

Über die Verlegung der Netzhautbilder nach aufsen.

Von
Dr. A. E. FICK.

Wenn ein Lichtstrahl oder sonst ein Reiz eine Sehzelle unserer Netzhaut trifft, so „sehen“ wir in der Aufsenwelt ein helles Ding. Wir empfinden also den Reiz nicht da, wo er uns getroffen hat, sondern wir verlegen, „projizieren“ ihn nach aufsen. Die Richtung der Projektion hängt von mehreren Umständen ab. Unter den einfachsten Bedingungen, d. h. bei ungestörtem Sehen mit einem Auge, wird der Reiz ungefähr in der Längsrichtung des gereizten Stäbchens oder Zapfens nach aufsen verlegt. Da unsere Stäbchen und Zapfen senkrecht zur Oberfläche einer Hohlkugel stehen, so müssen sich ihre Projektionslinien überkreuzen, also m. a. W. es müssen die optischen Netzhautbildchen verkehrt nach aufsen verlegt werden. Wären die Sehzellen auf einer gegen die Aufsenwelt konvexen Kugelschale aufgestellt, so würden ihre Projektionslinien sich nicht überkreuzen; die Netzhautbildchen würden aufrecht nach aufsen verlegt, und demgemäß müßte auch die Dioptrik des Auges so eingerichtet sein, daß aufrechte Netzhautbildchen zustande kämen, was ja bekanntlich¹ beim Facettenauge mit seiner nach aufsen konvexen Netzhaut, auch wirklich der Fall ist.

Mit welchem Grade von Genauigkeit verlegen nun die Sehzellen einen sie treffenden Reiz in der eigenen Längsrichtung nach aufsen? Da man annehmen darf, daß die zum „Fixieren“ benutzten Sehzellen im Projizieren das Genaueste leisten werden, so wollen wir unsere Fragestellung auf die Zellen der Fovea centralis beschränken.

¹ SIGM. EXNER: Die Physiologie der facettierten Augen von Krebsen und Insekten. FRANZ DEUTSCHE, Leipzig u. Wien, 1891.

HERING¹ hat auf diese Frage die Antwort gegeben, daß ein heller Punkt im sonst dunklen Gesichtsfelde sehr genau dahin verlegt werde, wo er sich wirklich befindet. Da aber die Richtigkeit dieser Ansicht nicht durch besondere Versuche bewiesen ist, so lohnt es vielleicht, auf die Frage zurückzukommen.

Zu dem Ende klebte ich ein Blatt weißen Kartons auf einen Holzrahmen, stach ungefähr in die Mitte des weißen Kartons mit einer feinen Nähnadel ein kleines Loch und stellte nun einem Menschen die Aufgabe, mit der Spitze eines Bleistiftes dies Löchlein von unten zu treffen, also zu treffen, ohne daß er seine eigene Hand sehen und mit Hilfe des Gesichtes leiten konnte. Wenn man diese Aufgabe zu lösen versucht, wird die Bleistiftspitze eine Marke auf der Unterfläche des Kartons zurücklassen.

Von jeder der so untersuchten Personen liefs ich den Versuch zehnmal wiederholen. Damit der einzelne Versuch die folgenden nicht beeinflussen kann, ist dafür zu sorgen, daß der Karton hinlänglich steif sei, um sich nicht da, wo die Bleistiftspitze angedrückt wird, sichtbar vorzubeulen. Auch nehme man einen recht weichen Bleistift, der nicht besonders stark angedrückt zu werden braucht, um eine sichtbare Marke zu hinterlassen.

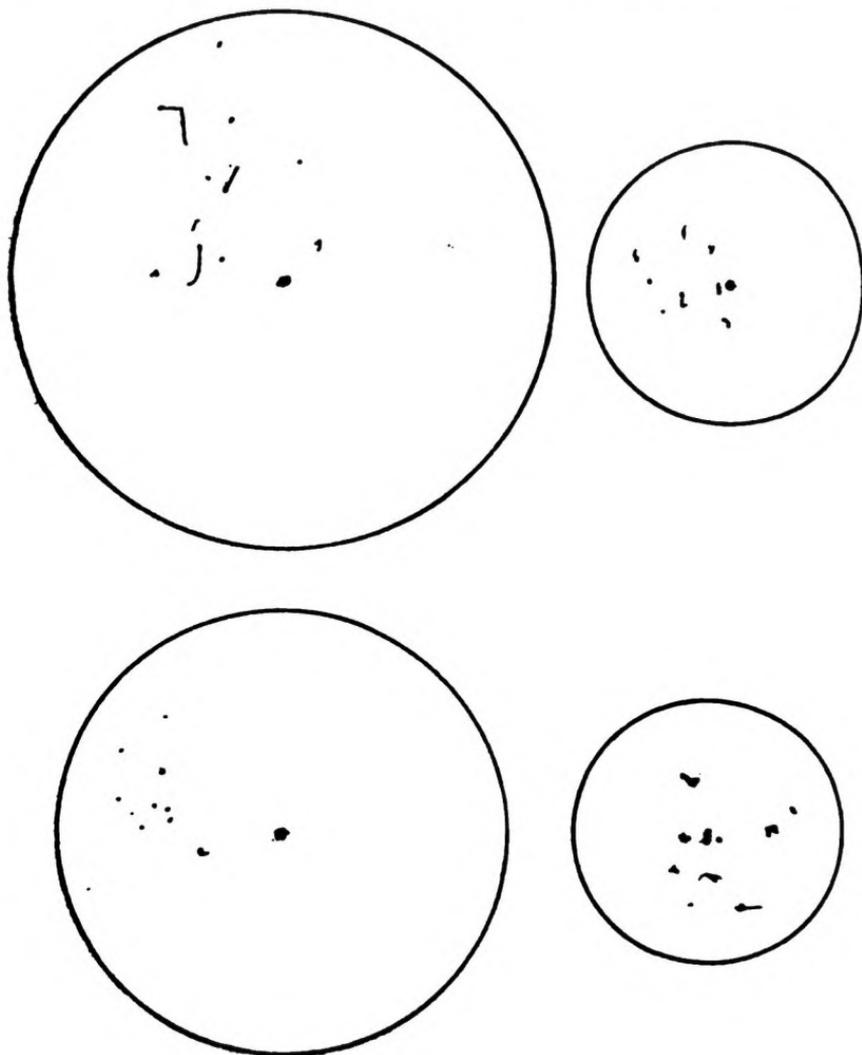
Die nebenstehenden Figuren rühren von vier verschiedenen Personen her. Die Figuren zeigen, daß weder die „Bestimmtheit“, noch „die Richtigkeit“² so groß ist, wie man erwarten durfte, wenn man bedenkt, daß die Versuchsanordnungen darauf zugeschnitten waren, die Aufgabe möglichst zu erleichtern, also bequemer Sitz vor einem Tisch, Anlehnen des Rahmens an den Tisch, Abstand des Kartons vom Augenpaar etwa $\frac{1}{4}$ Meter und senkrechte Richtung der Medianebene gegen den Karton.

Ich habe dann ferner Versuche im Dunkelzimmer angestellt. Der Beobachter setzt sich an einen Tisch und lehnt seine Stirn gegen einen festen Rahmen. Vor ihm, in der Höhe seines Augenpaares, steht auf dem Tische eine Fixiermarke die hell genug ist, um deutlich sichtbar zu sein, aber doch nicht so hell, um die schwarzen Wände des Dunkelzimmers, den Tisch oder die Hände des Beobachters sichtbar zu machen. Anfangs benutzte ich als Fixiermarke ein winziges blaues Stichflämmchen, das in einer geschwärzten, nach dem Beobachter zu offenen

¹ Handbuch der Physiologie, III, 1, S. 414.

² Siehe HERING a. a. O.

Röhre brannte. Später benutzte ich ein winziges Mattglasfensterchen, das von rückwärts in passender Weise beleuchtet war. Der Beobachter wurde nun angewiesen, einen ihm unsicht-



baren Zeiger auf die Höhe der Fixiermarke einzustellen. Der Zeiger befindet sich an einem Stativ, steht wagerecht und kann durch einen Schraubetrieb höher oder tiefer gestellt werden. Um sich von der Stellung des Zeigers eine Vorstellung zu verschaffen, betastet der Beobachter den Zeiger mit der linken Hand, während seine rechte die Stellschraube bedient. Nachdem der

Beobachter dem Zeiger die vermeintlich richtige Stellung gegeben hat, schließt er seine Augen. Nun mache ich hell und lese die Stellung des Zeigers ab; dann verdunkele ich wieder und lasse vom Beobachter eine zweite Einstellung des Zeigers machen und so fort bis zu zehnmal.

Natürlich werden dem Beobachter die Fehler, die er gemacht hat, nicht mitgeteilt, um seine Unbefangenheit nicht zu stören.

Derartiger Versuchsreihen, zu je zehn Einstellungen, habe ich neunzehn ausgeführt, an sieben verschiedenen Personen.

Berechnet man aus den Versuchsreihen den „konstanten Fehler“ und den „reinen variablen Fehler“ nach FECHNER¹ in Millimetern, so ergibt sich folgendes:

	Konst. Fehler	Reiner variab. Fehler
F. (monokular)	4,4 mm	12 mm
	39,2 „	11,9 „
	55,5 „	8,7 „
G.	26,6 „	8,9 „
	5,9 „	5,7 „
	26 „	24,6 „
	6 „	6,1 „
	2,2 „	7 „
Dr. H.	5,1 „	7,5 „
	2 „	9,1 „
R.	27 „	11,8 „
	40 „	3,5 „
	3 „	17,4 „
H.	7 „	6 „
G.	15,8 „	13,4 „
	4,2 „	9 „
	4,6 „	8 „
S.	1,9 „	6,5 „
	0 „	12,7 „

Die Zahlen lehren, daß die Projektion eines einzelnen hellen Punktes im sonst dunkeln Gesichtsfeld außerordentlich ungenau ist. Diese Tatsache gibt sich im Grunde genommen noch deutlicher aus den rohen Versuchszahlen, als durch Berechnung des „konstanten Fehlers“ und des „mittleren variablen Fehlers“. Wenn bei einzelnen Versuchen der Zeiger 6 selbst 7 cm höher gestellt wird, als der

¹ Elemente der Psychophysik, I, S. 121. Leipzig, 1889.

fixierte Punkt steht, so ist klar, daß von einer ähnlichen Genauigkeit der Projektion, wie sie unter den Bedingungen des täglichen Lebens vorhanden ist, gar keine Rede sein kann.

Noch überzeugender freilich als die Zahlen wirkt der Versuch auf den Beobachter selbst. Während man sich bemüht, den Zeiger in die richtige Stellung zu bringen, wird man sich ganz unmittelbar der Unmöglichkeit bewußt, die Aufgabe genau zu lösen. Eine der untersuchten Personen sagte geradezu, sie rate nur die Höhe, die sie dem Zeiger geben müsse. Ein anderer machte die Bemerkung, der Lichtpunkt stehe doch höher wie seine, des Beobachters Augen, während der Lichtpunkt tatsächlich einen Zentimeter tiefer stand. Nebenbei bemerkt war „der konstante Fehler“ in den 19 Versuchsreihen 14mal ein Fehler nach oben, nur 4mal ein Fehler nach unten und einmal gleich Null.

Einer der Untersuchten machte, als ich ihm das Endergebnis seiner Versuchsreihen mitteilte, folgende Bemerkung: das wundert mich gar nicht; denn ich weiß längst, daß man einen hellen Punkt im Dunkeln nicht genau am richtigen Orte sieht; wenn ich im dunkeln Treppenhaus bin und mich nach dem hellen Schlüsselloch richte, um die Türklinke zu erfassen, so greife ich in der Regel zunächst fehl.

Um die Versuchsanordnung, soweit das möglich, dem Sehen unter gewöhnlichen Verhältnissen anzupassen, sind die letzten fünf Versuchsreihen nicht im Dunkelzimmer, sondern im Tageslicht, angestellt worden. Zu dem Ende blickt das Augenpaar durch eine konvergierende Doppelröhre; da, wo die Lichtungen der beiden Röhren zusammenfallen, befindet sich der zu fixierende Gegenstand, ein gedrucktes Wort. Durch eine besondere Einrichtung ist dafür gesorgt, daß das Augenpaar nicht von seitwärts Licht bekommt. Der Beobachter sieht also im dunkeln Gesichtsfeld nichts weiter als die kleine weiße Papierfläche mit dem darauf gedruckten Worte. Er hat nun, ganz wie bei den früheren Versuchen, die Aufgabe, den Zeiger mit Hilfe des Tastsinnes in die Höhe des fixierten Wortes zu bringen. Der Erfolg war, wie vorauszusehen, derselbe wie bei den ersten 14 Versuchsreihen.

Endlich habe ich auch noch einige Versuche über die Genauigkeit der Projektion eines Lichtpunktes im dunkeln Gesichtsfelde in waagrechter Richtung angestellt. Die Anordnung der

Versuche war dieselbe wie bei den vorerwähnten Versuchen im Dunkelzimmer. Der Zeiger wurde mit der Linken betastet und mit der Rechten eine Schraube so lange gedreht, bis der Zeiger genau senkrecht unter dem Lichtpunkte zu stehen schien. Hier die Ergebnisse:

	Konstanter Fehler	Reiner variabler Fehler
F. (monokular)	12,1 mm	13,5 mm
G.	8 „	10,8 „
H.	31 „	11,4 „
	21,1 „	6,9 „
B.	12 „	11,7 „
	11,7 „	10,3 „
G.	3,5 „	8,3 „
	7,7 „	6,1 „
S.	10 „	11,3 „
	0,7 „	4,5 „

Leider ist bei den einzelnen Versuchsreihen nicht ausdrücklich aufgezeichnet worden, ob der „konstante Fehler“ nach rechts oder nach links lag. Wahrscheinlich hat er sechsmal nach rechts und viermal nach links gelegen.

Wenn die Verlegung eines Bildpunktes nach außen sowohl in senkrechter als in wagrechter Richtung unsicher ist, so versteht es sich von selbst, daß auch die Verlegung nach der Tiefe nicht genau sein kann. Besondere Versuche darüber anzustellen schien unnötig, da die Tatsache durch WUNDT,¹ durch HELMHOLTZ² und durch R. FRÖHLICH³ bereits festgestellt ist.

Gegen den Schluss, daß die mitgeteilten Versuche eine große Unsicherheit der Projektion eines einzelnen fixierten Punktes beweisen, ließe sich nur ein Einwand erheben. Man könnte sagen, die Fehler in der Lokalisierung rühren davon her, daß man über die Lage seiner Hand keine richtige Vorstellung hat. Ich habe deshalb noch Versuche folgender Art angestellt: Bei geschlossenen Augen betaste ich mit der linken Hand eine feststehende Bleistiftspitze und suche eine zweite, von der rechten Hand betastete Bleistiftspitze in gleiche Höhe zu bringen. Die zweite Bleistiftspitze ist in einer Klammer befestigt, die mittels Schraubetriebes von einem Gehilfen höher und tiefer gestellt

¹ Erwähnt von HELMHOLTZ.²

² Physiologische Optik, II. Aufl., S. 795 u. ff.

³ v. GRÄFES Archiv, XLI, 4, S. 146 u. 147.

werden kann. Selbstverständlich befinden sich beide Bleistiftspitzen einander gegenüber, in einer Frontalebene, in handlicher Entfernung.

Diese Versuche lehren, daß man in der Tat bei geschlossenen Augen nicht imstande ist, die Lage seiner Hände genau zu bestimmen. Aber die Fehler sind nicht so groß wie bei den Projektionsversuchen. Auch hat man durchaus nicht das Gefühl der Unsicherheit, ja Ratlosigkeit, das oben, beim Fixieren eines hellen Punktes im dunkeln Gesichtsfeld, erwähnt wurde. Im Gegenteil, man glaubt sich seiner Sache ziemlich sicher und ist hinterdrein erstaunt zu sehen, daß man doch ansehnliche Fehler gemacht hat. Bei sechs Personen schwankte der konstante Fehler, Mittel aus 10 Einzelversuchen, zwischen 0,4 und 18,8 mm. Am lehrreichsten ist der Vergleich zwischen den Fehlern bei Projektions- und bei Tastversuchen ein und derselben Person. Da ich die Projektionsversuche im Jahre 1902 angestellt habe, so standen mir jetzt nicht alle die damals untersuchten Personen zur Verfügung. Die folgende Liste bezieht sich deshalb nur auf vier Personen.

Konstanter Fehler, in senkrechter Richtung; + bedeutet „zu hoch“, — bedeutet „zu tief“.

	Bei Projektionsversuch	bei Tastversuch
A. F.	+ 4,4 mm	+ 13,8 mm
	+ 39,2 „	— 0,4 „
	+ 55,5 „	+ 9,2 „
G. F.		— 5,1 „
		+ 4,6 „
		+ 5,2 „
	+ 3,5 „	— 12,1 „
	+ 15,8 „	+ 16,5 „
R. F.	+ 4,2 „	— 5,6 „
	+ 4,6 „	+ 0,1 „
	+ 27 „	— 0,1 „
	+ 40 „	+ 0,2 „
U. GR.	+ 3 „	+ 1,4 „
	+ 24 „	— 0,4 „
	+ 5,9 „	+ 0,4 „
	— 26 „	+ 4,1 „
	+ 6 „	+ 0,4 „
	— 2,2 „	+ 6,2 „

Meines Erachtens lehren diese Versuche folgendes: Bei geschlossenen Augen ist man über den Ort, wo sich die Hände befinden, nicht genau unterrichtet; jede Hand macht einen Fehler von durchschnittlich 1—2 cm; die Fehler der beiden Hände können sich aufheben, aber auch summieren. Würde beim Fixieren eines hellen Punktes im dunkeln Gesichtsfeld kein Fehler gemacht, so hätten bei den Projektionsversuchen die Fehler nur halb so groß ausfallen dürfen, als bei den Tastversuchen. Tatsächlich sind aber die Fehler bei den Projektionsversuchen sogar größer als bei den Tastversuchen. Mithin ist die Ortsbestimmung eines Punktes durch Fixieren noch ungenauer als durch Betasten mit der Hand.

Die Tatsache, daß die Lokalisierung eines einzelnen Punktes, selbst des fixierten, außerordentlich unsicher ist, scheint der Erfahrung des täglichen Lebens zu widersprechen. Denn wir bewegen uns bekanntlich mit der größten Sicherheit im Raume, selbst unter den schwierigsten Bedingungen. Der Widerspruch verschwindet aber, wenn man die naheliegende Annahme macht, daß die Verlegung eines Netzhautbildes in die Außenwelt gar nicht von den bestrahlten Sehzellen allein bewerkstelligt wird, sondern ein äußerst verwickelter Vorgang ist, bei dem das ganze Gesichtsfeld und die in ihm verteilten Dinge mitbenutzt werden.

Wesentlich ist dabei, daß wir mit unserem eigenen Körper in das Gesichtsfeld hineinragen und so die Möglichkeit besitzen, den Abstand des fixierten Punktes zu messen von solchen Punkten des Gesichtsfeldes, die wir nicht bloß durch das Gesicht sondern auch durch das Getast örtlich bestimmen.

Ja, wenn es sich um die allgeräuesten Leistungen der gesichtssinnlichen Lokalisierung handelt, dann genügen die eben erwähnten Hilfsmittel nicht einmal. Dann bleibt nichts anderes übrig, als den fixierten Punkt mit dem Finger (oder einer Bleistiftspitze) dadurch zu erreichen, daß man während der Bewegung die Richtung der Hand nach Bedarf ändert, den Finger zu dem fixierten Punkte hinleitet. Dieses Ertasten eines fixierten Punktes kommt uns nicht zum Bewußtsein, weil sich der ganze Vorgang, genügende Übung vorausgesetzt, so schnell abspielen kann, daß es einem Zuschauer den Eindruck macht, als ob der Finger wie aus der Pistole geschossen sein Ziel erreiche.

Die vorstehend dargelegte Ansicht über das Projizieren scheint bereits von SACHS ausgesprochen und begründet worden zu sein. Wenigstens findet sich im Zentralbl. f. Augenheilk. 1904, S. 362 ein kurzer Bericht über einen Vortrag, den SACHS am 26. X. 1904 in der Wiener ophthalmol. Gesellsch. gehalten hat; und in diesem Berichte kommen folgende drei Sätze vor:

„Nach SACHS wird der Schwankungsbereich in der absoluten Lokalisation einer Gesichtsempfindung durch das Hinzutreten von anderen, relativ bestimmt lokalisierten, eingeengt. Es wächst die Bestimmtheit und Richtigkeit der absoluten Lokalisation, unter gleichen Umständen, mit der Menge des gleichzeitig Sichtbaren. Es wird also die absolute Lokalisation durch den Gesamthalt des Gesichtsfeldes, in hohem Grade gewifs auch durch die Wahrnehmung von Teilen des eigenen Körpers gefördert.“

(Eingegangen am 2. Dezember 1904.)
