehen mit dem binokularen in keiner Weise zu vergleichen; nach *F. B. Hofmann* ist das binokulare Tiefensehen an eine gewisse Beschaffenheit des Zentralorgans geknüpft (sog. „zentraler Faktor“).

Das Gesetz der *motorischen* Korrespondenz wurde zuerst im Jahre 1864 von *Ewald Hering* betont. Er sagt wörtlich: „Beide Augen werden also, was ihre Bewegung im Dienst des Gesichtssinnes betrifft, wie ein einfaches Organ gehandhabt. Dem bewegenden Willen gegenüber ist es gleichgültig, daß dieses Organ in Wirklichkeit aus zwei gesonderten Gliedern besteht, weil er nicht nötig hat, jedes der beiden Glieder für sich zu bewegen und zu lenken, vielmehr ein und derselbe Willensimpuls beide Augen gleichzeitig beherrscht, wie man ein Zweigespann mit einfachen Zügeln leiten kann.“

Während nun die motorische Korrespondenz auf der gleichzeitigen Innervation beider Augen, d. h. der Zuleitung gleichwertiger Impulse zu dem beiderseits korrespondierenden Augenmuskeln beruht, besteht

die sensorische Korrespondenz in der Gleichschaltung der Empfindungselemente beider Netzhäute derart, daß die auf entsprechenden Netzhaut-elementen beider Augen entstehenden gleichzeitigen Eindrücke oder „Bilder“ im höheren Sehzentrum zur Verschmelzung (Deckung) kommen. Dabei sollen identische, d. h. geometrisch gleichweit von dem Foveazentrum entfernt liegende Netzhautbilder den Eindruck gleichen Abstandes vom Beobachter bewirken, d. h. alle bei gegebener Augenstellung auf identischen Netzhautstellen abgebildeten Punkte liegen in der Horopterfläche und erscheinen (im allgemeinen) in einer stirnparallelen, der sog. Kernebene, während alle auf nicht identischen sog. querdisparaten Netzhautstellen zur Abbildung gelangenden Punkte vor oder hinter der Horopterfläche liegend, näher oder ferner erscheinen. Der Verschmelzung dieser querdisparaten Netzhautbilder sind bestimmte Grenzen gesetzt, so daß nur innerhalb bestimmter Empfindungskreise liegende querdisparate Netzhautbilder vereinigt werden können, das Einfachsehen also nur innerhalb dieser sog. Panum'schen Empfindungskreise möglich ist. Während die Entfernung der Horopterfläche bzw. der Kernebene durch die Einstellung beider Augen auf einen Fixierpunkt bestimmt wird, hängt die Lage eines Gegenstandes zur Kernebene einerseits von der Seitenlage der Bilder auf beiden Netzhäuten ab, insofern als gleichnamig auf der nasalen Netzhauthälfte liegende Bilder den Eindruck der größeren Entfernung, gekreuzt liegende auf der temporalen Netzhauthälfte den der größeren Nähe erwecken; die Entfernung des Gegenstandes von der Horopterfläche bzw. Kernebene wird weiterhin durch die Querdissipation bestimmt, d. h. die absolute Differenz des Winkels, welcher sich aus dem Strahlengang des abgebildeten Gegenstandes und der Blicklinie beider Augen ergibt.

Diese hochgradig komplizierten Vorgänge, welche zum binokularen Sehakt führen, sind selbstverständlich an gewisse physiologische Voraussetzungen geknüpft, deren Beschaffenheit eine mehr oder weniger hochwertige Leistung des Tiefensehens, der sog. Tiefensehschärfe, bewirkt. Diese Tiefensehschärfe kann keine absolut unabhängige Leistung sein, sondern hängt eben zum größten Teil von der Beschaffenheit der mannigfaltigen am binokularen Sehakt beteiligten Organteile ab, deren Zusammenarbeit innerhalb gewisser Grenzen durch Übung erlernbar ist. Diese Erlernbarkeit wiederum hängt von dem Ablauf zahlreicher motorischer und sensorischer Einzelfunktionen, also „sekundärer Faktoren“ ab. Da die beim binokularen Sehakt mit entscheidenden motorischen und sensorischen Einzelfunktionen individuell große Verschiedenheiten aufweisen können, leuchtet ohne weiteres ein, daß auch die feinere räumliche Differenzierung oder die Tiefensehschärfe individuell entsprechende Unterschiede aufweisen wird, die sich bei praktischen Leistungsanforderungen unter Umständen mehr geltend machen werden als im Laboratoriumsversuch, wie er z. B. im wissenschaftlichen Institut

zur Klärung physiologischer Probleme unentbehrlich ist. Die sekundären Faktoren werden also bei der praktischen Leistung stärker in Erscheinung treten als im Institutsversuch.

II. Zweck der eigenen Arbeit.

Ein praktischer Bedarf feineren räumlichen Sehens besteht bei Entfernungsmessern (E-Messern) der Kriegsmarine und bei der Flak. Die qualitative Feinheit und Differenzierung des binokularen Tiefeneindrucks erhöht hier die Meßgenauigkeit, da in den modernen Raumbildgeräten meist Meßmarken angebracht sind, deren nur im binokularen Sehakt unterscheidbare Lage zum Meßobjekt die Messung der Tiefenentfernung ermöglicht, sei es, daß eine wandernde Marke in eine Ebene mit dem Meßpunkt gebracht werden muß oder die Entfernungsmessung durch Vergleich mit feststehenden Marken erfolgt.

Im folgenden soll untersucht werden, unter welchen physiologischen Voraussetzungen nach unseren bisherigen Erfahrungen eine besonders hochwertige Dauerleistung unseres stereoskopischen Sehens zu erwarten ist. Es handelt sich dabei nicht um die im Versuch erreichte Einzelleistung des Augenblicks, sondern um eine Dauerleistung unseres stereoskopischen Sehvermögens. Für die Beurteilung der letzteren kann es nicht gleichgültig sein, ob eine mit den Versuchsbedingungen genau vertraute Person eine einmalige Messung unter günstigen äußeren Umständen macht, oder ob eine gewisse Leistung verlangt wird, die sich unter schwierigen äußeren Verhältnissen erzielen läßt. Während einem die Vorgänge des physiologischen Sehens im Institut erforschenden Physiologen im allgemeinen nur eine begrenzte Zahl von Einzelpersonen zur Verfügung steht, bietet sich in den Entfernungsmesselehrgängen der Kriegsmarine oder Flakartillerie jetzt Gelegenheit, ein größeres Menschenmaterial gewissermaßen in Massenversuchen zu beobachten. Bedauerlicherweise ist eine wissenschaftliche Auswertung dieser Erfahrungen von augenärztlicher und sinnesphysiologischer Seite bisher noch keineswegs soweit erfolgt, als es für die Auswahl der Laufbahnanwärter innerhalb der Wehrmacht unter den jetzigen Verhältnissen unbedingt notwendig erscheint, sondern die Auswahlmethoden beruhen größtenteils auf praktischen Erfahrungen, die auf wissenschaftlich fundierten Laboratoriumsversuchen an einzelnen Individuen fußen.

In der alten 15 000 Mann-Reichsmarine sowie bisher, waren derartige systematische Auswertungen wegen der geringen Zahl der Lehrgangsteilnehmer auch gar nicht möglich.

Im Interesse einer Verbesserung der Auswahl und Erleichterung der Ausbildung dürfte aber eine systematische sinnesphysiologische Beobachtung der diese E-Messelehrgänge durchlaufenden Soldaten liegen, zumal die Beobachtung eines solchen Menschenmaterials die Feststellung

viel allgemeinerer Normen ermöglichen dürfte als es bei noch so zahlreichen Einzelbeobachtungen in wissenschaftlichen Instituten jeweils möglich sein kann. Nicht zuletzt wird andererseits selbstverständlich gerade die wissenschaftliche Erforschung und Erkenntnis dieser komplizierten sinnesphysiologischen Vorgänge sowohl den Augenärzten für die Tauglichkeitsprüfung als auch den E.-Meßschulen für die Durchführung der Ausbildung wertvolle Förderung und Anregung geben können.

Es soll daher im folgenden zunächst über einige eigene Erfahrungen und Beobachtungen, die ich während meines Aufenthaltes im Frühjahr 1941 bei einer E.-Meßschule sammeln konnte, berichtet werden und gleichzeitig auf einige offene Probleme hingewiesen werden; es muß jedoch vorweg betont werden, daß eine Aufzählung aller in Frage stehenden sinnesphysiologischen Probleme nicht beabsichtigt ist, zumal sie in einer derartig kurzen Arbeit in vollem Umfange keineswegs möglich wäre.

III. Die qualitative Bewertung des Tiefensehens bei den E.-Meßlehrgängen.

Die Tiefensehschärfe selbst, gemessen durch die kleinsten Winkel, unter dem zwei Objekte querdisparat gesehen werden können, wird für die Stelle des schärfsten Sehens (die Fovea centralis bzw. Macula lutea) im allgemeinen mit 10—14 Winkelsekunden (Wsk.) angegeben, nach Bourdon und F. Br. Hofmann kann dieselbe sogar bis zu einem Grenzwert von 5 Wsk. gelangen. Diese Werte sinken selbstverständlich sofort ab, wenn ungünstige äußere Bedingungen, z. B. optische Schwierigkeiten durch schlechte Sicht bei Nebel oder flimmernder Luft, vorhanden sind. Bei den Lehrgängen der Kriegsmarine entspricht der Tiefensehschärfe die Meßgenauigkeit.

Betrachtet man die Meßergebnisse eines E.-Meßlehrganges bei der Kriegsmarine, so werden als beste Leistungen nur in Einzelfällen Meßgenauigkeiten von 12 bis 14 Sek. erreicht,

Tabelle 1. Verteilung von 238 Entfernungsmessern nach ihrer Meßgenauigkeit.

Meßleistung	Meßgenauigkeit in Winkelsek.	Zahl der E.-Messer	%
Sehr gut	weniger als 20	30	12,6
Gut	20,1—25,0	86	36,1
Ziemlich gut	25,1—30,0	61	25,6
Genügend	30,1—35,0	29	12,2
Ungenügend	mehr als 35,1	32	13,5
	Summe	238	

während die Mehrzahl der Entfernungsmesser schlechtere Werte aufweist. Die Verteilung der Entfernungsmesser hinsichtlich der Meßgenauigkeit ergibt sich aus Tabelle 1.

Die Einteilung der E.-Messer erfolgt nach den Schulergebnissen; es ist dabei zu bedenken, daß in denselben sowohl die Meßgenauigkeit als auch die geistige Aufnahmefähigkeit berücksichtigt wird. Die Meßgenauigkeit (g) errechnet sich nach Winkelsekunden aus der Streubreite (b) und mittlerer Abweichung (a) der einzelnen Meßreihen nach

der Formel $g = b + a/2$. Die Berücksichtigung jedes einzelnen der das Schulergebnis bestimmenden Faktoren muß einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben. Bei Betrachtung der in Tabelle I enthaltenen Ergebnisse ist zu beachten, daß zu den E.-Meßlehrgängen im allgemeinen nur Soldaten zugelassen werden, welche bei der augenärztlichen Untersuchung den im folgenden aufgeführten Anforderungen genügen.

IV. Bisherige Anforderungen an Augen mit guter Tiefensehschärfe.

Bei der Kriegsmarine bestehen folgende Bestimmungen für die Auswahl der E.-Messer:

(T. B. M. Ziff. 5, 7. Volle Sehleistung (6/6) auf beiden Augen, die regelrecht und gleichmäßig gebaut und frei von Brechungsfehlern sein müssen. Gutes stereoskopisches Sehvermögen, das durch eine Prüfung mit dem Prüfungstereoskop festzustellen ist. Fehler 20 A, 23 A, 25 A, 28 A schließen die Tauglichkeit aus. Störungen des Augenmuskelgleichgewichtes machen untauglich, wenn sie bei Prüfung für die Ferne am Maddoxkreuz 3° Seitenabweichung oder 1° Höhenabweichung überschreiten. Die Augenuntersuchung ist durch einen augenärztlich vorgebildeten Sanitätsoffizier vorzunehmen.

Bei Bedarf können Soldaten, die trotz vorhandener Augenfehler nach dem Urteil eines augenärztlich vorgebildeten Marinesanitätsoffiziers zum E.-Messer tauglich sind, als „bedingt tauglich zum E.-Messer“ zu E.-Meßlehrgängen zugelassen werden. Das marineärztliche Urteil hat zu lauten: „tauglich zum E.-Messer“, „bedingt tauglich zum E.-Messer“ oder „nicht tauglich zum E.-Messer“.

Nach *Hering*, *Heine* und *Oloff* werden als Voraussetzungen für ein tadelloses körperliches Sehen angegeben:

1. Gute Sehschärfe für die Ferne.
2. Möglichst gleichmäßiger und regelrechter Bau beider Augen.
3. Keine gröberen Störungen der Augenmuskelfunktion, insbesondere gute Zusammenarbeit derselben.

Der Einfluß von Verschiedenheiten im Bau bzw. in der funktionellen Gliederung beider Augen auf das Tiefensehen ist neuerdings durch die Erforschung der Aniseikonie bestätigt. Nach *Ames*, *Ogle* und *Herzau* lassen Unterschiede der Bildgröße beider Augen einseitige Verlagerungen des Horopters erwarten. Bildgrößenunterschiede können verursacht werden durch dioptrische Asymmetrien sowohl als auch durch funktionelle Ungleichheiten (Korrespondenz-Asymmetrie bzw. Anisometroskopie nach *Tschermak*) beider Netzhäute. Nach *Oloff* und *Heine* verhindern Brechungsunterschiede über 0,5 Dioptrien ein feineres Tiefensehen. Systematisch belegte Beobachtungen darüber, welchen Einfluß derartige Unterschiede beider Augen auf das Entfernungsmessen haben, stehen mir leider noch nicht zur Verfügung.

Nach meinen Erfahrungen, welche sich auf jahrelange Beobachtungen an E.-Messern stützen, kann ich diese Beobachtungen aber nur bestätigen. Insbesondere werden bei der üblichen Sehprüfung geringe Brechungs-

differenzen meist übersehen, so daß für alle darauf bezüglichen Beobachtungen die genaue skiaskopische Untersuchung des Brechungszustandes unbedingt zu fordern ist. Eine oberflächliche Untersuchung (im Rahmen der Bestimmungen der T. B. M.) kann diese Fehler niemals genau genug feststellen.

V. *Schleistung und Tiefensehschärfe.*

Hinsichtlich der Sehleistung ist nach *Heine* das Tiefenwahrnehmungsvermögen bei voller Sehschärfe (= 1 Winkelminute) um die Hälfte geringer als bei übernormal ($6/5$, $6/4$ = etwa 30 Winkelsekunden) sehenden Augen. Die binokulare Tiefensehschärfe steht in gewisser Parallele zur monokularen Unterschiedsempfindlichkeit für die Lageverschiebung gerader Linien (sog. Breitenwahrnehmung); solche Lageunterschiede sind monokular ebenfalls bis zu Grenzwerten von 7 Sek. hin erkennbar. Die von den einzelnen Forschern gefundenen Werte zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2. Monokulare Empfindlichkeit für zentrale Lageunterschiede einer geraden Linie (Breitenwahrnehmung).

Nach *Best* . . . 13 Sek. Nach *Hofmann* 8—9 Sek. Nach *Bourdon* 5—7 Sek.

Erfahrungen über das Verhalten von Breitenwahrnehmung und Tiefensehschärfe an einem größeren Untersuchungsmaterial liegen zur Zeit noch nicht vor.

Falls eine Parallelität vorhanden ist, so müßte sich dieselbe nach meinen Erfahrungen unschwer durch entsprechende Reihenuntersuchungen an Entfernungsmessern bestätigen lassen. Untersuchungen an einem umfangreichen Material wären hierzu notwendig.

Hinsichtlich des Verhaltens der Sehleistung stehen mir die Untersuchungsergebnisse von 170 Soldaten zur Verfügung, welche in Tabelle 3 im Vergleich mit den Meßleistungen dargestellt sind. In dieser Tabelle fehlt leider eine größere Anzahl Soldaten mit mäßiger Sehleistung; trotzdem fällt auf, daß von den Soldaten mit schlechterer Sehleistung als $6/6$ in keinem Fall eine bessere Meßgenauigkeit als 20 Sek. erreicht wurde (Tabelle 3 siehe S. 7).

Es dürfte hier ein Hinweis vorliegen, für feinere Aufgaben des binokularen Tiefensehens nur Soldaten mit mindestens $6/6$ Sehschärfe auf beiden Augen zuzulassen, falls nicht überhaupt eine Prüfung der monokularen Empfindlichkeit für Lageunterschiede vorzuziehen ist.

Nachdem aus den Zahlenwerten der Tabelle 3 hervorzugehen scheint, daß sich das Maximum der E-Messerschärfe mit einer über $6/6$ liegenden Sehschärfe nach den sehr guten Leistungen hin verschiebt, haben wir nach der χ^2 -Methode untersucht, ob diese Verschiebung des Maximums statistisch reell ist. Da das nicht der Fall ist, darf aus diesen Ergebnissen lediglich gefolgert werden, daß die Sehleistung im Rahmen der von der T.B.M. geforderten Grenzen ohne nachweisbaren Einfluß auf die Güte

der E-Meßleistung ist. Ein Zusammenhang zwischen der E-Meßleistung als Ausdruck feineren binokularen Tiefensehens und der monokularen Sehleistung des Einzelauges konnte also statistisch nicht nachgewiesen werden. Immerhin bleibt die auffallende Tatsache bestehen, daß in der besten Gruppe zunächst keine Leute mit schlechterer Sehleistung als 6/6 Sehleistung gefunden werden.

Wesentliche Refraktionsdifferenzen kamen in meinem Material nicht vor, so daß es mir nicht möglich ist, über den Einfluß von Unterschieden zwischen beiden Augen etwas auszusagen. Diese Frage bedarf jedenfalls noch einer eingehenden Untersuchung.

Tabelle 3. Verteilung der Sehschärfe beider Augen auf die Meßleistung bei 170 Entfernungsmessern mit skiaskopisch keinen Brechungsfehlern über 0,5 Dioptrien.

Meßzeugnis	Ungenügend	Genügend	Ziemlich gut	Gut	Sehr gut
Meßgenauigkeit	schlechter als 35,1 Sek.	35,0 bis 30,1 Sek.	30,1 Sek. 25,1 ..	25,0 bis 20,1 Sek.	besser als 20,0 Sek.
Schleistung:					
6/4 + 6/4	8	7	13	19	9
6/4f + 6/4f	7	5	9	19	3
6/4 + 6/5	3	3	3	9	4
6/4 + 6/6		1	2	4	
6/5 + 6/5			2		
6/5 + 6/5f	4		4	4	1
6/5 + 6/6	1	2	6	2	1
6/6 + 6/6	1	1	1	2	
6/6 + 6/7		1	3	2	
6/5 + 6/8f		1			
6/8 + 6/8f	1				
6/10f + 6/8			1		
6/20 + 6/8f	1				

Hinsichtlich der Refraktionswerte der in Tabelle 3 aufgeführten Soldaten ist zu bemerken, daß die Augen mit Sehleistung 6/6—6/4 im allgemeinen eine skiaskopische Refraktion von +0,5 D.sph. bis höchstens +1,5 D.sph. besaßen, keine Astigmatismen über +0,75 D. Eine eingehende Würdigung und Betrachtung der Refraktionswerte an einem entsprechenden Material ist unbedingt noch erforderlich. Dabei dürfte auch die Betrachtung der Akkommodationsvorgänge und Akkommodationsstörungen von nicht zu unterschätzender Bedeutung sein. Die Akkommodationsvorgänge werden durch die mannigfachsten Umstände beeinflußt. Es ist durchaus nicht ausgeschlossen, daß bestimmte Konstitutionstypen zu Akkommodationskrampf und andere zu anderen Sensationen führen. Die Einflüsse von Ermüdung, ebenso wie von bestimmten Ernährungsverhältnissen oder Nicotin- und Alkoholabusus auf Linsenquellung und Akkommodation sind noch keineswegs hinreichend durchforscht.

VI. Die Funktion der Augenmuskeln.

Größere Störungen der Augenmuskelfunktionen wie manifestes Beileit- oder Lähmungsschielen gestatten im allgemeinen kein gutes binokulares Tiefsehen. Bei Vorhandensein von größeren Heterophorien ist erfahrungsgemäß ebenfalls kein feiner differenziertes binokulares Tiefsehen möglich. Aber auch Heterophorien geringen Grades machen sich vor allem bei Ermüdung und körperlicher Abgespanntheit schon störend bemerkbar. Aus diesen Gründen werden Soldaten mit latentem Höhenschielen, ebenso wie solche mit latentem Seitenschielen über 3° zu den E.-Meßlehrgängen der Kriegsmarine nicht zugelassen. Reine Orthophorie kommt ja höchstens bei 10% aller Menschen vor. Tabelle 4 und 5 bringen die eigenen Messungen der Heterophorien mit dem *Herschel-Landoltschen* Doppelprisma an 170 E.-Messern, geprüft vor Beginn des Kurses.

Tabelle 4. Seitenabweichungen bei 170 E.-Messern, geprüft mit dem *Herschel-Landoltschen* Doppelprisma vor Beginn des Kurses.

Meßgenauigkeit	Grad Konvergenz										Grad Divergenz							
	5	4	3½	3	2½	2	1½	1	½	0	½	1	1½	2	2½	3	4	5
Besser als 20,0		1				5	4	1	1	4	1		1	1				
20,1—25,0 Sek.		1		4		2	2	10	12	24	2	2		1	1			
25,1—30,0 Sek.	1				1	1	3	14	6	15	1	2						
30,1—35,0 Sek.		2	1	1			2	4	6	3	1	1						
Schlechter als 35,1 Sek.						2	3	4	3	10			2				1	

Tabelle 5. Höhenabweichungen bei 170 E.-Messern, geprüft mit dem *Herschel-Landoltschen* Doppelprisma vor Beginn des Kurses.

Meßgenauigkeit	+ V.D.			0	V.D.		
	1½	1	½		½	1	1½
Besser als 20,0 Sek.				19			
20,1—25,0 Sek.				60	1		
25,1—30,0 Sek.				43	1		
30,1—35,0 Sek.			1	19		1	
Schlechter als 35,1 Sek.				25			

Tabelle 6. Seitenabweichung von 170 E.-Messern, geprüft mit 20 = Parallel-

Meßgenauigkeit	Konvergenz									
	8,58° 5	6	7	8	9	5,72° 10	5,15° 11	4,57° 12	4,0° 13	
—20,1 Sek.										
20,1—25,0 „								1		
25,1—30,0 „						1		1		
30,1—35,0 „								2		3
35,1— „	1							2		

Auch hier zeigt sich, daß von einer Ausnahme abgesehen, unter den sehr guten E.-Messern mit Meßgenauigkeit über 20 Sek. keine Seitenabweichungen über 2° beobachtet wurden; es wurde von uns nach der χ^2 -Methode nachgeprüft, ob die Streuung bei den schlechteren E.-Messern größer geworden ist. Zu diesem Zweck wurden die Leute in Klassen eingeteilt und die Klassen miteinander verglichen. Das Ergebnis ist, daß die Streuung bei den schlechteren E.-Messern nicht größer ist und es folgt daraus, daß die Tatsache, daß die guten E.-Messer nicht über eine Seitenabweichung von 3° hinausgehen, mehr dem Zufall zuzuschreiben ist. Ein Zusammenhang zwischen den Heterophorien und der E-Meßleistung ist also aus dem vorliegenden Zahlenmaterial noch nicht ohne weiteres nachweisbar, obwohl die praktische Erfahrung immer wieder zeigt, daß Leute mit stärkeren Heterophorien auf die Dauer als E.-Messer ungeeignet sind und wegen Ermüdungserscheinungen ausfallen.

Tabelle 7. Höhenabweichungen bei 170 E.-Messern, geprüft mit dem *Stock-Heinsiusschen* Phorometer vor Beginn des Kurses.
20 = Keine Höhenabweichung

Meßgenauigkeit	18	19	19-20	20	20-21	21	22
Besser als 20,0 Sek.				19			
20,1-25,0 Sek.		1	1	57	1		1
25,1-30,0 Sek.		1	1	42			
30,1-35,0 Sek.	1			20			
Schlechter als 35,1 Sek.		1		22	1	1	

Tabelle 6 und 7 bringt die entsprechenden Untersuchungsergebnisse am *Stock-Heinsiusschen* Phorometer. Bei Betrachtung der letzteren ist zu berücksichtigen, daß bei diesem Gerät der *Combergsche* Konvergenzfaktor auftritt. Dieser Konvergenzfaktor ist gewissermaßen als psychischer Reflex die Folge eines Einstellimpulses, der durch die Vorstellung der Nähe verursacht wird. Dieser Einstellimpuls tritt auf, weil die Soldaten in ein nahe vor den Augen gelegenes Gerät hineinsehen, ebenso wie dies ja auch am E.-Meßgerät der Fall ist. Es wird daher am *Stock-Heinsiusschen* Phorometer im allgemeinen eine gewisse Konvergenz gefunden. Die Tabelle 6 zeigt, daß die sehr guten E.-Messer im

dem *Stock-Heinsiusschen* Phorometer vor Beginn des Kurses, stellung der Augen.

						Divergenz		
3,43° 14	2,86° 15	2,29° 16	1,72° 17	1,15° 18	0,57° 19	0° 20	0,57° 21	1,15° 22
	6	1	2	6.	3			
5	11	7	12	7	12	4		1
1	6	5	10	11	4	3	2	
1	4	5	1	2	2			
3	6	1	3	3	2	3	2	

allgemeinen in der Gruppe zu finden sind, welche an diesem Gerät eine Konvergenz von nicht mehr als 1—5 Prismendioptrien (= 0,5—2,5°) zeigen, mit einer einzigen Ausnahme. Allerdings dürfte auch hier das Walten des Zufalls bei statistischer Betrachtung anzunehmen sein. In der zweiten waagerechten Spalte bedeuten die links von der 0 stehenden Gradangaben Konvergenz, die rechts davon stehenden Divergenz.

Tabelle 8. Konvergenzverhalten am *Stock-Heinsius*schen Phorometer (69 E.-Messer) geprüft nach Beendigung des E.-Meßkurses.

<i>Stock-Heinsius</i>	13—14	15	16	17	18	19	20	22	Divergenz
Konvergenz	4,0° bis 3,43°	2,86°	2,29°	1,72°	1,15°	0,57°	0	1,15°	
—20,0 Sek.					3	1	6		
20,1—25,0 „	1	3	3	1	5	10	3		
25,1—30,0 „	1	2		3	3	4	3	1	
30,1—35,0 „	2	1	1	2	3				
35,1 „			1	1		5			
E.-Messer . . .	4	6	5	7	14	20	12	1	

Während Tabelle 6 die Untersuchungsergebnisse *vor* der E.-Meßausbildung darstellt, zeigt Tabelle 8 dieselben *nach* der E.-Meßausbildung bei 69 E.-Messern. Hier beträgt die Konvergenz der sehr guten E.-Messer nur 0—2 Prismendioptrien (= 0—1,15°). Ein Vergleich beider Tabellen legt den Schluß nahe, daß durch die Ausbildung eine Abnahme des Konvergenzfaktors bewirkt wird; derselbe ist um so naheliegender als ja auch am E.-Meßgerät der Konvergenzfaktor störend auftreten muß. Erst durch die Ausbildung wird derselbe bis zum gewissen Grade ausgeschaltet. Stellt man sämtliche Werte der Tabelle 6 und 8 gegenüber und berechnet statistisch nach der χ^2 -Methode, so wird sofort erkennbar, daß das Maximum verschoben ist. Wird die Lage des Mittelwertes der sehr guten E.-Messer der Tabelle 6 und 8 nach der χ^2 -Methode berechnet und die Grade der Konvergenz und Divergenz der Einfachheit halber durch Klassen ersetzt, so beträgt das Mittel in Tabelle 6: 16,4, in Tabelle 8: 19,3. Die Differenz ist also 2,9. Die mittlere Abweichung der Differenz = 0,63 und $t = 4,6$. Es folgt daraus, daß mit einer weit über 99% liegenden Wahrscheinlichkeit die Behauptung aufgestellt werden kann, daß die Verschiebung des Maximums χ^2 oder anders ausgedrückt die Abnahme des Konvergenzfaktors χ^2 statistisch reell, also sicher nicht durch den Zufall bedingt ist. Dieselbe Rechnung mit allen Werten der Tabellen 6 und 8 durchgeführt, führt zu dem gleichen Ergebnis. Daraus folgt also, daß ein Einfluß der Übung auf das motorische Verhalten der Augenmuskeln, in diesem Falle den Konvergenzfaktor, mit Sicherheit festzustellen ist.

Im Jahre 1940 hat *Junker* auf meine Veranlassung bereits den Einfluß von Heterophorien auf die verschiedenen Qualitäten des stereo-

skopischen Sehvermögens mit Hilfe der *Zeiss-Pulfrich'schen* Tafeln vorgenommen. Bei der damaligen Untersuchung, die sich auf 567 Prüflinge erstreckte, wurde eine weitgehende Unabhängigkeit des stereoskopischen Sehvermögens von den Heterophorien festgestellt, so daß eine qualitativ verschiedene Beschaffenheit des räumlichen Sehentrums angenommen werden mußte. Die Prüfung des räumlichen Sehvermögens am Stereoskop mit *Pulfrich'schen* Tafeln ist nun aber keineswegs dem Verhalten des räumlichen Sehens bei größeren Beanspruchungen gleichwertig, wie sich aus nachstehender Tabelle 9 ergibt.

Tabelle 9. Verteilung der Untersuchungsergebnisse des stereoskopischen Sehens auf 69 E.-Messer und 11 Nicht-E.-Messer.

Durchschnittliche Meßergebnisse	<i>Pulfrich</i>				<i>Monje</i>					
	I.	II	III	IV	4	8	12	16	24	Sa.
—20,0 Sek.	3	5	3		3	5	2	1		11
20,1—25,0 „	13	7	3	2	4	12	7	2		25
25,1—30,0 „	3	8	5	1	1	4	7	5		12
30,1—35,0 „	6	1		2	2	4	2	1		8
35,1— „	3	2	1	1		2	1	2	2	7
E.-Messer. . . .	28	23	12	6	10	27	19	11	2	69
Nicht-E.-Messer.	2	3	1	5	1	4	3	2	1	11

Es bedeutet darin:

Pulfrich I.: keine Fehler an der *Pulfrich'schen* Tafel.

„ II.: 1—2 Fehler bei Bild 1—3 der *Pulfrich'schen* Tafeln.

„ III.: 3—4 Fehler an denselben Tafeln.

„ IV.: kein ausreichendes Erkennen der Tiefenlage an den *Pulfrich'schen* Tafeln.

*Monje*¹: 4 = sehr gute Tiefensehschärfe, Winkelneigung der Stäbchen 4° bei Untersuchungen nach dem *Monje'schen* Verfahren.

Monje: 8 = gute Tiefensehschärfe, Winkelneigung der Stäbchen 8°.

„ 12 = genügende Tiefensehschärfe.

„ 16 = noch genügende Tiefensehschärfe.

„ 24 = ungenügende Tiefensehschärfe.

Das Bild 1 der *Pulfrich'schen* Tafeln erfordert bekanntlich eine Querdissipation von 10 Sek., Bild 2 = 20 Sek., Bild 3 = 30 Sek. usw. Über die Unterschiede, welche sich bei der Prüfung der Tiefensehschärfe mit verschiedenen Methoden ergeben, ist auf Grund gemeinsamer Untersuchungen von *Monje* und *mir* an anderer Stelle ausführlich berichtet worden. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den E.-Meßergebnissen und der Untersuchung der Tiefensehschärfe mit den *Pulfrich'schen* Tafeln erscheint mir vor allem darin zu liegen, daß es sich in einem Falle (E.-Meßergebnisse) um eine Dauerleistung handelt, während im anderen Falle (Stereoskop) gewissermaßen ein Einzelversuch als Maßstab genommen wird. Für eine gründliche Erforschung der verschiedenen Einflüsse auf das räumliche Sehen dürfte eine Betrachtung der Dauer-

¹ Vergleiche auch *Monje* und *Heinsius*: Z. Sinnesphysiol. 1934.

leistung unentbehrlich sein. Auch bei Betrachtung der mit dem *Monjeschen* Gerät festgestellten Tiefensehschärfe ergeben sich keine wesentlichen Beeinflussungen derselben durch Heterophorien (s. Tabelle 10 und 11, s. S. 13). Diese Gegenüberstellungen erlauben den Schluß, daß die *absolute Tiefensehschärfe* durch Heterophorien nicht beeinflusst wird, wohl aber wird bei Vorliegen von Heterophorien die Dauerleistung des räumlichen Sehens durch Ermüdungsfaktoren leichter beeinflusst, da anscheinend die motorische Fusion bei Ermüdung leichter gestört wird. Derartige Störungen als Folge des Alkoholgenusses sind ja allgemein bekannt. Es ist aber nur auf Grund der vorliegenden praktischen Erfahrungen festzustellen, daß bei Ermüdung eine Dauerleistung des feineren Tiefensehens, wie sie der E.-Meßvorgang darstellt, Störungen infolge Verhinderung der korrekten motorischen Einstellung zeigt.

Unter den Heterophorien sind schließlich noch die Verrollungen zu erwähnen, über deren Verhalten bei E.-Messern uns leider bisher kein ausreichendes Zahlenmaterial zur Verfügung steht, jedoch möchte ich meinen, daß dieselben einen ähnlichen Einfluß wie die Höhen- und Seitenabweichungen ausüben werden.

VII. Die Fusion.

Die binokulare Zusammenarbeit der Augenmuskeln ist abhängig von dem Fusionszwang, d. h. dem unseren Willen entzogenen Bestreben, die auf beiden Netzhäuten erfolgten Abbildungen eines Gegenstandes zur Verschmelzung zu bringen (Fusion). Die Kraft und der Umfang desselben läßt sich als Fusionsbreite messen. Die Untersuchungen *Junkers* über den Einfluß der Fusionsbreite auf die Tiefensehschärfe ließen keinen Zusammenhang erkennen, jedoch ist anzunehmen, daß durch entsprechende Beobachtungen an E.-Messern sich auch hierüber noch Klarheit schaffen läßt, ebenso wie über den Einfluß der Fusionsanspruchsfähigkeit, d. h. der Schnelligkeit des Einsetzens des Fusionsmechanismus, und schließlich des intraokularen Fusionsmechanismus (*Schubert*). Auch der Einfluß der Ermüdung bzw. des Alkohol- und Nicotinabusus wäre in diesem Zusammenhang zu prüfen. Die sensorische Fusion nach *Tschermak* und ihre Abhängigkeit von den verschiedensten Faktoren bedarf noch eingehender Erforschung.

VIII. Licht- oder Farbensinn.

Die Heranziehung der E.-Meßergebnisse für wissenschaftliche Untersuchungen läßt insofern noch weitere Lücken offen, als die Wirkung des Kontrastes zwischen Meßmarke und Meßobjekt und die Einflüsse farbiger Beleuchtung noch nicht hinreichend geklärt sind. Der Einfluß der Beleuchtung macht sich in der Praxis insofern geltend, als es ausgesprochen gute Tagmesser gibt, die bei Dämmerung versagen, ohne daß eine Adaptationsstörung gefunden werden muß.

In der augenärztlichen und auch sinnesphysiologischen Literatur fehlen bisher physikalisch einwandfreie und praktisch auswertbare Untersuchungen über die individuelle binokulare Leistungsfähigkeit der menschlichen Augen bei Nacht. Mit den bisher bekannten und gebräuchlichen Methoden wird im allgemeinen nur das Lichterkennen bei absoluter Dunkelheit geprüft, allerdings ohne photometrisch exakte Angabe der erkannten Helligkeit (vgl. *Hamburger* und *Heinsius*). Dagegen fehlen exakte Prüfungen der Sehleistung, der Tiefensehschärfe und Unterschiedsempfindlichkeit unter Beleuchtungsverhältnissen, wie sie den tatsächlich bei Nacht im Freien vorhandenen Bedingungen entsprechen. Allen augenärztlichen Untersuchungsgeräten fehlt zur Zeit eine exakte Angabe der Helligkeit, Geräte zur Eichung sind, da es sich um sehr geringe Werte unter 0,1 Lux (Mikrolux) handelt, meist nicht vorhanden. Ebenfalls sind wissenschaftliche Unterlagen über die zu prüfenden Helligkeiten in der medizinischen Literatur kaum zu finden. Andererseits lehren die praktischen Erfahrungen der Scheinwerferbedienungen und E.-Messgerätee der Kriegsmarine, daß auf diesem Gebiet erhebliche individuelle Unterschiede vorhanden sein müssen, die einer wissenschaftlichen Analyse vom augenärztlichen und sinnesphysiologischen Standpunkt dringend bedürfen.

Weitere Forschungen auf diesem praktisch äußerst wichtigen Gebiet dürften nur unter Hinzuziehung eines Technikers, der ausreichende Erfahrungen auf dem Gebiete der Messung von geringen Beleuchtungen unter 0,1 Lux besitzt, möglich sein, zumal die technische Herstellung geeigneter Untersuchungsgeräte, welche den praktischen Bedürfnissen angepaßt sind, die größten Schwierigkeiten bereitet.

Der Licht- und Farbensinn selbst bedarf in bezug auf seinen Einfluß auf die Qualität des binokularen Tiefensehens noch weiterer Erforschung, obwohl ein sicherer Nachweis für diese Annahme bisher noch nicht erbracht ist. Dagegen spielen psychologische Einflüsse, Zuverlässigkeit, Auffassungsgabe, die abstrakte Wahrnehmungsveranlagung und Bewußtseinsvorgänge wohl ebenfalls eine gewisse Rolle, die zu den physiologischen Voraussetzungen in Beziehung zu setzen sind.

IX. Schlußbetrachtung.

Zusammenfassend ergibt sich aus den bisherigen Beobachtungen, daß das feinere Tiefensehen, soweit es als Dauerleistung gefordert wird, eine bestimmte physiologische Beschaffenheit des optischen Apparates voraussetzt. Diese Voraussetzungen lassen sich, nach den bisherigen praktischen Erfahrungen bei der E.-Messung folgendermaßen umreißen:

1. Gute Beschaffenheit des binokularen Wahrnehmungszentrums.
2. Sehleistung beider Augen mindestens 6/6 oder besser.
3. Keine Aniseikonie und Brechungsdifferenzen über 0,5 D.

4. Möglichst keine Heterophorien, d. h. keine Seitenabweichungen über 3° für die Ferne, bzw. bei Prüfung mit dem *Stock-Heinsiusschen* Phorometer nur Konvergenzen von 0—5 prd. (20—15). Außerdem keine Höhenabweichungen und wahrscheinlich keine stärkeren Verrollungen.

Die unter 2—4 aufgeführten Voraussetzungen sind nur als sekundäre Faktoren aufzufassen, zumal sie bei statistischer Betrachtung nach der χ^2 -Methode nicht als ausschlaggebend in Erscheinung treten. Es liegen hier individuelle Unterschiede vor, die vielleicht auch auf eine verschiedene Auswirkung des Ermüdungsfaktors im Einzelfalle hinweisen.

Ein abschließendes Urteil über die angeschnittenen Probleme ist aber zur Zeit noch nicht möglich, insbesondere sind anscheinend noch nicht alle physiologischen Faktoren bekannt, welche zu einer guten E.-Messung führen. Es ist daher erforderlich, daß die Forschung auf diesem sinnesphysiologischen Gebiet im Interesse einer guten Auswahl, einer Vervollkommnung der Methodik und einer Verbesserung der Ausbildung nach jeder Hinsicht vorwärtsgetrieben wird, da noch sehr viele Fragen auf diesem Gebiet unbeantwortet bleiben bzw. von der exakten sinnesphysiologischen Forschung noch nicht erfaßt sind. Ein Teil dieser Probleme wurde in dieser Arbeit angeschnitten, es ist aber keineswegs möglich, in einer einzelnen wissenschaftlichen Arbeit die Problematik von allen Seiten zu beleuchten.

Weitere sinnesphysiologische Forschungen wären vor allem darüber erwünscht, inwieweit alle genannten Faktoren sich gegenseitig beeinflussen und zusammenspielen. Bei der hochgradigen Kompliziertheit des binokularen Sehaktes und der außerordentlich diffizilen Verknüpfung aller daran beteiligten Vorgänge möchte ich glauben, daß eine qualitativ gute Beschaffenheit einzelner Faktoren und Funktionen in der Lage ist, ungünstige fehlerhafte Veranlagungen anderer Art bis zu einem gewissen Grade auszugleichen, so daß Ausnahmen durchaus denkbar sind. Der systematischen Forschung auf dem angedeuteten umfangreichen Gebiet dürfte noch ein weites Feld offenstehen. Insbesondere harren hier noch zahlreiche sinnesphysiologische Probleme der Lösung, die — wie gesagt — in vorliegender Arbeit nicht angedeutet sind, da dieselbe nur ein bestimmtes Gebiet persönlicher Erfahrungen berücksichtigt, um Wege zu weiterer Forschung zu weisen. Eine Verbesserung unserer E.-Messerauswahl kann aber neben entsprechender Ausbildung der untersuchenden Sanitätsoffiziere nur durch weitere Erkenntnisse über die sinnesphysiologischen Voraussetzungen des Meßvorganges erreicht werden, eine Einsicht, die auf militärischer Seite zwangsläufig zur Forderung nach entsprechender Mitarbeit von Augenfachärzten bei den E.-Meßlehrgängen geführt hat.

Außerdem ist aber die Mitarbeit von Sinnesphysiologen bei der Vervollkommnung der Untersuchungsmethodik und der Ausarbeitung

von Verbesserungen an den bisher vorhandenen Geräten unbedingt erforderlich.

Gerade für die Erfassung der individuellen Unterschiede und die Auswertung der sekundären Faktoren auf das binokulare Tiefensehen dürfte das Material eines E.-Meßlehrganges besonders geeignet sein, so daß sich dem physiologisch interessierten Augenarzt hier ein reiches Betätigungsfeld bietet.

Schriftennachweis.

In dem Schriftennachweis ist ein wesentlicher Teil des Schrifttums, welches für die angeschnittenen Probleme von Bedeutung ist, aufgeführt. Auf Vollständigkeit wird kein Anspruch erhoben.

Albada, L. E. W.: Graefes Arch. **54**, 430 (1902). — *Arrer, M.*: Wundts philos. Studien **13**, 116 (1897). — *Asher, K. W.*: Z. Biol. **62**, 508 (1913). — Graefes Arch. **94**, 275 (1917). — *Bappert, J.*: Z. Psychol. **90**, 167 (1922). — *Behrens*: Mathematische Methoden für Versuchsanstalten. Stuttgart 1933. — *Bielschowsky, A.*: Klin. Mbl. Augenheilk. **39**, 741 (1901). — *Braun*: Graefes Arch. **144** (1941). — *Comberg, W.*: Z. Augenheilk. **7**, 183 (1924). — *Cords, R.*: Z. Augenheilk. **27**, 346 (1912). — *Cords, R.*: Augenbewegungen. Kurzes Handbuch der Ophthalmologie, 1930. — *Cords, R. u. Bardenhewer*: Z. Augenheilk. **30**, 1 (1913); **32**, 34 (1923). — *Depene, R.*: Klin. Mbl. Augenheilk. **1**, 48 (1905). — *Dittler, R.*: Die Physiologie des optischen Raumsinns. Kurzes Handbuch der Ophthalmologie, Bd. 2, S. 378. Berlin: Springer 1932. — *Etschnig, A.*: Graefes Arch. **52**, 411 (1902); **54**, 294 (1902). — *Erggelet, H.*: Klin. Mbl. Augenheilk. **64**, 685 (1921). — *Fischer, F. P.*: Pflügers Arch. **204**, 203 (1924). — *Froböse, A. u. P. A. Jaensch*: Z. Biol. **78**, 119 (1923). — *Hamburger u. Heinsius*: Klin. Mbl. Augenheilk. **109** (1943). — *Heine*: Dubois' Arch. **1878**, 323. — Graefes Arch. **51** (1900); **51**, 563 (1900); **53**, 306 (1901). — Ber. 31. Vers. dtseh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1903. — Pflügers Arch. **104**, 316 (1904). — Z. Photogr. **1904**, 65 u. 168. — *Heinsius, E.*: Klin. Mbl. Augenheilk. **144** (1941). — *Hennings, H.*: Fortschr. Psychol. **5**, 143 (1918). — *Hering, E.*: Arch. (Anat. u.) Physiol. **1865**, 79 u. 152. — *Herzau, W. u. Ogle*: Graefes Arch. **1937**. — *Hofmann, F. B.*: Die Lehre vom Raumsinn des Auges. Handbuch der gesamten Augenheilkunde von Graefe-Saemisch, 2. Aufl. Berlin: Springer 1925. — *Jaensch u. Freiling*: Z. Physiol. **91**, 321 (1923). — *Junker, H.*: Graefes Arch. **142**, H. 3. — *Locknitz, K.*: Dtsch. Mil.arzt **3**, H. 4 (1938). — *Monje, M.*: Z. Sinnesphysiol. **68** (1940); **69**, H. 5/6 (1941). — *Monje u. Heinsius*: Z. Sinnesphysiol. **70**, H. 1—2 (1943). — *Nagel, W.*: Z. Psychol. **27**, 264 (1901). — *Oloff, H. u. Podesta*: Funktionsprüfung des Auges, 1937. — *Panum*: Arch. f. (Anat. u.) Physiol. **1861**. — *Peter, R.*: Arch. f. Psychol. **34**, 515 (1915). — *Pulfrich, G.*: Stereoskopisches Sehen und Messen. Jena: Gustav Fischer 1911. — *Schubert, G.*: Graefes Arch. **1937**; **1939**. — *Tschermak-Seysenegg*: Physiologie des optischen Raumsinns. Physiologie der Augenbewegungen. Methodik des optischen Raumsinns. *Bethes Handbuch der Physiologie* Bd. 12. 1930. — *Abderhaldens Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, Abt. V, Teil 6. 1937. — Pflügers Arch. **241** (1939). — Klin. Mbl. Augenheilk. **10** (1940). — Einführung in die physiologische Optik. Berlin-Wien 1942. — *Velhagen, K. jun.*: Luftfahrtmed. **1**, H. 5 (1937). — *Weiss, O.*: Pflügers Arch. **88**, 79 (1901).