

## Beiträge zur Kenntniss des indirecten Sehens.

---

### II.

#### Ueber die Gränzen der Farbenwahrnehmung auf den seitlichen Theilen der Retina

von

**Dr. med. Hermann Aubert**

in Breslau.

---

Bei den Untersuchungen, die ich in Gemeinschaft mit Dr. Förster über den Raumsinn der Netzhaut anstellte, bemerkten wir, dass ein rother Punkt auf weissem Papier nicht mehr roth sondern schwarz erschien, wenn er eine gewisse Strecke vom fixirten Punkte entfernt mit den Seitentheilen der Netzhaut gesehen wurde. Ueber diese Erscheinung fand ich nur ein paar kurze Angaben von Purkinje (Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne Bd. 2 p. 1—36) und von Hueck (Müllers Arch. 1840 p. 95). Purkinje hat zuerst beobachtet, dass verschiedene Farben am äusseren Augenwinkel bei  $90^{\circ}$ — $80^{\circ}$  Entfernung von dem Retinalcentrum nicht mehr farbig erscheinen und bis zum Erscheinen ihrer Farbe gewisse Farbentöne und Nüancen durchlaufen, worüber unten das Genauere angegeben werden soll. Hueck giebt Folgendes an: „Ein grünes Quadrat von 2" 4''' Durchmesser wurde auf 12' Entfernung und  $13^{\circ}$  Abweichung nicht mehr für grün erkannt; ein blaues Quadrat von gleicher Grösse auf  $18^{\circ}$

Abweichung, ein gelbes auf  $25^\circ$  — ein blauer Papierbogen konnte auf  $45^\circ$  Abweichung kaum als blau unterschieden werden, dagegen ein rother, sowie ein gelber Papierbogen noch auf  $70^\circ$  Abweichung farbig erscheinen — weiter hinaus war nur noch eine Unterscheidung von Hell und Dunkel möglich.“

Es geht hieraus hervor, dass die Fähigkeit der Netzhaut für die Erkenntniss verschiedener Farben nach der Peripherie hin in verschiedenem Grade abnimmt, und dass die Grösse der farbigen Fläche von Einfluss auf die Wahrnehmung ihrer Farbe ist: zwei Sätze, die durch meine Beobachtungen durchaus bestätigt werden.

Ich stellte mir folgende Fragen:

- 1) In welchem Verhältnisse nimmt die Farbenwahrnehmung mit der gefärbten Fläche ab?
- 2) Wie verhält sich die Abnahme in verschiedenen Meridianen der Netzhaut?
- 3) Wie verhalten sich die Farben auf weissem und auf schwarzem Grunde?
- 4) Wie verhalten sich die verschiedenen Farben?

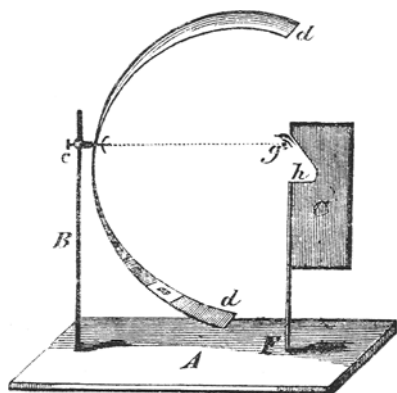
Ich schnitt mir nun aus möglichst intensiv gefärbtem, rothen, blauen, gelben und grünen Papier \*) je zwei Quadrate, welche genau 1, 4, 16, 64, 196, und 1024 Quadratmillimeter gross waren, und klebte je eins auf ganz schwarzes, eins auf intensiv weisses (Visitenkarten-) Papier. Die Papiere, mit Ausnahme des weissen, waren matt, und so stark, dass der Grund nicht im geringsten durchschien. Es ist nothwendig, dass das farbige Papier matt ist, und man muss auch beim Aufkleben der Quadrate das Hervordringen des Gummis

---

\*) Das rothe Papier zeigte bei Prüfung mittelst eines geeigneten Prismas keine andere Farbe beigemischt, das blaue enthielt nur wenig grün und noch weniger roth, das gelbe etwas roth und grün, das grüne dagegen war nicht unbeträchtlich mit blau, gelb und roth verunreinigt; das Grün war ausserdem sehr hell.

durchaus vermeiden, weil man sonst einen sehr störenden Glanz oder Lichtreflex bekommt, der nicht von der Farbe, sondern von der spiegelnden Eigenschaft der Oberfläche herrührt und die Erkennung der Farbe sehr beeinträchtigt. — Der Grund der Unterlage (schwarz oder weiss) darf ferner den Ton der Farbe nicht verändern, wenn die Versuchsreihen mit schwarzem und weissem Grunde vergleichbar sein sollen. Man überzeugt sich von der gewünschten Gleichheit der Farbtöne der Quadrate, indem man den schwarzen Grund mit weissem Papier verdeckt und nun das Quadrat mit einem auf weisses Papier geklebten zusammenhält und umgekehrt. Scheint der schwarze Grund durch, was bei etwas dickem Papier kaum noch geschieht, so kann man durch Zusatz von etwas weisser Farbe zu dem Gummi diesen Fehler leicht beseitigen.

Der Apparat, dessen ich mich bediente, war derselbe, den wir in der zweiten Reihe unserer Untersuchungen über den Raumsinn benutzt hatten; es waren



aber einige Veränderungen daran nöthig geworden. Er bestand aus einem Brettchen A mit einer vertikalen Stahlstange B, an welcher ein Halbkreis d d mittelst einer Hülse c auf und ab geschoben werden konnte.

Den Halbkreis bildeten zwei Blechrinnen, in welchen die Karten verschoben wurden; eine der Blechrinnen hatte eine Gradtheilung. Der Halbmesser des Kreises war — 0,2 Mètre. Dieser Halbkreis konnte bei  $c$  um seine Axe  $cg$  (die Verlängerung der Sehaxe) gedreht und in verschiedenen Radien, entsprechend den Meridianen der Netzhaut, festgestellt werden. Dieser Axe gegenüber und 0,2 M. von ihr entfernt, also im Mittelpunkt des Kreises, befand sich das beobachtende Auge. Diese Stellung wurde für beide Augen mit gleicher Genauigkeit möglich durch den Ausschnitt  $h$  in dem Schirme  $C$ , in welchem die Nase des Beobachters zu liegen kam; der Schirm konnte um  $Fg$  nach rechts und links gedreht werden und verdeckte so das rechte oder linke Auge.

Bei den Versuchen wurde  $c$  fixirt und die Karte mit dem farbigen Quadrate in den Blechrinnen von  $c$ , dem fixirten Punkte, nach der Peripherie hin allmählig fortgeschoben, bis die Farbe verschwand. Dann wurde die Anzahl der Grade abgelesen, notirt und nun der Halbkreis um seine Axe (die Sehaxe)  $45^\circ$  gedreht etc. Im ruhigen und sicheren Fixiren bei gleichzeitiger ununterbrochener Aufmerksamkeit auf die seitlichen Theile der Netzhaut war ich durch die früheren Untersuchungen sehr geübt, und es ist dies gerade bei der Prüfung der Farben sehr nothwendig, weil man bei der eigenthümlichen Veränderung der Farbenwahrnehmung eine grosse Tendenz hat, das Auge auf das Object zu richten.

Die Versuche mussten ferner bei Tageslicht angestellt werden. Sie wurden Morgens und Vormittags nur bei unbewölktem Himmel in einem gegen Norden gelegenen hellen Zimmer immer in derselben Entfernung vom Fenster gemacht: so dass die Unterschiede in der Beleuchtung wohl nicht sehr gross gewesen sein werden.

Ich werde im Folgenden wieder die Stelle, wo die Farben nicht mehr als solche erschienen, als „Gränzpunkt“ oder „Gränzpunkt für die Farben“ bezeichnen (s. Raumsinn p. 16).

---

Es ergab sich nun:

1) Dass ein irgendwie gefärbtes Quadrat auf weissem Grunde, wenn es auf die Seitentheile der Retina über eine gewisse Gränze hinaus fällt, schwarz erscheint. Diese Veränderung tritt aber nicht plötzlich ein, sondern mit einer auffallenden Allmähligkeit. Schon in einer geringen Entfernung vom Centrum wird ein höchst intensives Roth dunkler und unscheinbarer; die Dunkelheit nimmt immer mehr zu, bis das Quadrat von der Farbe eines beginnenden Rothglühens erscheint, und endlich sieht es ganz schwarz aus. Diese Stelle ist der Gränzpunkt; er wurde jedesmal durch einige kleine Verschiebungen des Quadrates geprüft und controlirt. Es tritt nämlich hier eine für das Urtheil störende Beziehung zu der Stumpfheit des Raumsinnes auf den Seitentheilen der Netzhaut auf. Die Quadrate erscheinen, wenn sie schwarz werden, nicht mehr in ihrer Form, sondern nur als undeutlich begränzte Flecke, und es ist dadurch um so schwieriger, zu unterscheiden, an welcher Stelle, bei welchem Grade zuerst jede Spur einer Färbung verschwunden ist. Besonders gilt dies für helle Farben auf weissem Grunde, die verhältnissmässig sehr weit vom fixirten Punkte entfernt werden müssen, ehe sie schwarz oder farblos erscheinen. Blau und Grün verhalten sich ähnlich wie Roth, sie werden immer dunkler und endlich schwarz. Gelb dagegen geht erst in ein bräunliches Gelb, dann in ein schmutziges Braun über, endlich erscheint es als ein dunkler, ich kann nicht gerade sagen schwarzer Fleck; von Gelb ist aber keine

Spur mehr vorhanden. Diese Stelle wurde als Gränzpunkt notirt.

Es giebt nun noch eine zweite Gränze für die Quadrate, wo sie nämlich ganz verschwinden und man nur eine weisse Fläche sieht. Diese Gränze ist offenbar von der Feinheit des Raumsinnes abhängig. Es kann aber bei Quadraten von heller Farbe vorkommen, dass dieselben früher verschwinden, als sie ihre Farbe verlieren, so dass also sehr blasse Farben zu diesen Versuchen nicht gewählt werden dürfen, sondern nur solche, die einen gewissen lebhaften Contrast mit ihrer Umgebung bilden. Diese Beobachtung ist, wie wir später sehen werden, für eine Vergleichung der Seitentheile mit den Centraltheilen der Retina von Wichtigkeit.

2) Ein rothes, blaues, grünes, gelbes Quadrat auf schwarzem Grunde erscheint jenseits einer gewissen Gränze der Netzhaut nicht mehr gefärbt sondern weiss. Auch hier sind die Uebergänge allmählig und zwar in der Weise, dass Blau, Grau und Gelb immer heller werden, blau und grün dann hellgrau erscheinen und endlich ziemlich rein weiss; ein blendendes Weiss erscheint allerdings nicht, indess sieht auch ein ganz weisses Quadrat von 1—16 Quadratmillimeter auf den Seitentheilen der Retina nicht mehr blendend weiss aus. Beim Roth ist der allmähliche Uebergang folgender: es erscheint zuerst heller und matter roth, dann wird es rothgelb, dann gräulich gelb und endlich etwas schmutzig weiss. Hier ist es wieder recht schwer, die Gränze, wo die Färbung ganz aufhört, zu bestimmen.

Auch bei den Farben auf schwarzem Grunde giebt es wieder eine Gränze für das gänzliche Unsichtbarwerden der Quadrate. Mit sehr dunklen Nüancen lassen sich daher die Versuche nicht anstellen.

Etwas anders beschreibt Purkinje die eben geschil-

derten Uebergänge (a. O. p. 15 und 16); leider hat Purkinje keine Angabe über die Umgebung der Farben gemacht, die doch, wie wir sehen, von sehr grossem Einfluss ist. Nur beim Roth ist es gewiss, dass er einmal hellen und einmal dunkeln Grund gehabt hat, wie aus seinen Worten hervorgeht: „Zinnober zeigt sich am äusseren Augenwinkel von  $90^{\circ}$ — $70^{\circ}$  blass fahlgelb, wird dann orange und geht allmählig gegen das Centrum des Gesichtsfeldes in seine reine Farbenqualität über; am inneren Augenwinkel findet man dasselbe von  $60^{\circ}$  an; ein schönes reines Purpur zeigt sich am äusseren Augenwinkel bei  $90^{\circ}$  schwarz, bei  $80^{\circ}$  blau, bei  $70^{\circ}$  violett und beginnt erst bei  $50^{\circ}$  seine eigenthümliche Farbe anzunehmen.“ Ohne Zweifel war bei dem Zinnober die Umgebung dunkel, beim Purpur hell. Bei meinem Roth habe ich und mehrere Freunde einen Uebergang in Blau und Violett nicht wahrgenommen.

3) Eine eigenthümliche Erscheinung ist mit diesem Dunkel- und Hellwerden der Quadrate verbunden, nämlich die Quadrate erscheinen zugleich kleiner als bei der visio directa, mitunter nicht mehr quadratisch, sondern als undeutlich begränzte Rechtecke, deren lange Seite im Retinalmeridian liegt (cfr. Purkinje p. 17). Dieses Kleinerwerden scheint auf einer Urtheilstäuschung zu beruhen, die ich mir in folgender Weise zu Stande kommend denke: Von einem rothen Quadrate kommen ceteris paribus weniger Lichtstrahlen ins Auge, als von einem weissen, und zwar um so weniger, als die übrigen, das Weiss zusammensetzenden Farben, ausser Roth, liefern. Nun erscheint das Roth nahezu weiss, während die räumlichen Verhältnisse des Gegenstandes weniger scharf empfunden werden. Man wird also unbewusst schliessen, dass die scheinbar grössere Menge von Lichtstrahlen von weniger Punkten ausgeht, also der Raum, von dem sie ausgeht, kleiner ist, ein Urtheil,

welches wegen der undeutlichen Raumwahrnehmung von dem Sinne nicht corrigirt werden kann.

Zur Constatirung der Thatsache klebte ich auf ein schwarzes Papier ein rothes Quadrat von 1 Quadratmillimeter, und daneben ein eben so grosses weisses. Das weisse Quadrat erschien nun seitlich viel grösser an der Stelle, wo auch das rothe Quadrat weiss erschien; noch weiter nach aussen verschwand das rothe Quadratmillimeter ganz, während das weisse noch sehr deutlich sichtbar war. — Brachte ich dagegen ein rothes Quadrat von 16 Quadratmillimeter und ein weisses Quadratmillimeter neben einander auf schwarzes Papier, so erschienen sie in einer gewissen Entfernung vom Retinalcentrum beide weiss und ziemlich gleich gross.

Zur Beantwortung der oben gestellten Fragen lasse ich nun die Tabellen folgen, in denen die einzelnen Versuche verzeichnet und geordnet sind. Auf der ersten Tabelle sind die Beobachtungen der farbigen Quadrate auf weissem Grunde, auf der zweiten derer auf schwarzem Grunde zusammengestellt. In jeder Farbenrubrik sind die Resultate nach der Grösse der Quadrate vom grössten bis zum kleinsten geordnet. L und R bedeuten linkes und rechtes Auge. Die Angaben Aussen (A), Aussen oben (A. O), Oben (O) u. s. w. beziehen sich auf die verschiedenen Radien, in denen der Kreisbogen und mit ihm die Quadrate gestellt waren, und sind auf Netzhautmeridiane bezogen umzukehren. Die Zahlen in den Rubriken bedeuten die Entfernung von dem fixirten Punkte in Graden, bei welcher die Farbe nicht mehr erkannt werden konnte, also mit anderen Worten: die Entfernung des Gränzpunktes für die Farben von dem fixirten Punkte. Die nicht ausgefüllten oder mit  $\infty$  versehenen Rubriken bedeuten, dass hier die Färbung wegen der Grösse der farbigen Fläche nicht verschwand. Leider ist hier nur nach aussen eine Verfolgung bis



90° möglich, weil das Bild in den andern Richtungen wegen der Umgebungen der Augen nicht mehr auf die Netzhaut fallen kann. (Siehe die Bestimmungen der Gränzen des Gesichtsfeldes bei Purkinje a. a. O. p. 6.)

Die Angabe der Gränzpunkte für die Farben ist wie jede Beurtheilung qualitativer Eindrücke schwierig und bis zu einem gewissen Grade willkürlich. Man muss sich ein willkürliches Schema für das Urtheil bilden, um Gleichmässigkeit in die Versuchsreihen zu bringen. Schwankungen bis zu 5° lassen sich aber oft nicht vermeiden. Dass diese Schwankungen selten so bedeutend sind, dürfte schon aus den ohne jeden möglichen Selbstbetrug gewonnenen Zahlen der Tabelle selbst hervorgehen, welche eine verhältnissmässig grosse Uebereinstimmung zeigen (cfr. Raumsinn p. 20).

**Tabelle I.**  
Auf weissen Grunde.

Grösse der farbigen Fläche.	Roth.						Blau.						Gelb.						Grün.																	
	(1 Mm.) <sup>2</sup>			(2 Mm.) <sup>2</sup>			(4 Mm.) <sup>2</sup>			(1 Mm.) <sup>2</sup>			(2 Mm.) <sup>2</sup>			(4 Mm.) <sup>2</sup>			(1 Mm.) <sup>2</sup>			(2 Mm.) <sup>2</sup>			(4 Mm.) <sup>2</sup>											
	L.	R.	M.	L.	R.	M.	L.	R.	M.	L.	R.	M.	L.	R.	M.	L.	R.	M.	L.	R.	M.	L.	R.	M.	L.	R.	M.									
Augen.	25°	25°	25°	25°	25°	25°	33°	33°	33°	15°	15°	15°	26°	26°	26°	52°	52°	52°	28°	30°	30°	38°	36°	36°	58°	58°	58°	26°	26°	40°	48°	65°	62°			
A.	15	18	16	18	28	25	11	11	22	23	35	30	20	20	20	34	34	34	50	45	45	38°	36°	36°	58°	58°	58°	26°	26°	40°	48°	65°	62°			
A.O.	15	18	16	18	28	25	11	11	22	23	35	30	20	20	20	34	34	34	50	45	45	38°	36°	36°	58°	58°	58°	26°	26°	40°	48°	65°	62°			
O.	14	14	16	18	26	22	11	11	19	18	36	30	18	19	25	20	35	37	20	20	20	35	32	35	36	36	36	20	20	32	34	40	44			
O.I.	14	14	16	17	24	24	13	14	23	19	30	35	20	18	25	25	40	40	20	20	20	32	32	34	40	44	44	20	20	32	34	40	44			
I.	15	15	19	19	26	26	14	14	26	24	36	34	22	20	32	30	50	38	20	20	20	37	36	50	36	36	20	20	37	36	50	36	36			
I.U.	16	14	18	19	22	22	12	10	24	23	30	34	21	20	30	32	36	42	18	18	35	34	35	32	32	32	20	20	37	36	50	36	36			
U.	12	15	16	18	22	24	12	11	21	21	35	33	18	20	32	32	40	40	17	17	35	32	40	45	45	45	20	20	36	42	44	45	45			
U.A.	17	16	20	19	29	32	17	15	25	20	41	46	22	24	34	34	45	45	20	20	36	42	44	45	45	45	20	20	36	42	44	45	45			
Mittel	16	16½	18½	19½	26½	26	15½	15½	23½	21½	36½	36½	21½	20½	31½	30½	44½	43½	20½	20½	35½	36½	44½	43½	43½	43½	43½	20½	20½	35½	36½	44½	43½	43½		
Grösse der farbigen Fläche.	(8 Mm.) <sup>2</sup>			(16 Mm.) <sup>2</sup>			(32 Mm.) <sup>2</sup>			(8 Mm.) <sup>2</sup>			(16 Mm.) <sup>2</sup>			(32 Mm.) <sup>2</sup>			(8 Mm.) <sup>2</sup>			(16 Mm.) <sup>2</sup>			(32 Mm.) <sup>2</sup>			(8 Mm.) <sup>2</sup>			(16 Mm.) <sup>2</sup>			(32 Mm.) <sup>2</sup>		
A.	48°	50°	55°	60°	76°	70°	64°	66°	74°	75°	78°	77°	80°	∞	∞	∞	∞	73°	75°	75°	60	56	50	47	45	41	47	41	38	42	40	44	44			
A.O.	38	35	48	40	∞	∞	52	49	54	58	66	58	∞	∞	∞	∞	∞	60	56	50	47	45	41	47	41	38	42	40	44	44	44	44	44			
O.	36	33	39	39	∞	∞	42	40	54	48	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	50	50	50	47	45	41	47	41	38	42	40	44	44	44	44	44			
O.I.	36	29	40	35	∞	∞	49	44	54	48	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	50	50	50	47	45	41	47	41	38	42	40	44	44	44	44	44			
I.	32	29	36	36	42	43	50	50	60	52	60	52	55	50°	50°	50°	50°	48	45	40	48	50	48	45	41	47	41	38	42	40	44	44	44			
I.U.	32	36	32	40	51	43	39	52	52	∞	52	∞	65	65	73	70	60	50	48	45	48	50	48	45	41	47	41	38	42	40	44	44	44			
U.	33	35	44	49	50	45	40	58	50	58	55	55	73	73	63	63	63	50	48	45	48	50	48	45	41	47	41	38	42	40	44	44	44			
U.A.	45	46	50	56	68	60	55	58	60	67	73	73	70	60	60	60	60	50	48	45	48	50	48	45	41	47	41	38	42	40	44	44	44			
Mittel	37½	36½	43	44½	55	54	49½	49½	57½	57½	66	63	70	60	60	60	60	50	48	45	48	50	48	45	41	47	41	38	42	40	44	44	44			

# Tabelle II.

Auf schwarzem Grunde.

Roth.										Blau.										Gelb.										Grün.									
Grösse der farbigen Fläche.		(1 Mm.) <sup>2</sup>		(2 Mm.) <sup>2</sup>		(4 Mm.) <sup>2</sup>		(1 Mm.) <sup>2</sup>		(2 Mm.) <sup>2</sup>		(4 Mm.) <sup>2</sup>		(1 Mm.) <sup>2</sup>		(2 Mm.) <sup>2</sup>		(4 Mm.) <sup>2</sup>		(1 M.) <sup>2</sup>		(2 M.) <sup>2</sup>		(4 M.) <sup>2</sup>															
Augen.		L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.														
A.		34°	40°	39°	44°	39°	59°	50°	50°	58°	64°	70°	68°	36°	45°	40°	42°	52°	50°	30°	34°	38°	36°	50°	45°														
A.O.		32	32	31	29	48	39	32	36	45	51	54	52	25	32	28	32	38	44	25	22	23	25	30	33														
O.		24	23	28	22	32	30	26	30	40	44	49	45	24	28	26	29	36	44	24	20	24	22	28	28														
O.I.		28	25	30	30	31	38	32	35	45	47	48	50	28	25	30	28	36	24	24	26	23	31	31	31														
I.		30	39	35	30	36	39	40	40	45	48	50	54	30	30	34	35	38	37	28	25	28	24	36	35														
I.U.		30	28	34	30	37	40	30	35	45	40	45	48	28	28	30	30	35	33	22	20	27	24	28	28														
U.		29	29	31	27	38	46	31	34	48	48	49	56	26	30	28	26	35	43	20	20	29	27	35	40														
U.A.		30	29	38	38	50	53	43	44	56	56	68	65	30	35	36	38	46	49	25	25	36	33	44	46														
Mittel		29½	29½	30¾	31½	41½	43	35½	38	47½	49½	54½	54½	28½	31½	31½	32½	38½	41½	24½	23½	28½	26½	35½	35½														
Grösse der farbigen Fläche.		(8 Mm.) <sup>2</sup>		(16 Mm.) <sup>2</sup>		(32 Mm.) <sup>2</sup>		(8 Mm.) <sup>2</sup>		(16 Mm.) <sup>2</sup>		(32 Mm.) <sup>2</sup>		(8 Mm.) <sup>2</sup>		(16 Mm.) <sup>2</sup>		(32 Mm.) <sup>2</sup>		(8 M.) <sup>2</sup>		(16 M.) <sup>2</sup>		(32 M.) <sup>2</sup>															
A.		74°	75°	85°	85°			85°	∞	90°	∞			61°	66°	75°	80°	85°	90°	72°	66°	85°	80°	90°	∞														
A.O.		60	59	67	61			55	62°	∞	60°			49	44	55	62	80	75	50	37	64	61	70	∞														
O.		43	37	45	46			∞	52	∞	∞			43	49	50	49	52	50	38	35	55	50	∞	∞														
O.I.		43	42	45	50			55	55	∞	∞			36	40	47	45	50	50	40	38	58	50	∞	∞														
I.		45	45	54	50			60	60	58	60			38	40	50	42	56	52	46	36	58	54	60	∞														
I.U.		42	46	48	46			52	52	56	∞			45	45	50	50	55	48	40	36	57	48	∞	∞														
U.		42	52	45	50			59	60	∞	∞			42	49	46	55	52	55	44	46	50	50	60	64°														
U.A.		67	72	80	75			74	70	∞	71			59	49	70	61	85	90	52	53	72	68	90	80														
Mittel		52	53½	58½	57½			62½	58½					46½	47½	55½	55½	64½	63½	47½	48½	62½	57½	—	—														

Auf der folgenden Tabelle sind der leichteren Uebersicht wegen die Mittelzahlen aus sämtlichen mit beiden Augen an je einem Quadrate gemachten Beobachtungen zusammengestellt. Man wird daraus sogleich die Unterschiede, welche durch die Grösse der Quadrate in der Farbenwahrnehmung bedingt werden, so wie den Einfluss des umgebenden schwarzen oder weissen Grundes ersehen können. In der letzten Reihe sind die Mittel aus den Mittelzahlen für schwarzen und weissen Grund gezogen, welche unten unter 4) ihre Deutung finden werden.

Alle diese Zahlen der III. Tabelle bedeuten also nur Meridianabschnitte, welche idealen Parallelkreisen um das Retinalcentrum entsprechen, Parallelkreisen, über welche hinaus die Quadrate von der angegebenen Grösse und Farbe nicht mehr farbig erscheinen würden, wenn die Fähigkeit der Farbenempfindung in allen Retinalmeridianen gleich schnell abnähme.

# Tabelle III.

Mittelzahlen, durch Addition sämtlicher mit beiden Augen an je einem Quadrat gemachten Beobachtungen erhalten.

Farben.	Roth.					Blau.					Gelb.					Grün.				
Grösse der farbigen Fläche in (Mm.) <sup>2</sup>	1	2	4	8	16	32	1	2	4	8	16	32	1	2	4	8	16	32		
Auf weissem Grunde.	16°	19°	26	37	44	55	15	22	36	49	57	64	21	31	44		50	44	36	20
Auf schwarzem Grunde.	30	32	42	53	58		36	48	54	72			30	32	49	47	55	64	24	27
Mittel aus weissem und schwarzem Grunde.	23	26	34	45	51		26	35	45	61			26	32	42				22°	32°
Mittel der 3 ersten Beobachtungen auf weissem Grunde.	20°					24°					32°					33°				
Mittel der 3 ersten Beobachtungen auf schwarzem Grunde.	35°					44°					34°					29°				
Mittel aus den beiden letzten Mitteln.	27°					34°					33°					31°				

Diese Tabellen geben nun Aufschluss: 1) über die Abhängigkeit der Farbenwahrnehmung mittelst der seitlichen Theile der Retina von der Grösse der farbigen Fläche; 2) über das Verhalten der Retina in verschiedenen Meridianen; 3) über den Einfluss des die farbige Fläche umgebenden Grundes; 4) über die Wahrnehmungsfähigkeit verschiedener Farben.

1) Je grösser eine farbige Fläche ist, um so weiter vom Retinalcentrum entfernt wird ihre Farbe erkannt. In den Tabellen zeigt sich durchgehends, dass die Columnen für grössere Quadrate auch grössere Winkelzahlen enthalten, dass also der Gränzpunkt um so weiter von der Macula lutea entfernt ist, je grösser die gefärbte Fläche wird. Dies gilt für alle Farben, und zwar sowohl auf schwarzem wie auf weissem Grunde. Desgleichen gilt es für jeden Meridian im Besonderen.

Bei einer gewissen Grösse der Quadrate, die für verschiedene Farben nicht dieselbe ist, wird die Farbe auch noch an den äussersten Gränzen der Retina erkannt; es scheint für alle Quadrate von 64 Mm. Seite zu gelten; wo auch bei kleineren Quadraten die Farbe nicht verschwand, ist in der Tabelle das Zeichen  $\infty$  gesetzt.

Um das Verhältniss numerisch ausdrücken zu können, in welchem die Fähigkeit die Farbe wahrzunehmen sich mit der Vergrösserung der Quadrate weiter nach der Peripherie hin erstreckt: dividirte ich die Anzahl der gefundenen Grade, also die Entfernung des Gränzpunktes vom Retinalcentrum, durch die Zahl der Grade, welche der Seite des Quadrats entsprachen. Ich erhielt dadurch „Verhältnisszahlen“ von ähnlicher Bedeutung, wie die, die wir für den Raumsinn berechnet hatten. Auf der folgenden Tabelle sind die Verhältnisszahlen für die vier kleinsten Quadrate der vier Farben, und

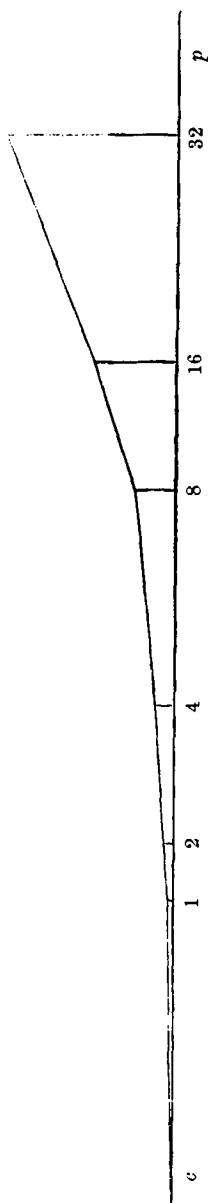
zwar oben für die Farben auf weissem, unten für die auf schwarzem Grunde angegeben. Es sind immer nur die Mittel aus den Mittelzahlen für beide Augen benutzt, um die Tabelle möglichst klein und übersichtlich zu machen.

**Tabelle IV.**

Farben.	Roth.				Blau.				Gelb.				Grün.			
Grösse der Quadrate . .	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8
Weisser Grund . . . .	56	33	23	16	53	39	32	21	74	55	39	—	70	63	39	22
Schwarzer Grund . . . .	106	56	37	23	127	85	48	31	106	56	35	20	85	48	30	20

Diese Tabelle zeigt, dass, je grösser die Quadrate werden, um so mehr die Verhältnisszahlen abnehmen, mag der Grund schwarz oder weiss sein, und zwar um so schneller, je grösser die erste Verhältnisszahl (für [1 Mm.] 2) ist. Das heisst: Die Fähigkeit die Farbe einer Fläche wahrzunehmen, nimmt nach den Seitentheilen der Retina nicht mit der Grösse der Quadrate proportional zu, sondern viel langsamer.

Graphisch stellt sich dies Verhältniss in folgender Weise dar:



wo von  $c$  dem Retinal-Centrum die Entfernungen der Gränzpunkte bis zur Peripherie  $p$  auf  $cp$  aufgetragen sind. Die Zahlen zeigen die Grösse der Quadrate und die Lage ihrer Gränzpunkte an. Man sieht, dass die Curve nach der Peripherie hin immer steiler wird. Diese Figur ist nach den Zahlen für die rothen Ouadrate auf weissem Grunde angefertigt.

2) Der Gränzpunkt für die Farben liegt für verschiedene Retinalmeridiane ungleich weit vom Centrum, und zwar am weitesten nach innen (auf die Retina bezogen), weniger weit nach innen und oben, noch näher nach aussen, wie dies aus jeder einzelnen Columnne der Tabellen I. und II. ersichtlich ist. Die Feinheit der Farbwahrnehmung nimmt also nach der inneren Peripherie der Netzhaut hin langsamer ab, als nach oben und unten.

3) Abgesehen von der merkwürdigen qualitativen Einwirkung der contrastirenden Umgebung, welche dieselbe Farbe das eine Mal



schwarz, das andere Mal weiss erscheinen lässt, ist auch der Einfluss des Contrastes in quantitativer Beziehung sehr auffallend, denn dieselbe Farbe musste viel weiter nach der Peripherie hin geschoben werden, wenn die spezifische Farbenwahrnehmung aufhören sollte, bei schwarzer Umgebung, als auf weissem Grunde. Ich glaube aber diese Erscheinung lediglich als eine Wirkung des Contrastes ansehen zu können. Mein Blau war die dunkelste der beobachteten Farben. Bei ihm ist der Unterschied zwischen weissem und schwarzem Grunde am grössten, denn es erschien dort schwarz bei  $15^\circ$ , hier erst bei  $36^\circ$  Entfernung vom Retinalcentrum u. s. w. (s. Tabelle III). Dann folgte Roth mit einer Differenz von 16 und  $30^\circ$  u. s. w. Grün und gelb waren bedeutend hellere Nüancen, und bei ihnen, namentlich bei Grün, sind auch die Differenzen viel geringer. Ob Grün oder Gelb heller war, konnte ich aber nicht angeben. Ich schliesse daraus: dass die spezifische Farbenwahrnehmung an den Seitentheilen der Netzhaut um so eher in eine blossе Wahrnehmung von Hell und Dunkel übergeht, je stärker dieselbe mit der Umgebung contrastirt.

4) Dass die Wahrnehmungsfähigkeit des Farbigen für verschiedene Farben nicht ganz gleich sein wird, ist von vorn herein nicht unwahrscheinlich. Bestimmte Resultate dürften in dieser Hinsicht nur sehr schwer zu erreichen sein; denn erstens wird die Wirkung des Contrastes der Umgebung immer ihren Einfluss geltend machen; zweitens haben wir kein Urtheil darüber, ob zum Beispiel ein bestimmtes Roth heller ist, als ein bestimmtes Blau, wenn die Unterschiede nicht schon sehr bedeutend sind. Es lässt sich darum ein Vergleich zwischen hell und Dunkel zweier verschiedenen Farben nur bis zu einem gewissen Grade geben, und wenn man also von einem Roth findet, dass es weiter nach aussen

geschoben werden muss, um schwarz zu erscheinen, als ein Blau, so wird dies eben so gut auf eine falsche Schätzung der Nüance der Farben als auf ihre specifische Wahrnehmungsfähigkeit geschoben werden können.

Gegenüber diesen Schwierigkeiten glaubte ich zu einer ungefähren Schätzung folgendes Verfahren anwenden zu dürfen. Ich nahm das arithmetische Mittel der beiden Gränzpunktzahlen, die ich für eine Farbe auf schwarzem und auf weissem Grunde gefunden hatte, in der Voraussetzung, dass eine helle Nüance früher auf schwarzem als auf weissem Grunde farblos erschiene und umgekehrt, und dass dadurch eine Art von Compensation einträte. Ich fand, indem ich die drei ersten Mittel der beobachteten Gränzpunktzahlen benutzte (s. Tabelle III.) für Roth  $27^{\circ}$ , für Blau 34, für Gelb 33, für Grün  $31^{\circ}$ . Diese Unterschiede in den Gränzpunkten der Farben scheinen mir aber zu unbedeutend, um daraus auf eine verschiedene Wahrnehmbarkeit der Farben des Spektrum auf den Seitentheilen der Retina zu schliessen, besonders wenn ich bedenke, wie vielfach die ursprünglich beobachteten Zahlen bis zu diesem Resultate destillirt worden sind. Es ist mir vor der Hand wahrscheinlicher, dass auf den Seitentheilen der Retina kein bedeutender Unterschied in der Wahrnehmungsfähigkeit für verschiedene Farben stattfindet.

Es wird nun zu untersuchen sein, worauf diese Unfähigkeit der Seitentheile der Retina, Farben nicht mehr zu empfinden, beruht. Entweder wird eine absolute Unfähigkeit zu statuiren sein, in ähnlicher Weise, wie eine vollkommene Unfähigkeit vorhanden ist, die Wahrnehmung von zwei distincten Punkten zu vermitteln; oder die Seitentheile der Retina werden sehr

schnell ermüden und deswegen für die Farben unempfindlich sein.

In der That erscheint ein rothes Quadrat auf weissem Grunde, welches man einige Minuten möglichst unverwandt mit den centralen Theilen der Retina aufhängt, immer dunkler und zuletzt schwarz. Es wird hier durch die lange Dauer des Eindrucks eine Ermüdung für das Roth hervorgebracht, die Complementurfarbe hilft das Roth verdecken und unter Mitwirkung des Contrastes der weissen Umgebung wird das Quadrat schwarz. Je weiter man sich nun von den Centraltheilen der Netzhaut entfernt, um so kürzere Zeit gehört dazu, das Quadrat dunkel und schwarz erscheinen zu lassen. Diese Erscheinung ist gewiss schon vielen Beobachtern bei Wiederholung der Donders'schen Versuche mit linearen Nachbildern aufgefallen. (Holländische Beiträge Heft 2.) Fixirt man das verticale rothe Band da, wo es von der Transversalen geschnitten wird, also in der Mitte, so sieht man nach wenigen Sekunden das obere und untere Ende des Bandes oder Streifens schwarz werden, und wenn man fortfährt, ruhig zu fixiren, so rückt diese dunklere Färbung immer näher an den fixirten Punkt, so dass bei 8 Zoll Entfernung vom Auge nach einer halben Minute nur noch etwa 2 Zoll rother Streifen übrig bleiben. Dies scheint nur zu beweisen, dass die seitlichen Theile der Retina weit schneller für die Farben ermüden, als die centralen.

Schon Purkynje hat, wie ich später gefunden habe, dasselbe beobachtet, er sagt darüber in seinen Beobachtungen und Versuchen zur Physiologie der Sinne (2. Bändchen p. 14); „Eine im Gesichtsfelde des indirecten Sehens Statt findende Eigenschaft der Sehkraft ist die, dass sie dort viel früher erschöpft und gegen äussere Eindrücke unempfindlich wird, als im Axen-

punkte des Auges, wo das directe Sehen seinen Sitz hat.“

Mir ist diese Erscheinung vom Anfang meiner Versuche an fast durchgehends bei den verschiedenen Quadraten, deren Gränzpunkt ich bestimmen wollte, aufgefallen. Hatte ich z. B. das rothe Quadrat nach aussen geschoben, was allmählig geschah, so bemerkte ich, dass es schwarz wurde; bewegte ich es nun ein wenig, z. B. nach oben und unten, so erschien es noch dunkelroth: an dieser Stelle war also das Schwarzerscheinen offenbar zum Theil auf die Ermüdung der Netzhaut zu schieben. Ich bewegte aber dann das Quadrat noch weiter vom fixirten Punkte fort, bis auch bei kleinen Verschiebungen kein Roth mehr bemerkt wurde, und erst diese Stelle notirte ich als den Gränzpunkt. Jenseits des Gränzpunktes wird also die Farbe überhaupt nicht mehr empfunden. Anzunehmen, dass hier der Eindruck des Roth von so unendlich kurzer Dauer sei, dass er nicht mehr zum Bewusstsein kommen könnte, ist, nach den Untersuchungen der Beleuchtung farbiger Scheiben mit dem elektrischen Funken nicht thunlich, da hier, bei momentanem Lichteindruck, Roth deutlich erkannt wird.

Ähnliche Verhältnisse finden statt, wenn man farbige Quadrate auf schwarzem Grunde betrachtet. Auch hier findet, wenn man das Quadrat mit den centralen Netzhauttheilen sieht, eine Ermüdung statt, die aber etwas andere Erscheinungen hervorbringt. Zuerst wird das Roth auf schwarzem Grunde dunkler und es bildet sich ein Nachbild von der complementären Farbe. Nach etwa einer halben Minute wird aber das Roth auffallend heller und nähert sich nach einer Minute schon dem Rothgelben. Nun wird aber die Fixation schwierig, das Nachbild hat eine graugrüne Farbe und wird da, wo es auf das rothe Quadrat fällt, so überwiegend, dass

man kein Roth mehr sieht; leider finden aber jetzt immer kleine Schwankungen des Auges statt, so dass meist an einer Seite ein rother Rand auftritt. Die Mitte erscheint aber sehr hell graugrün, — weiss habe ich nicht mehr sehen können.

Ich habe diesen Versuch nur mit Roth und nur 3 Mal angestellt, immer mit denselben Erscheinungen; zu öfterer Wiederholung war er mir zu anstrengend, das Auge thrännte, war nicht mehr zu fixiren und behielt sein Nachbild sehr lange, wenn ich 4 bis 5 Minuten lang das rothe Quadrat zu fixiren gesucht hatte. Interessant ist es aber, dass sich im Centrum des Auges dieselben Farbenveränderungen, wie auf den Seitentheilen des Auges, einstellen, nur ausserordentlich langsam. Insofern also die Unfähigkeit Farben wahrzunehmen durch eine längere Dauer des Eindrucks bewirkt wird, findet nur ein gradueller Unterschied zwischen den seitlichen und centralen Theilen der Netzhaut statt. \*)

Zu untersuchen war ferner, ob etwa eine unvollkommene Strahlenbrechung in den Seitentheilen des Auges einigen Einfluss übe. Nach den von Foerster und mir angestellten Untersuchungen am Kaninchenauge musste dies von vorn herein unwahrscheinlich

---

\*) In der Befürchtung, einer Selbsttäuschung zu unterliegen, stellte ich diesen Versuch noch öfter an und kam dabei auf eine kürzere Methode, das rothe Quadrat weiss zu sehen. Fixire ich ein rothes Quadrat von 4 Quadratmillimeter eine Minute lang und accomodire dann mein Augo für grössere Nähe, ohne die Richtung des Auges zum Object zu verändern, und gehe allmählig zur richtigen Accommodation über, so sehe ich das Quadrat vollkommen scharf begränzt und ganz weiss. Diesen Versuch habe ich sehr oft gemacht. Die weisse Färbung dauert übrigens immer nur kurze Zeit, 15 bis 20 Sekunden, dann erscheint das Quadrat abwechselnd roth, wie mit einem rothen Nebel übergossen, und weiss, endlich wieder etwas glänzend roth. Durch Veränderung der Accommodation kann man wieder die weisse Färbung herbeiführen.

sein. Ich liess indess bei schlecht accommodirtem Auge die Strahlen eines rothen Quadrates zur Netzhaut gelangen und einige Zeit einwirken, aber das Quadrat wurde so undeutlich und verwaschen, sowohl auf weissem wie auf schwarzem Grunde, dass gar kein Nachbild erzeugt wurde und gar keine Farbenveränderung eintrat. Eine unvollkommene Strahlenbrechung kann also nichts erklären.

Diese Untersuchungen würden die Annahme, dass ein wesentlicher Unterschied des Farbensinnes auf den centralen und peripherischen Theilen der Netzhaut stattfindet, nicht umstossen, denn es bleibt immer noch die absolute Unempfindlichkeit der Netzhaut für Farben jenseits des Gränzpunktes übrig, welche dagegen spricht. Es ist aber noch eine dritte Prüfung nothwendig, nämlich, wie sich die centralen Netzhauttheile sehr kleinen gefärbten Flächen gegenüber verhalten? Auf den Seitentheilen erscheinen ja nur Quadrate von einer gewissen Grösse farblos, grössere Quadrate erscheinen an derselben Stelle der Netzhaut in ihrer specifischen Farbe. Erscheinen nur sehr kleine farbige Flächen auch den Centraltheilen der Retina farblos?

Purkynje bejaht diese Frage. Er sagt in seiner *Commentatio de examine physiologico organi visus et systematis cutanei* (Vratislaviae 1823): *Pari modo sensibilitas oculi in specificam coloris cujusdam qualitatem ad diversas distantias et sub certis gradibus luminis examinari poterit; nam notum est, qualitatem illam colorum in obiectis affatim minutis ad iustas distantias evanescere etc.* (pag. 15.) E. H. Weber bemerkt in *Müller's Archiv* 1849 pag. 279, dass man durch einen sehr engen Spalt eine grüne Fläche nicht mehr als grün sehe, und er schliesst daraus, dass eine gefärbte Fläche einen gewissen Umfang haben müsse, um in ihrer specifischen Farbe erscheinen zu können,

Andererseits ist es bekannt, dass man einige Fixsterne, die also keinen Durchmesser haben, noch etwas gefärbt sieht; es werden also bei sehr intensiver Helligkeit allerdings noch Farben unterschieden, wenn der farbige Gegenstand ein Punkt ist. Indess ist die Färbung dieser Sterne doch nur sehr wenig hervorstechend, und dann sind, wie schon Hueck und Weber bemerkt haben, die Sterne aus mehreren Gründen nicht zur Prüfung der räumlichen Beziehungen unseres Auges zu benutzen. (Weber, Tastsinn; in Wagner's Handwörterbuch III. 2. pag. 533.) Weiter habe ich über das Verschwinden der Färbung kleiner Flächen keine Angaben finden können. Ich prüfte nun meine Quadrate, indem ich mich von ihnen allmählig entfernte und ungefähr dieselbe Lichtintensität wie an meinem Apparat benutzte. Das blaue Quadratmillimeter auf weissem Grunde erschien schon bei einer Entfernung von 10 Fuss vom Auge schwarz, während das rothe Quadratmillimeter erst bei 20 Fuss als ein schwarzer Punkt ohne jegliche Färbung gesehen wurde. Gelb und Grün dagegen erschienen überhaupt nicht schwarz; sie verschwanden schon bei 12 Fuss Entfernung gänzlich, so dass nur ein weisses Papier erschien. Dagegen konnte ich Grün und Gelb auf schwarzem Grunde bei 16 Fuss Entfernung und derselben Beleuchtung nur als graue Punkte sehen, ohne dass irgend eine Färbung erschien; weiter hin verschwanden sie ganz. Roth erschien auf schwarzem Grunde bei 12 Fuss Entfernung als matt grauer Punkt. Blau erschien nur blau oder gar nicht.

Daraus geht also hervor, dass bei gewöhnlicher Tageshelle farbige Flächen eine gewisse Ausdehnung haben müssen, wenn ihre Farbe empfunden werden soll, sowohl beim directen als beim indirecten Sehen, eine Ausdehnung, welche für

ein rothes Quadrat auf weissem Grunde mehr als 34 Secunden betragen muss. Nach diesen Erfahrungen glaube ich nun den Satz aufstellen zu können, dass in der Farbenempfindung nur ein gradueller Unterschied zwischen den centralen und den peripherischen Theilen der Netzhaut stattfindet, und dass die geringere Feinheit des Farbensinnes auf den peripherischen Theilen der Netzhaut theils eine absolute, in dem Bau und der Anordnung der Netzhautelemente begründete ist, theils auf einer schnelleren Ermüdung derselben beruht.

Eine andere Aehnlichkeit des directen und indirecten Sehens ist aber noch hervorzuheben. Ich hatte schon oben angeführt, dass, wenn man die Quadrate, deren Farbe verschwunden ist, noch weiter nach dem Aequator hin schiebt, sie gar nicht mehr wahrgenommen werden. Dasselbe zeigt sich nun auch, wie eben erwähnt wurde, beim directen Sehen, wenn der Gesichtswinkel sehr klein wird; man sieht dann gar nichts mehr von den Quadraten. Dieses Verschwinden eines farbigen Quadrates findet aber bei verschiedenen Entfernungen oder Gesichtswinkeln statt, je nachdem man Farben wählt, die mit der Umgebung mehr oder weniger contrastiren. Vielleicht ist auch die Farbe selbst von Einfluss. Für das directe Sehen hat schon Plateau diese Beobachtung gemacht: „Bei gleicher Lichtstärke kann, um noch gesehen zu werden, ein weisses Bild kleiner sein, als ein gelbes, dieses kleiner als ein rothes, dieses kleiner als ein blaues.“ (Arlt, Krankheiten des Auges Bd. III. p. 39.) Für das indirecte Sehen habe ich oben bemerkt, dass farbige Flächen einen Contrast von gewisser Intensität gegen ihre Umgebung haben müssen, wenn sie nicht früher ganz verschwinden sollen, als ihre Farbe verschwindet, dass daher sehr helle Farben auf weiss und sehr dunkle Farben auf schwarz,



indirect gesehen, entweder farbig oder gar nicht empfunden werden. Es kann also sowohl beim directen als beim indirecten Sehen die Zwischenstufe, wo die Farbe, aber nicht der Gegenstand verschwindet, fehlen.

Nennen wir die Fähigkeit der Retina, Farben zu empfinden, den „Farbensinn“ derselben (wie ja Weber ähnliche Ausdrücke für die verschiedenen Empfindungen unserer Haut eingeführt hat), so geht aus diesen Untersuchungen eine gegenseitige Ergänzung, ein inniger Zusammenhang zwischen dem Raumsinne und dem Farbensinne der Netzhaut hervor: eine farbige Fläche muss eine gewisse Grösse oder Ausdehnung haben, um farbig zu erscheinen, und eine Fläche von gewisser Grösse muss diese oder jene Farbe haben, um noch gesehen zu werden. Zwischen den centralen und peripherischen Theilen der Netzhaut wird dann der Unterschied sein, dass der Farbensinn und der Raumsinn an der Peripherie stumpfer, im Centrum im Verhältniss zum Raumsinn schärfer, an der Peripherie der Raumsinn im Verhältniss zum Farbensinn schärfer ist.

Individuen, welche keine Farben empfinden können, werden also nicht mehr als etwas ganz Abnormes erscheinen, da ja auch im normalen Auge Farben unter Umständen nicht wahrgenommen werden; es würde nur die Feinheit des Farbensinnes bei ihnen bedeutend geringer als die des normalsichtigen Auges, und der ganze Unterschied zwischen beiden nur ein gradueller sein. Gewiss werden sich bei einer Prüfung des Farbensinnes, namentlich an der Peripherie der Netzhaut bei verschiedenen Individuen, und besonders bei pathologisch veränderten Augen, häufig genug Stumpfheiten finden, die den Uebergang zu gänzlichem Mangel des Farbensinnes weniger plötzlich erscheinen lassen, als er jetzt freilich immer noch ist.

In diesen ganzen Betrachtungen ist aber nur die eine Seite des Farbensinnes der Netzhaut, durch die er mit dem Raumsinne in Verbindung steht, erläutert worden. Eine weitere Aufgabe wird es sein, zu ermitteln, wie sich der Farbensinn bei verschiedenen Graden der Beleuchtung verhält, denn dass diese sehr bedeutenden Einfluss auf das Erkennen der Farben ausübt, ist ja aus den alltäglichen Erfahrungen bei der Dämmerung, der Mondbeleuchtung u. s. w. bekannt; der Grad dieses Einflusses ist aber nicht genau, weder für die centralen, noch für die peripherischen Retinaltheile bestimmt. — Ferner würde die Frage zu prüfen sein, wie sich Farben von verschiedener Intensität, wie sich Farbennüancen verhalten. Die Schwierigkeiten werden hierbei, wegen der grossen Unreinheit der Pigmentfarben, allerdings sehr gross sein, so dass Roth vor der Hand wohl die einzige untersuchbare Farbe sein dürfte.

Es hat sich mir während dieser Untersuchungen die Nothwendigkeit aufgedrängt, den Gesichtssinn nach drei Richtungen zu zerlegen, in ähnlicher Weise wie E. H. Weber den Tastsinn in drei Sinne, den Raumsinn, Temperatursinn und Drucksinn gespalten hat. Wir finden beim Gesichtssinn 1) die Fähigkeit, die räumliche Wahrnehmung zu vermitteln, den Raumsinn, der sich nach Weber's, so wie nach Foerster's und meinen Untersuchungen dem Raumsinn der Haut analog verhält; 2) die Fähigkeit, Aetherwellen von verschiedener Länge in qualitativ verschiedene Empfindungen umzusetzen, den Farbensinn; 3) die Fähigkeit, die Menge des einwirkenden Lichtes oder die Intensität des Lichtes, abgesehen von seiner Färbung, zur Erkenntniss gelangen zu lassen, und ich möchte diese Fähigkeit mit dem Worte „Lichtsinn“ bezeichnen.

Diese drei Sinne können entweder alle zugleich in Thätigkeit gesetzt werden, oder es kann einer ausgeschlossen sein. Es kann sich ferner die Energie des einen ändern, während die Energieen der beiden andern dieselben bleiben.

Wenn wir z. B. die geschlossenen Augen der Sonne zuwenden, so wird nur der Licht- und Farbensinn afficirt, der Raumsinn ist unthätig. Es kann sich ferner die Ausdehnung und die Begränzung ändern, während Farbe und Lichtintensität dieselben bleiben. Betrachten wir ein rothes Papierstück auf schwarzem Grunde, so vermittelt der Raumsinn die Wahrnehmung der Ausdehnung und der Begränzung, der Farbensinn die Differenz zweier Eindrücke, die sich nur als Farbe und Nichtfarbe bezeichnen lassen, der Lichtsinn die Intensität des Gesichtseindrucks. Jede dieser Eigenschaften oder Energieen kann verändert werden, und zwar subjectiv oder objectiv, ohne dass die beiden andern sich ändern. Die Ausdehnung und Begränzung können sich ändern, wenn wir ein Stück abschneiden, Farbe und Lichtintensität bleiben dieselben. Oder wir können die Beleuchtung vermindern: Farbe und Grösse bleiben gleich; oder wir lassen ein rein gelbes Licht von gleicher Intensität darauf fallen: Beleuchtung und Form ändern sich nicht.

Andererseits sind aber diese drei Sinne auch von einander abhängig, so dass jede dieser Variationen nur bis zu einem gewissen Grade stattfinden kann, ohne die andere zu beeinträchtigen. Wird z. B. das Stückchen Roth immer kleiner, so erscheint es endlich grau-weiss; wird die Beleuchtung immer schwächer, so erscheint es schwarz; wird die Beleuchtung sehr intensiv, so erscheint es grösser; wird die Farbe sehr matt, oder die Beleuchtung sehr schwach, so ist es nicht mehr deutlich begränzt für den Raumsinn. Es folgt daraus,

dass verschiedene Thätigkeiten unseres Gesichtssinnes für die Auffassung dieser ganz heterogenen Eigenschaften der Körper vorhanden sein müssen. Bewiesen wird dies ferner durch pathologische Erscheinungen. Individuen, die keine Farben unterscheiden können, sind gleichwohl für die Erkenntniss räumlicher Beziehungen und für Unterschiede der Beleuchtung ebenso empfänglich, wie Menschen mit normalen Augen; sie haben den Raum- und Lichtsinn, es fehlt ihnen aber der Farbensinn. Es giebt Amblyopieen, bei denen Hell und Dunkel und Farben unterschieden werden können, während die Begränzung, die Form der Gegenstände nicht erkannt wird; hier fehlt also der Raumsinn, oder er ist wenigstens den beiden andern Sinnen gegenüber äusserst stumpf.

Auffallend war es mir nun, zwischen dem Raumsinn und Farbensinn des Auges einen ähnlichen Rapport zu finden, wie ihn Weber zwischen dem Raumsinn und dem Temperatursinn der Haut gefunden hat. Bekanntlich werden Wärmeunterschiede nur wahrgenommen, wenn die afficirte Stelle unserer Haut nicht sehr klein ist (Weber in Müller's Archiv 1849 pag. 279), und Weber vergleicht hiermit schon die von mir bestätigte Unfähigkeit der Retina, die Farbe eines sehr kleinen Gegenstandes zu erkennen. Die Haut muss also in einer gewissen Ausdehnung von der Wärme und die Retina in einer gewissen Ausdehnung von der Farbe afficirt werden, wenn sie ihre specifischen Energieen entwickeln sollen. Ferner ist nach Weber die Grösse des Hautstückes von Einfluss auf die Schätzung der Temperatur, und zwar wird ein Temperaturunterschied um so deutlicher empfunden, je grösser die afficirte Hautstelle ist. Ebenso muss auf den stumpfer empfindenden Seitentheilen der Netzhaut die farbige Ebene immer mehr vergrössert werden, je mehr sie

nach aussen geschoben wird, wenn sie farbig erscheinen soll.

Ich will mit dieser Aehnlichkeit, die ich in dem Verhalten des Raumsinnes zum Farbesinne der Netzhaut, verglichen mit dem Verhältnisse des Raumsinnes zum Temperatursinne der Haut, aufstelle, durchaus nicht darauf hinaus, Farbensinn und Temperatursinn als gleiche, nur dem Grade nach verschiedene Sinnesenergieen zu proclamiren, ich glaube aber, dass es von Nutzen sein wird, die Analogieen des Haut- und Gesichtssinnes in ihren Einzelheiten aufzusuchen, denn eine solche Vergleichung wird zu neuen Aufgaben und Untersuchungen für jeden dieser beiden Sinne insbesondere führen, die ich hier nur vorläufig kurz andeuten will.

Wir haben sechs specielle Sinne zu vergleichen, den Raumsinn, Temperatursinn, Drucksinn der Haut, und den Raumsinn, Farbensinn, Lichtsinn der Netzhaut. Ueber das Verhältniss des Raumsinnes zum Temperatursinne liegen die Weber'schen und Czermak'schen (Physiologische Studien [Wiener Akademie - Berichte Bd. XV.] p. 79.) Beobachtungen vor. Ueber das Verhältniss des Raumsinnes zum Drucksinne sind mir keine Untersuchungen bekannt; es würde hier zu untersuchen sein, wie sich die Wahrnehmung des Druckes bei verschiedener Ausdehnung der Grundfläche des drückenden Körpers, andererseits wie sich die Wahrnehmung räumlich getrennter Flächen oder Punkte bei verschiedenem Drucke verhält. — Eine sehr merkwürdige Beziehung zwischen Druck- und Temperatursinn ist bereits von Weber entdeckt worden; es würde weiter zu prüfen sein, wie sich die Wahrnehmung der Temperatur bei verschiedenem Drucke ändert. Endlich würde zu untersuchen sein, wie sich der Drucksinn an Hautstellen, die einen verschieden feinen Raumsinn haben, verhält; über

das Verhalten des Temperatursinnes an denselben hat schon Weber einige Beobachtungen gemacht.

Diesen Beziehungen entsprechend würde für die Netzhaut zu untersuchen sein die Beziehung des Raumsinnes zum Farbensinne, wozu ich eben einen Beitrag geliefert habe; zweitens die Beziehung des Raumsinnes zum Lichtsinne; drittens die Beziehung des Farbensinnes zum Lichtsinne, was ich später zu prüfen beabsichtige.

Breslau, den 28. Januar 1857.

---