

Beiträge zur Kenntniss des indirecten Sehens.

I.

Untersuchungen über den Raumsinn der Retina

von

Dr. med. Aubert und Dr. med. Foerster

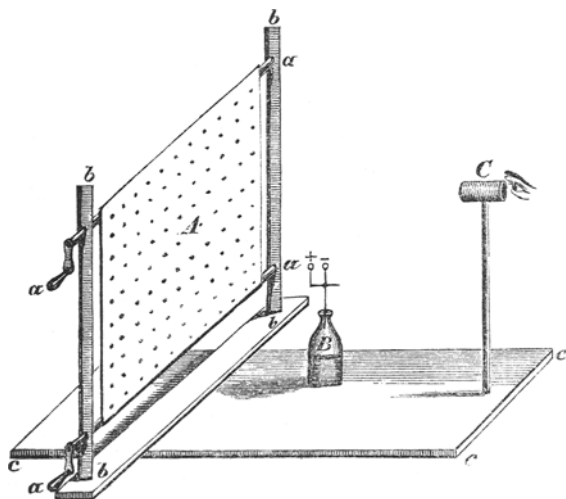
in Breslau.

Schon von mehreren Seiten ist auf die Analogie der Sinnesthätigkeiten der Haut und des Auges aufmerksam gemacht worden, namentlich aber hat Ernst Heinrich Weber in seinen Untersuchungen über den Tastsinn (Wagners Handwörterbuch III. 2. p. 530) und über den Raumsinn (Berichte über die Verhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig 1852 II. p. 128) auf die Uebereinstimmung beider Organe in Betreff der Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse hingewiesen. Bei beiden findet Weber die Einrichtung, dass sich die wahrzunehmenden Gegenstände auf einer ausgebreiteten empfindenden Membran abbilden, deren einzelne empfindende Punkte den Eindruck dem Gehirn gesondert mittheilen, und dass sich zweitens die empfindende Haut bewegen kann. Da die Entfernung, welche diese Punkte haben müssen, um als gesondert wahrgenommen zu werden, auf verschiedenen Theilen der Haut verschieden gross ist, nach den berühmten Weberschen Experimenten, so stellen wir uns die Aufgabe zu untersuchen: wie sich die verschiedenen Re-

gionen der Netzhaut in dieser Beziehung verhalten? Es liegen allerdings Untersuchungen hierüber von Weber, Volkmann und namentlich von Hueck (Müllers Archiv 1850 p. 82—97) vor, sie beschränken sich aber theils nur auf die allernächsten Punkte um das Retinalcentrum, theils geben sie nur über die Abnahme der Feinheit des Raumsinnes in einer Richtung Aufschluss. Es wird hoffentlich aus dem Folgenden hervorgehen, dass wir unsere Aufgabe weiter gefasst und, wie wir glauben, auch ihrer Lösung näher gebracht haben.

Wenn Messungen auf der Netzhaut angestellt werden sollen, so wird es zunächst nothwendig sein, dieselbe zu fixiren. Da ein absolutes Ruhighalten des Auges sehr schwer ist, wenn wir die Intention haben, einen Gegenstand, der relativ weit von der Sehaxe entfernt liegt, zu erkennen, so kam Volkmann (Handwörterbuch III. 2. p. 335) und nach ihm Weber (ebendaselbst III. 2. p. 531) auf den Gedanken, die Beleuchtung des zu erkennenden Gegenstandes durch den elektrischen Funken zu bewerkstelligen. Der elektrische Funken ist von so kurzer Dauer, dass es unmöglich ist, während desselben eine Augenbewegung auszuführen. Was daher während dieser Zeit gesehen wird, wird von der ruhenden, unbewegten Retina gesehen und es wird nun Aufgabe sein, durch Versuche zu erforschen, wie weit seitlich von der Sehaxe Objecte von bestimmter Grösse erkannt werden können.

Nach diesem Princip wurde unsere erste Versuchsreihe angestellt. (Aubert hat darüber bereits in der Sitzung der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur vom 4. April 1855 referirt). Wir liessen als Objecte auf einen 2 Fuss breiten und 5 Fuss langen Bogen Papier (A) Zahlen und Buchstaben von gleicher Grösse



in gleich grossen Zwischenräumen drucken. Dieser Bogen A konnte über zwei horizontal liegende Walzen *aaaa* (in der Zeichnung längs schraffirt), die in senkrechter Richtung zwei Fuss von einander entfernt waren, gerollt werden, so dass durch das Drehen der Walzen immer neue Zahlen oder Buchstaben in das Gesichtsfeld gebracht wurden. Die Walzen *aa* lagerten mit ihren Enden in einem senkrecht stehenden Rahmen *bbbb*, welcher auf einem Brette *cccc* verschieblich war, und unserm Auge bis zu 0,1 Mètre genähert und bis zu 1 Mètre von ihm entfernt werden konnte. In immer gleicher Entfernung und Richtung zu dem bedruckten Bogen befand sich die Riesssche Flasche B mit unveränderter Entfernung ihrer beiden Kugeln und gegenüber dem Bogen, am andern Ende des Brettes, sah einer von uns durch eine entsprechend weite und kurze Röhre C von geschwärztem Papier nach dem Bogen hin.

Wir erreichten dadurch Folgendes: 1) Unserm Auge war durch die schwarze Röhre C ein bestimmter Ort angewiesen, der in allen Versuchen derselbe blieb; zugleich blendete dieselbe das von dem überspringenden Funken direct zu unserm Auge strahlende Licht ab. 2) Der elektrische Funken sprang immer von denselben stets gleich weit von einander entfernten Kugeln der Riessschen Flasche über, und hatte also eine für unsere Experimente genügend gleichmässige Beleuchtungsfähigkeit. 3) Der Bogen mit den Zahlen konnte dem Auge des Beobachters genähert und von ihm entfernt werden, wodurch wir eine grosse Anzahl verschiedener Gesichtswinkel für dasselbe Object hervorbringen konnten. 4) Durch Drehen über die Walzen aa liessen sich stets neue, dem Beobachter jedesmal unbekannte Ziffern und Buchstaben in das Gesichtsfeld bringen. 5) Da die Buchstaben und Zahlen relativ weit von einander entfernt und höchst willkürlich neben einander gestellt waren, so dass sie keinen Zusammenhang, auch keine Gesetzmässigkeit in ihrer Anordnung hatten, so konnten sie wegen geringer Menge gut im Gedächtniss behalten und andererseits nicht errathen werden.

Wir experimentirten in einem verfinsterten Zimmer des physikalischen Cabinets, welches Herr Professor Frankenheim die Güte hatte nebst einer colossalen Elektrisirmaschine zu unserer Verfügung zu stellen. Das Zimmer war so verfinstert, dass wir nach einigem Aufenthalte darin (10—15 Minuten) die Zahlen des Bogens noch als matte Punkte erkannten. Finsterer durfte das Zimmer nicht sein, da es durchaus nöthig war, unsere Augen für die entsprechende Entfernung des Bogens zu accommodiren. Wir lösten uns so ab, dass der Eine 5—10 Beobachtungen hinter einander machte, nach jeder Beobachtung die erkannten Zahlen laut nannte, der Andere dann die Richtigkeit der ge-

nannten Zahlen prüfte und dieselben nach ihrer Anzahl und Lage notirte.

Wir haben vier Bogen mit Ziffern von verschiedener Grösse und Entfernung von einander in den zehn Entfernungen zwischen 0,1 und 1 Mètre von unserm Auge durchexperimentirt, und für jede dieser Entfernungen 10—20 Einzelbeobachtungen gemacht, also im Ganzen etwa 500 Einzelbeobachtungen.

Die Berechnung der Beobachtungen behufs ihrer Vergleichung mit einander liess sich in folgender Weise durchführen. Wir kannten die jedesmalige Entfernung des Bogens von dem Auge. Wir kannten ferner die Durchmesser der Zahlen oder Buchstaben, und ebenso die Entfernungen derselben von einander. Die Menge der Zahlen, die wir aufnotirt hatten, so wie ihre gleichfalls bezeichnete Lage zu einander liess uns dann den Raum finden, auf welchem wir die Zahlen zu erkennen im Stande gewesen waren. Wir haben bei der Berechnung des diesem Raume entsprechenden Gesichtswinkels immer den grössten Durchmesser desselben benutzt. Die Hälfte des Durchmessers bildete dann die eine Kathete, die Entfernung des Bogens von unserm Auge die andere Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks, durch deren Division wir die Tangente oder Cotangente des gesuchten Winkels berechneten. Dieser Winkel, mit 2 multiplicirt, ist in der Tabelle mit dem Namen „Raumwinkel“ d. h. Gesichtswinkel des Raumes, in dem wir die Ziffern erkennen konnten, bezeichnet. Ebenso berechneten wir den Gesichtswinkel für den grössten Durchmesser der Zahlen, in der Tabelle als „Zahlenwinkel“ aufgeführt. Wir haben es vorgezogen, die Resultate auf Winkelgrössen, statt auf Flächengrössen der Retina zu berechnen. Uebrigens entspricht 1° etwa 0.25 Mm. der Retina; es kann sich

hiernach jeder die Angaben der Tabelle leicht auf Retinaldimensionen reduciren.

Wir haben der Tabelle nur diejenigen unserer Beobachtungen zu Grunde gelegt, wo wir den verhältnissmässig grössten Raum übersehen und seine Ziffern erkannt hatten.

Wir halten dieses Verfahren deswegen für das zweckmässigste und sich der Wahrheit am meisten nähernde, weil eine Menge Ursachen bewirken konnten, dass wir weniger Zahlen erkannten, wie z. B. schlechte Akkommodation des Auges, Unaufmerksamkeit, Gedächtnissfehler — dagegen keine Ursache vorlag, weshalb wir mehr hätten erkennen sollen, als unsere Retina leisten konnte; denn das Errathen von Ziffern ist bei unserem Verfahren als gänzlich ausgeschlossen anzusehen.

In der Tabelle I. haben wir die Resultate unserer Beobachtungen nach den Bogen, die wir als Objecte benutzten, gesondert, und nach den Entfernungen derselben von unserm Auge geordnet aufgeführt. Es folgt dann der Zahlenwinkel, dessen Bedeutung eben erläutert worden ist, in umgekehrtem Verhältnisse mit der Entfernung zunehmend. In der darauf folgenden Columnne ist der Durchmesser des Raumes, in dem wir noch Zahlen erkennen konnten, nach unseren Messungen auf dem Papierbogen angegeben; die Hälfte desselben durch die Entfernung dividirt gab die Tangente des halben Winkels der nächsten Columnne. Die letzte Reihe enthält endlich das Verhältniss des Zahlenwinkels zum Raumwinkel, und ist erhalten worden durch Division mit dem Zahlenwinkel in den Raumwinkel.

Tabelle I.**Bogen I.**

Grösster Durchmesser der Zahlen = 0,026 Mètre.

Grösste Entfernung der Zahlen von einander = 0,170 Mètre.

N ^o des Ver- suchs.	Ent- fernung.	Zahlen- winkel.	Grösster Durchmesser des Raumes.	Raum- winkel.	Ver- hält- niss- zahl.
1	0,96 M.	1° 33'	0,182 M.	10° 56'	7
2	0,84 „	1° 46'	0,182 „	12° 24'	7
3	0,8 „	1° 51'	0,205 „	14° 36'	7,9
4	0,5 „	2° 28'	0,182 „	20° 38'	7
5	0,4 „	3° 42'	0,182 „	25° 36'	7

Bogen II.

Grösster Durchmesser der Zahlen = 0,026 M.

Grösste Entfernung der Zahlen von einander = 0,120 M.

6	1 M.	1° 29'	0,192 M.	10° 58'	7,3
7	0,96 „	1° 33'	0,156 „	9° 20'	6
8	0,7 „	2° 7'	0,156 „	12° 40'	6
9	0,68 „	2° 10'	0,156 „	13° 6'	6
10	0,6 „	2° 27'	0,192 „	18 12'	7,3
11	0,5 „	2° 58'	0,156 „	18° 4'	6
12	0,4 „	3° 42'	0,192 „	27° 2'	7,3
13	0,31 „	4° 44'	0,192 „	34° 26'	7
14	0,21 „	6° 51'	0,156 „	40° 36'	7,3
15	0,1 „	14° 33'	0,12 „	61° 54'	4,2

Bogen III.

Grösster Durchmesser der Zahlen $\equiv 0,013$ Mètre.Grösste Entfernung der Zahlen von einander $\equiv 0,08$ Mètre.

N ^o des Ver- suchs.	Ent- fernung.	Zahlen- winkel.	Grösster Durchmesser des Raumes.	Raum- winkel.	Ver- hält- niss- zahl.
16	1 Mètre.	0° 44'	0,146 M.	8° 20'	11
17	0,8 „	0° 55'	0,146 „	10° 24'	11
18	0,7 „	1° 3'	0,146 „	11° 52'	11
19	0,6 „	1° 14'	0,155 „	14° 48'	12
20	0,5 „	1° 29'	0,146 „	16° 36'	11
21	0,4 „	1° 52'	0,146 „	20° 38'	11
22	0,3 „	2° 29'	0,146 „	27° 18'	11
23	0,2 „	3° 43'	0,117 „	32 34'	8,8
24	0,1 „	7° 24'	0,117 „	60° 40'	8,2

Bogen IV.

Grösster Durchmesser der Zahlen $\equiv 0,007$ M.Grösste Entfernung der Zahlen von einander $\equiv 0,069$ M.

25	0,96 M.	0° 25'	0,09 M.	5° 22'	12,9
26	0,8 „	0° 30'	0,09 „	6° 26'	12,9
27	0,7 „	0° 34'	0,09 „	7° 21'	12,9
28	0,6 „	0° 40'	0,09 „	8° 34'	12,9
29	0,5 „	0° 48'	0,068 „	7° 46'	9,7
30	0,4 „	1° —'	0,102 „	14° 28'	14,5
31	0,3 „	1° 20'	0,09 „	17° 4'	12,9
32	0,25 „	1° 36'	0,09 „	20° 26'	12,9
33	0,2 „	2° —'	0,102 „	27° 14'	13,5

Zur Beurtheilung der in dieser Tabelle mitgetheilten Resultate müssen wir zunächst auf eine Ungenauigkeit hinweisen, welche durch die Anordnung der Ziffern und Buchstaben auf den Bogen bedingt war. Die Zwischenräume zwischen den Ziffern betragen nämlich:

	in horizontaler Richtung	in verticaler Richtung	in diagonalen Richtung
auf Bogen I.	0,0735 M.	0,0735 M.	0,105 M.
„ „ II.	0,042 M.	0,04 M.	0,06 M.
„ „ III.	0,0365 M.	0,037 M.	0,057 M.
„ „ IV.	0,036 M.	0,0375 M.	0,052 M.

Wenn nun in der Mitte eines solchen Zwischenraumes zwischen zwei Zahlen eine dritte gestanden hätte, so würden wir sie vielleicht noch erkannt haben. Da keine vorhanden war, so hätte daraus eine Ungenauigkeit hervorgehen können, die für den Durchmesser des Raumes, in dem wir die Zahlen erkannt hatten, auf Bogen I. 0,2555 statt 0,182, auf Bogen II. 0,234 statt 0,192, auf Bogen III. 0,1825 statt 0,146 und auf Bogen IV. 0,138 statt 0,102 betragen haben würde. Darnach ändert sich natürlich die Grösse des Raumwinkels und die Verhältnisszahl, und zwar würde letztere, die man auch durch Division mit dem Zahlendurchmesser in den Raumdurchmesser erhält, für Bogen I. höchstens 9,4, für Bogen II. 9, für Bogen III. 14 und für Bogen IV. 19,7 sein können. Gleichwohl war es wegen des Behaltens der erkannten Zahlen im Gedächtniss nothwendig, die Zwischenräume zwischen den Zahlen gross zu machen. Wir haben aber diese Ungenauigkeit, deren wir uns von Anfang an bewusst waren, dadurch vermindert, dass wir abwechselnd unsere Augenachsen bald auf Zahlen, bald auf Zwischenräume der Zahlen richteten. Der Fehler wird so um die Hälfte verringert. Für die sogleich zu ziehenden Schlüsse ist diese Fehlerrechnung von Wichtigkeit.

Schlüsse.

1) Je weiter eine Zahl von der Augenaxe entfernt ist, um so grösser muss sie sein, wenn

sie deutlich erkannt werden soll. Die Tabelle zeigt fast durchgängig, dass dem kleineren Zahlenwinkel ein kleiner Raumwinkel entspricht, und dass, je grösser der Zahlenwinkel wird, um so mehr auch der Raumwinkel zunimmt. Wesshalb Ausnahmen davon vorkommen, erklärt sich theils aus der eben besprochenen Fehlerquelle, theils werden es die folgenden Sätze erläutern.

2) Bei der Bestimmung des Verhältnisses, in welchem die Grösse der Zahlen zu dem Raume, auf dem sie erkannt werden, zu- oder abnimmt, zeigt sich nun ein eigenthümlicher Widerspruch in den Beobachtungen, den wir vor der Hand ungelöst lassen müssen. Vergleicht man nämlich die Zahlen- und Raumwinkel desselben Bogens, so zeigt sich fast für jede Entfernung das gleiche Verhältniss zwischen beiden, wie die Verhältnisszahlen der Tabelle ergeben. Es findet darnach also keine progressive, sondern eine proportionale Abnahme des Zahlen- und Raumwinkels statt. Erst von der Zone des blinden Flecks an wird die Abnahme des Raumwinkels im Verhältniss zu der des Zahlenwinkels progressiv. (Conf. Müllers Archiv 1853, Fick und Dubois Messungen des blinden Flecks p. 396.) Vergleicht man dagegen bei gleichen Entfernungen das Verhältniss der Zahlen- und Raumwinkel, so zeigt sich eine sehr stark progressive Abnahme der Raumwinkel, entsprechend den Verhältnisszahlen 12,9 — 11, — 7. Die aus der weiten Entfernung der Ziffern von einander hervorgehende Fehlerquelle ist so beschränkt, dass sie die Zunahme des Raumwinkels auf Bogen III. und IV. nicht erklärt, auch wenn man annimmt, dass wir auf Bogen IV. so viel wie möglich, und auf Bogen II. um die äusserste Fehlergrenze zu wenig gesehen haben.

Wir müssen daher den in unserem erwähnten Berichte aufgestellten zweiten Satz festhalten:

Bei gleichem Zahlenwinkel (verschieden grosse Zahlen in verschiedener Entfernung betrachtet) werden kleinere Zahlen, die sich in geringerer Entfernung vom Auge befinden, weiter von der Augenaxe entfernt erkannt, als grössere Zahlen in grösserer Entfernung; oder: Bei gleichem Zahlenwinkel ist der Raumwinkel für grosse entfernte Zahlen kleiner, als für kleine nahe Zahlen.

Es erinnert dieser Satz an die merkwürdige Beobachtung von Liebreich, dem bei Akkommodation für die Ferne die Grenzen des Gesichtsfeldes enger waren, als bei Akkommodation für die Nähe. (cf. Graefes Archiv Bd. II. Abth. II. p. 266.)

Die folgende Tabelle giebt für unsern Satz die betreffenden Belege.

Zahlenwinkel.	Raumwinkel.	Entfernung.	Bogen-No.	
1° 3'	11° 52'	0,7 M.	III.	
1	14 28	0,4 -	IV.	
1 29	10 58	1 -	II.	
1 29	16 36	0,5 -	III.	
1 33	9 20	0,96 -	II.	
1 36	20 26	0,25 -	IV.	
1 51	14 36	0,8 -	I.	
1 52	20 38	0,4 -	III.	
2 7	12 40	0,7 -	II.	
2	27 14	0,2 -	IV.	
3 42	27 2	0,4 -	II.	
3 43	32 34	0,2 -	III.	
6 51	40 36	0,21 -	II.	
7 27	60 40	0,1 -	III.	

Bemerkenswerth scheint uns noch, dass wir bei grosser Nähe der Bogen an unserem Auge bei dem Ueberspringen des Funkens ein unangenehmes Gefühl von Blendung hatten und homologe Nachbilder wahrnahmen, während dies bei grösserer Entfernung der Bogen nicht stattfand.

3) Die Fähigkeit des Wahrnehmens der Formen nimmt nicht in concentrischen Kreisen um die Augenaxe ab, sondern sie nimmt schneller nach oben und unten, langsamer nach aussen und innen ab; oder: Die Netzhautstelle, mit der man Formen von einer bestimmten Grösse noch deutlich erkennt, ist nicht ein Kreis, sondern eine Curve, die sich einer Ellipse mit horizontal liegendem grössten Durchmesser nähert. Wir haben sehr häufig 3, 4 und 5 Zahlen neben einander in horizontaler Richtung erkannt, sehr selten aber 3 Zahlen unter einander, und zwar lagen 110mal die erkannten Zahlen in horizontaler Richtung über dem fixirten Punkte, auf der Retina also unter ihm, 41mal in der Visirebene, 23mal ist keine Angabe des fixirten Punktes gemacht. Dieser Satz wird durch die zweite Reihe unserer Versuche eine nähere Bestimmung erfahren.

Wir glaubten nämlich, dass die Resultate des Erkennens von Zahlen und Buchstaben bei elektrischem Lichte nicht ohne weiteres auf das Sehen bei gewöhnlichem Lichte übertragen werden könnten. Aus tiefer Dunkelheit kommt das Auge plötzlich in eine grosse Helligkeit, es kann sich nicht so schnell adaptiren, es wird geblendet; ebenso ist die weitere physische Verarbeitung einer so momentanen Sinnesaffection etwas ganz ungewohntes: Aufmerksamkeit, Urtheil, Gedächtniss müssen sich erst an diese Art von Sinneseindruck gewöhnen. Es schien daher nothwendig, auch Ver-

suche bei continuirlicher Beleuchtung anzustellen.

Bei der Analogie zwischen Haut und Netzhaut, welche wir nachzuweisen suchten, wäre es eigentlich nothwendig gewesen, unsere Messungen nach demselben Principe anzustellen, welches Weber bei den Untersuchungen über die Feinheit des Raumsinnes auf der Haut angewendet hat. Nun sind aber keinesweges die durch Buchstaben auf der Netzhaut hervorgerufenen Eindrücke mit den durch Zirkelspitzen auf der Haut hervorgebrachten als gleichwerthig anzusehen. Wir mussten daher auch in dieser Beziehung eine Aenderung in der Untersuchungsmethode eintreten lassen.

Aus diesen beiden Postulaten ging eine Methode hervor, welche gewissermassen als eine Combination der von Weber für die Haut und von Hueck und Volkmann für die Retina angewandten zu betrachten ist.

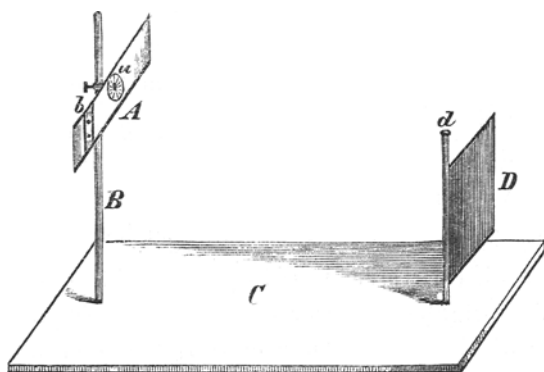
Hueck (Müllers A. 1840 p. 92) stellte sich gleichfalls die Aufgabe, zu erforschen, wie die Empfänglichkeit für die Bilder der Objecte von dem Centralpunkte der Retina aus nach der Seite hin abnähme. „Er brachte sein Auge in das Centrum eines mit Radien bezeichneten Kreises, fixirte eine Stecknadel und stellte ein kleines Object seitwärts so auf, dass er es deutlich sehen konnte. Dann richtete er das Auge so, dass der Gradbogen zwischen seiner (Augen) Axe und der Richtungslinie des Objectes grösser wurde, und rückte in dieser Ablenkung des Auges fort, bis der Gegenstand verschwand.“ Aus der Entfernung des Objects vom Auge und seinem Durchmesser berechnete er die Grösse des Netzhautbildchens. Seine Untersuchungen scheinen sich nur auf einige Richtungen der Retinalmeridiane beschränkt zu haben.

Volkmann (Handwörterbuch III. 1. p. 333.) benutzte

schwarze runde Punkte auf weissem Papier, ohne indess die Richtung des Retinalmeridians anzugeben.

Unsere Fragestellung bei dieser Versuchsreihe war folgende:

In welcher Distanz von dem Retinalcentrum werden in verschiedenen Retinalmeridianen 2 Punkte von gewisser Grösse, die sich in einer gegebenen Entfernung von einander befinden, als zwei distincte Punkte erkannt und unterschieden?



Unser Apparat bestand aus einem weiss lackirten Blechstreifen von 0,3 Mètre Länge und 0,05 M. Breite A, welcher nach Art zweier Flügel einer Windmühle um eine Axe a gedreht werden konnte. Der Blechstreifen mit seiner Axe liess sich an einer verticalen Stahlstange B auf- und abschieben, welche auf einem Brettchen C befestigt war. An dem andern Ende des Brettchens, gegenüber der Axé des Blechstreifens, befand sich das eine Auge des Beobachters, während sein anderes Auge durch einen schwarzen Papierschirm D verdeckt war, welcher an einem Holzstabe d so befestigt war, dass er nach links und rechts gedreht werden konnte. Die Axe des Blechstreifens war 0,2 M. von dem Mittelpunkte der Grundlinie beider Augen des

Beobachters entfernt. Das Brettchen C hatte unten eine Handhabe.

Bei den Versuchen legte der Beobachter die Nase an den Holzstab d, verdeckte mit dem Schirm das eine Auge, stützte sein Kinn auf das Brett vor dem Schirm, und stellte die Axe der Blechtafel in gleiche Höhe mit den Augen. Nun fixirte er den Mittelpunkt der Tafel (oder die Spitze ihrer Axe) unverwandt und schob allmählig von der Seite her in den Falzen der Blechtafel eine weisse Karte mit 2 Punkten (b) nach dem fixirten Punkte hin. Sobald er, bei ununterbrochen fester Fixation, mit den seitlichen Theilen der Retina die zwei Punkte unterschied, hielt er die Karte fest, und las die Entfernung der beiden Punkte von dem Fixationspunkte an einer Mëtreeintheilung, welche sich an den Falzen der Blechtafel befand, ab. Die Entfernung wurde notirt. Die Blechtafel wurde nun um 45° gedreht und die Karte wieder von der Seite nach dem fixirten Punkte geschoben u. s. w. Nach einer ganzen Umdrehung der Tafel war also für acht Radien oder Retinalmeridiane bestimmt, in welcher Entfernung von dem fixirten Punkte die zwei Punkte der Karte unterschieden werden konnten. Die Gränze dieser Entfernung werden wir, um schleppende Umschreibungen zu vermeiden, mit dem Worte „Gränzpunkt“ bezeichnen.

Was die als Objecte angewandten Punkte betrifft, so waren sie auf möglichst weissem Papier mit schwärzester Tusche und möglichst rund gemacht. Sie wurden von vierfach verschiedener Grösse gewählt, so jedoch, dass stets 2 gleich grosse auf derselben Karte sich befanden, und je 2 Paar von correspondirender Grösse ungleich weit von einander entfernt gemalt wurden. Wir experimentirten somit 8 verschiedene Objectskarten durch. Die Lage der Punkte gegen den Retinalmeridian war in allen Fällen so, dass eine grade

Linie zwischen ihren Centren auf dem Meridiane senkrecht stand. So konnten wir hoffen, dass beide Punkte zugleich auf der Retina gleichwerthige Eindrücke erregen würden. Beide Punkte waren also vom Retinalcentrum gleich weit entfernt, und ihre Bilder fielen demnach weit eher auf Retinaltheile, die in Bezug auf Empfindlichkeit gleichwerthig waren, als wenn wir sie so angebracht hätten, dass die sie verbindende Linie dem Meridiane parallel lag. In diesem Falle musste stets der der Augenaxe zunächst gelegene Punkt deutlicher empfunden werden, als der entferntere.

Im Vergleich mit unserer ersten Versuchsreihe waren also folgende Veränderungen ermöglicht: 1) Die Beleuchtung war continuirlich. Wir bedienten uns einer und derselben Lampe in unseren Beobachtungen, welche ein sehr helles Licht gab und bei gleicher Höhe der Flamme, gleichem Stande des Cylinders etc. wohl nicht sehr bedeutendem Wechsel in der Intensität der Beleuchtung unterworfen sein mag. Lampenlicht ist sowohl dem Kerzenlicht wegen der steten Veränderung des Doctes, noch mehr aber dem vielfach wechselnden Tageslichte vorzuziehen, wenn die Beobachtungen Monate lang sich hinziehen. Die Lampe war ausserdem immer in gleicher Entfernung von der Tafel.

2) Wir hatten keine complicirten Formen zu erkennen; der Einfluss der Vorstellung war grösstentheils, der des Gedächtnisses ganz ausgeschlossen. Es handelte sich nur um die Erkenntniss von zwei Punkten.

3) Die Entfernung war immer dieselbe = 0,2 Mètre, was uns nach der oben unter 2 mitgetheilten Erfahrung nöthig schien.

4) Durch das allmähliche Verschieben der Karte war eine genauere Gränzbestimmung möglich, als bei den weitläufig gedruckten Zahlen.

5) Wir konnten in den verschiedensten Retinalmeridianen die Lage der Gränzpunkte genau bestimmen.

Zu jeder dieser 5 Veränderungen ist aber noch einiges zu bemerken.

ad 1. Wegen der continuirlichen Beleuchtung war ein ruhiges Fixiren erstes Erforderniss. Dies muss erst gelernt werden; wir haben eine grosse Menge der ersten Beobachtungen deshalb ganz unberücksichtigt gelassen, glauben uns in dieser Zeit aber eine solche Uebung im ruhigen Fixiren, bei gleichzeitiger Aufmerksamkeit auf die Seitentheile der Retina, erworben zu haben, dass wir unsere Resultate als sicher ansehen können. Die Resultate selbst bestätigen diese Annahme. Möge Jeder, der unsere Beobachtungen nachprüft, sich weder durch die ersten erfolglosen Bemühungen zurückschrecken lassen, noch seinen Augenmuskeln zu früh trauen!

ad 2. Es war hier lediglich der persönlichen Objectivität und Urtheilsfähigkeit überlassen, zu bestimmen, ob wir die zwei Punkte als distincte wirklich erkannt hatten oder nicht. Eine Controle durch einen Zweiten, wie sie bei den Raumsinnsbestimmungen der Haut stattfindet, war hier unmöglich. Indess fand eine Controlirung unserer Versuche theils durch den Apparat selbst statt, theils liess sie sich durch mehrmalige Wiederholung derselben bewirken. Die Mètretheilung an der Blechtafel war nämlich so matt, dass wir sie auf 0,2 Mètre Entfernung nicht mehr erkennen konnten; ein Zählen der einzelnen Centimètre durch indirectes Sehen war also doppelt unmöglich. Wir schoben unsere Punkte gewissermassen blindlings drauf los, ohne im geringsten bestimmen zu können, wie nahe wir mit denselben dem Centrum wären; das Gesonderterscheinen der Punkte war unser einziger Anhalt. Die Controle unsererseits wurde in der Art vorgenommen, dass wir

nach je acht Beobachtungen noch acht Beobachtungen mit demselben Object, und meist mit entgegengesetzter Drehung der Tafel, folgen liessen. Nur wenige Male betrugen die Differenzen der ersten und zweiten Drehung 1 Ctm., meist waren sie = 0 oder sie betrugen $\frac{1}{2}$ Ctm. (Vergl. unsere Bemerkung ad 4.)

ad 3. Eine Veränderung der Entfernung würde, zum Vergleich mit der ersten Versuchsreihe, sehr wünschenswerth gewesen sein, wir haben es jedoch vorgezogen, für jetzt darauf zu verzichten, da sonst die Resultate durch unbekannte Factoren beeinflusst gewesen wären, deren Erforschung zunächst nicht in unserer Aufgabe lag. Wir wählten eine Entfernung von 0,2 Mètre, weil wir Beide bei dieser Sehweite im Stande waren, auch die feinsten der Punkte deutlich zu erkennen.

ad 4. Eine ganz sichere und genaue Gränzbestimmung kann durch eine Schätzung nie erreicht werden. Wir erinnern jeden vorurtheilsfreien Beobachter an die Weber'schen Experimente mit den Zirkelspitzen. Wie schwer ist es da oft, anzugeben, ob man einen oder schon zwei Punkte fühlt! Eine Schwankung von 1 Mm. ist selbst an feinfühlenden Theilen sehr häufig, die willkürlich entschieden werden muss. Man vergleiche hierüber auch die sehr wichtigen Messungen Czermaks. (Moleschott, Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen. Bd. I. pag. 202.) Ein halbes Centimètre entspricht aber bei dieser Entfernung einem viertel Millimètre auf der Retina, also einer nicht sehr breiten Gränzzone. Diese Schwankung ist jedenfalls auf das Urtheil zu schieben. Auch in dieser Beziehung ist eine Vorübung nöthig. Man muss sich erst ein gewisses Schema für das Urtheil bilden, welchen Sinneseindruck man als zwei distincte Punkte auffassen will. Dieses Schema ist bis zu einem gewissen Grade willkürlich;

wenn man es aber consequent festhält, so erreicht man dabei eine grössere Genauigkeit. Man darf nicht vergessen, dass es sich hier weniger um absolute Bestimmungen handelt, als um vergleichende und vergleichbare. — Ein zweites Moment, welches die Gränzbestimmung stört, liegt in der Ermüdung der Augen durch das Experiment selbst; man wird mit der Zeit geblendet, und das muss den Erfolg ändern. Wir haben uns daher auch immer nach 8 oder 16 Bestimmungen abgelöst. Wo sich übrigens eine Abweichung um mehr als $\frac{1}{2}$ Ctm. ergab, haben wir den Versuch noch 3 bis 4 Mal wiederholt, bis sich Uebereinstimmung zeigte.

ad 5. Da wir nur in 8 Richtungen beobachtet haben, so fehlen noch zu viele Zwischenglieder, als dass sich Parallelscurven daraus construiren liessen. Indess würden dieselben auch bei 16 und 32 Bestimmungen des Gränzpunktes noch sehr zackig und hypothetisch werden, wie die vier folgenden Beispiele mit je 16 Bestimmungen zeigen. Wir lassen zunächst eine Darstellung dieser vier Beispiele folgen. Der Mittelpunkt eines jeden Kreises stellt den fixirten Punkt vor. Das peripherische Ende der Radien geht bis an den Gränzpunkt. Die Richtung der Radien entspricht der Richtung der Tafel direct, muss also für die Richtung der Meridiane auf der Retina umgekehrt werden; der blinde Fleck liegt somit in jedem Kreise nach aussen. Die Buchstaben A, AO etc. bedeuten Aussen, Aussen-Oben etc. und sind ebenso für alle Tabellen zu verstehen. An der Peripherie des Kreises sind die gefundenen Gränzpunkte notirt.

Die Radien sind auf ein Viertel ihrer Länge reducirt. Der Pfeil bezieht sich auf die Anfangsstellung der Blechtafel und zeigt die Richtung, in der die Tafel gedreht wurde, an.

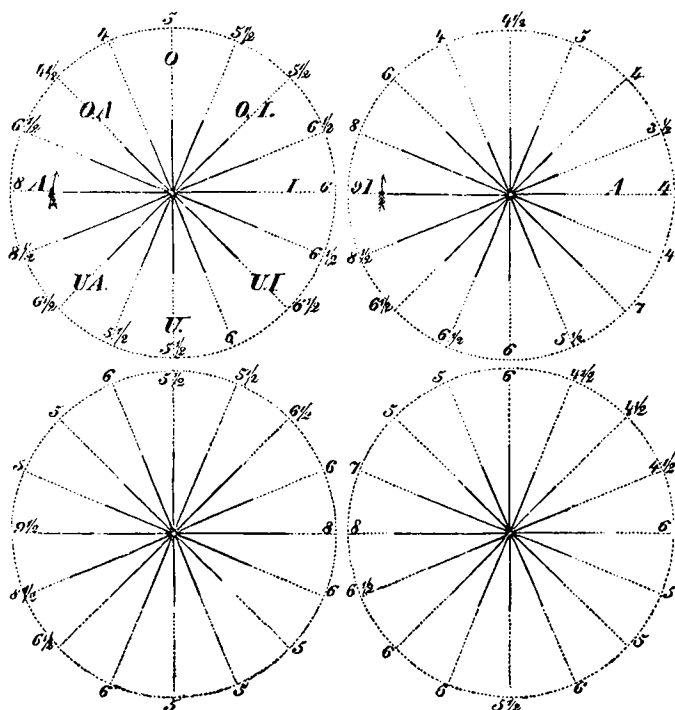
Tabelle II.

Entfernung der Punkte von einander = 14,5 Mm.

Durchmesser der Punkte = 2,5 Mm.

LINKES AUGE.

RECHTES AUGE.



Die beiden ersten Figuren sind nach Beobachtungen von Foerster, die beiden untersten nach Beobachtungen von Aubert entworfen.

Wir lassen nun unsere übrigen Beobachtungen, in eine möglichst gedrängte Uebersicht gebracht, folgen. Die Beobachtungen sind nach unsern 8 verschiedenen Karten gesondert, so dass je zwei neben einander stehende Abtheilungen sich auf Punkte von gleicher Grösse beziehen, also I. und II., III. und IV. etc. Die Beob-

achtungen sind ferner nach unsern vier Augen geordnet. Unter der Rubrik; „Lage der Radian“ haben wir die jedesmaligen Richtungen der Tafel aufgeführt, wie sie in der Zeichnung Tab. II. angegeben sind. Die Zahlen selbst bedeuten die Entfernung des Gränzpunktes von dem fixirten Punkte.

Tabelle III.

Lage der Radian.	Foerster.		Aubert.		Foerster.		Aubert.	
	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.
I. Entfernung der Punkte von ein. = 3,25 Mm. Durchmesser der Punkte = 1,25 Mm.					II. Entfern. d. P. v. e. = 12 Mm. Durchmesser d. P. = 1,25 Mm.			
A.	3,5	3,5	4	4,3	8,5	8,5	6	6
A.O.	3	3	2,3	3	5,5	5	5,5	5,5
O.	2,25	3	3	2,75	6	5,75	6,25	6
O.S.	2,25	3,5	3,75	2,5	5,5	4,3	6,5	5,25
I.	3,75	4,5	4,75	4	7	7,5	7,5	6
I.U.	2,75	3,25	3,3	2,5	6,5	7	5	5,75
U.	2,5	2,5	3,5	2,5	6,25	6	5,5	5,5
U.A.	3	2,75	3,5	3,25	6,75	6,25	6	5,5
III. Entfernung der P. von ein. = 6,5 Mm. Durchmesser der Punkte = 2,5 Mm.					IV. Entfern. d. P. v. e. = 14,5 Mm. Durchmesser d. P. = 2,5 Mm.			
A.	7,5	7	6	5,75	8	9	9	9
A.O.	4,25	4	5,5	4,5	6	5	7	6,5
O.	3,5	3,5	5	4,75	5	5	6	6,5
O.I.	4,25	4,5	5	4,75	5	3,5	6	6
I.	6,25	6,25	6,5	5	6	8	7	8
I.U.	5	4,75	5	5	5,5	7	5,5	7
U.	4,5	4,5	5,5	5,5	6	6	7	7
U.A.	4,5	4,5	6	5	5	5	8	6,5

Lage der Radien.	Foerster.		Aubert.		Foerster.		Aubert.	
	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.	Links.*	Rechts.
V.* Entfernung der Punkte = 9 Mm. Grösse der Punkte = 3,5 Mm. Der eine Punkt ist roth.					VI. Entfern. d. P. v. e. = 20 Mm. Durchmess. d. P. = 3,5 Mm. Der eine Punkt ist roth.			
A.	3,5	4	9,5	15	11,5	9	10	10
A.O.	4	5	5	4,5	7	8	7	8
O.	4	4,25	5,5	5	6,5	7,5	6,5	7
O.I.	4,25	5	5	5	5,5	8	8,5	7
I.	5,5	7	6	5,5	8	8	8,5	8
I.U.	5	4	7	6	8	6,5	9	9
U.	4,5	4,75	5,5	6	9	8	8,5	8
U.A.	4,5	4	7	5,5	8	8	10	8
VII. Entfern. der Punkte von ein. = 9,5 Mm. Durchmesser der Punkte = 3,75 Mm.					VIII. Entf. d. P. v. e. = 20,5 Mm. Durchm. d. P. = 3,75 Mm.			
A.	6,75	6,5	5,5	6	8	11	9	9
A.O.	4	5,5	6	5	7,75	8,5	9	5,75
O.	5,25	4,75	6	5	6,5	6,5	7	7
O.I.	4,5	5,5	5	5	6,5	8	6,5	8
I.	6,25	6,5	7,5	6,5	9,5	8	7	8,5
I.U.	5,5	6	5	6,5	8,5	7,25	7,5	8
U.	5,5	5	5	6,25	8	6,5	6,5	7
U.A.	6	7	6,5	5	8,5	9	7,5	8

Wir hielten es für nöthig, diese gefundenen Zahlen, die sich nur auf unsere Experimente mit gewissen zufälligen Bedingungen beziehen, auf Gradbestimmungen zu reduciren und damit eine Uebertragung auf das Auge zu ermöglichen. Die folgende Tabelle IV. giebt

*) Auf den Karten V. und VI. befanden sich je ein rother und schwarzer Punkt von gleicher Grösse. Die dabei beobachteten Erscheinungen werden unten näher besprochen werden.

daher die in Tabelle III. notirten Entfernungen des Gränzpunktes von dem fixirten Punkte auf Grade berechnet an.

Zwei Fehler unseres Apparates, nämlich erstens die seitliche Lage des Auges, und zweitens der Umstand, dass die Tafel kein Kreishogen war, modificiren die Berechnung. Statt des Auffindens der Winkel durch Division der Katheten, welches bedeutendere Fehler veranlasst haben würde, haben wir die direct beobachteten Tangentiallinien vom fixirten Punkte bis zum Gränzpunkte als Bogenlängen betrachtet. Der hierdurch entstehende Fehler bezieht sich hauptsächlich auf die nach innen liegenden Radien und wird einigermassen dadurch compensirt, dass das Object in der Tangente kleiner erschienen sein muss, als wenn es sich im Bogen befunden hätte. Aus den Bogenlängen und der wirklichen Entfernung des Augenmittelpunkts vom fixirten Punkte = 0,202 Mètre wurden die Winkel berechnet, wodurch man freilich nicht absolut richtige, aber für uns hinlänglich genaue Werthe erhält. Theils wegen der oben besprochenen Willkür in der Bestimmung des Gränzpunktes, theils wegen der durch die Rechnung bedingten Fehler geben wir nur ganze Grade in der Tabelle für die Winkel.

Die Tafel nicht zu krümmen, dazu bestimmte uns die Schwierigkeit, eine gekrümmte Tafel mit Lampenlicht gleichmässig zu beleuchten.

Tabelle IV.

Lage der Radien.	Foerster.		Aubert.		Foerster.		Aubert.	
	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.
I. Winkel für die Entfern. der P. v. c. = 56° Winkel des Durchm. der Punkte = 0° 21'					II. Winkel d. Entf. d. P. = 3° 28'. Winkel d. Durchm. d. P. = 0° 21'.			
A.	10°	10°	11°	12°	24°	24°	17°	17°
A.O.	9	9	6	9	16	14	16	16
O.	6	9	9	8	17	16	18	17
O.I.	6	10	10	7	16	12	18	15
I.	11	13	13	11	20	21	21	17
I.U.	8	9	9	7	18	20	14	16
U.	7	7	10	10	18	17	16	16
U.A.	9	8	10	9	19	18	17	16
Mittel.	8	9	10	9	18	18	17	16
III. Winkel d. Entfernung der Punkte = 1° 52'. Winkel d. Durchmessers d. P. = 0° 43'.					IV. Winkel d. Entf. d. P. = 4° 7'. Winkel d. Dm. d. P. = 0° 43'.			
A.	21°	20°	17°	16°	23°	25°	25°	25°
A.O.	12	11	16	13	17	14	20	18
O.	10	10	14	13	14	14	17	18
O.I.	12	13	14	13	14	10	17	17
I.	18	18	18	14	17	23	20	23
I.U.	14	13	14	14	16	20	16	20
U.	13	13	16	16	17	17	20	20
U.A.	13	13	17	14	14	14	23	18
Mittel.	14	14	16	14	17	17	20	20
V. Winkel d. Entfernung der Punkte = 2° 35'. Winkel d. Durchmessers d. P. = 1°					VI. Winkel d. Entf. d. P. = 5° 43'. Winkel d. Dm. d. P. = 1°.			
A.	10°	11°	27°	28°	33°	25°	28°	28°
A.O.	11	14	14	13	20	23	20	23
O.	11	12	16	14	18	21	18	20
O.I.	12	14	14	14	16	23	24	20
I.	16	20	17	16	23	23	24	23
I.U.	14	11	20	17	23	18	25	25
U.	13	13	16	17	25	23	24	23
U.A.	13	11	20	16	23	23	28	23
Mittel.	12	13	18	17	23	22	24	23

Lage der Radien.	Foerster.		Aubert.		Foerster.		Aubert.	
	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.	Links.	Rechts.
VII. Winkel der Entfernung d. Punkte = $20^{\circ} 44'$. Winkel des Durchmessers d. P. = $10^{\circ} 4'$.					VIII. Winkel d. Entf. d. P. = $50^{\circ} 49'$. Winkel d. Dm. d. P. = $10^{\circ} 4'$.			
A.	19°	18°	16°	17°	23°	31°	26°	26°
A.O.	11	16	17	14	22	24	26	16
O.	15	13	17	14	18	18	20	20
O.I.	13	16	14	14	18	23	18	23
I.	18	18	21	18	27	23	20	24
I.U.	16	17	14	18	24	20	21	23
U.	16	14	14	18	23	18	18	20
U.A.	17	20	18	14	24	26	21	23
Mittel.	16	16	16	16	22	23	21	22

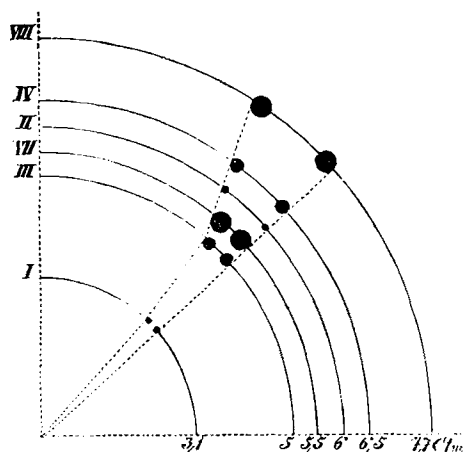
Obgleich, wie man sieht, hier die Gränzpunkte in den verschiedenen Meridianen sehr verschieden weit von dem fixirten Punkte entfernt sind, so mussten wir doch zur Vergleichung der Versuche unter einander die Mittel ziehen, und erhielten dadurch einen mittleren Radius, oder eine mittlere Zone für jedes Auge. Ebenso haben wir, obgleich jedes unserer vier Augen sich verschieden verhält, doch das Mittel aus den vier Augen gezogen.

Die folgende Tabelle V. enthält diese Zusammenstellung der Mittel, nach je zwei Karten für die vier Augen geordnet. Am Schluss ist die Verhältnisszahl angegeben, die, wie in unserer ersten Versuchsreihe, durch Division mit dem Winkel der Entfernung der Punkte (dem Zahlenwinkel entsprechend) in den Winkel der mittleren Zone (dem halben Raumwinkel analog) erhalten worden ist.

Tabelle V.

Versuchs- reihe.	Winkel d. Durchm. d. Punkte.	Winkel d. Entfern. d. Punkte.	Foerster.		Aubert.		Mittel.	Ver- hältniss- zahl.
			Links.	Rechts.	Links.	Rechts.		
I.	0°56'	0°56'	8°	9°	10°	9°	9°	9,6
II.		2 28	18	18	17	16	17 $\frac{1}{4}$	5
III.	0 43	1 52	14	14	16	14	14 $\frac{1}{2}$	7,7
IV.		4 7	17	17	20	20	18 $\frac{1}{2}$	4,5
V.	1	2 35	12	13	18	17	15	5,9
VI.		5 43	23	22	24	23	23	4
VII.	1 4	2 44	16	16	16	16	16	5,8
VIII.		5 49	22	23	21	22	22	3,8

Endlich geben wir noch eine graphische Darstellung von dem Verhältniss der Grösse und Entfernung der Punkte von einander zu den mittleren Zonen, welche der Entfernung des Gränzpunktes von dem fixirten Punkte entsprechen. Die Bogen des Quadranten entsprechen den Zonen, und auf eine jede Zone sind die zugehörigen beobachteten Punkte, wie sie auf den Karten waren, aufgetragen. Die Radien der Zonen sind die Mittelwerthe, wie sie sich aus Tab. III. ergeben haben. Letztere sind nebst der Kartenummer auf den Radien bemerkt.



Wir wollen die Resultate dieser zweiten Versuchsreihe wieder in einzelne Sätze formuliren:

1) Zwei neben einander liegende Punkte werden durch indirectes Sehen in desto grösserer Entfernung seitlich von der Augenaxe noch als distincte Punkte erkannt, je weiter sie von einander entfernt sind. Dieser Satz geht mit Evidenz aus den 8 Nummern der Tabellen III., IV., V. hervor, und stimmt mit dem ersten Satze, den wir aus der ersten Versuchsreihe abstrahirt haben, überein.

2) Die Abnahme der Fähigkeit, die zwei Punkte distinct wahrzunehmen, ist in den verschiedenen Meridianen von der Augenaxe nach der Peripherie sehr ungleich; die Tafel II. ist bestimmt, dieses Resultat anschaulich zu machen, es geht aber auch aus Tabelle III. und IV. hervor. So liegt constant nach innen (für die Retina gedacht nach aussen) der Gränzpunkt in der weitesten Entfernung von der Augenaxe. Ebenso liegt der Gränzpunkt ziemlich constant sehr weit nach dem Aequator des Auges hin in dem äussern Radius oder dem

innern Meridian des Auges. Constant liegt dagegen der Gränzpunkt nach oben und unten sehr nahe der Augenaxe. Dieser Satz ist also eine genauere Ausführung des 3. Satzes der ersten Versuchsreihe, und wir können wohl mit Sicherheit aussprechen, dass die Vermuthung Meissner's, die Abnahme sei in horizontaler Richtung bedeutender und rascher, als in verticaler Richtung, nicht allgemein gültig ist, indem unsere Augen, von denen zwei kurzsichtig, zwei normalsichtig sind, jedenfalls gerade das entgegengesetzte Resultat, und zwar ganz constant, ergeben haben. (Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans, p. 58.)

3) Der Gränzpunkt rückt nicht in proportionalem Verhältnisse zu der Zunahme der Entfernung der Punkte nach dem Aequator des Auges hin, sondern in abnehmender Progression, oder: die Fähigkeit, zwei Punkte zu unterscheiden, nimmt in der Nähe der Augenaxe langsamer, je weiter von ihr um so schneller ab. Dieser Satz geht aus einem Vergleiche der Verhältnisszahlen auf Tab. V. hervor. Die Verhältnisszahlen nehmen mit der Zunahme der Punktentfernungen ab: Für die Entfernung der Punkte = 3,25 Mm. ist die Verhältnisszahl 9,6; für 6,5 Mm. ist sie 7,7; für 9,5 Mm. = 5,8; für 12 Mm. = 5; für 14,5 Mm. = 4,5; für 20,5 Mm. = 3,7. Auch die Divergenz zweier die Punkte verbindenden Linien auf pag. 27 macht dieses Verhältniss anschaulich.

Die Versuchsreihen V. und VI., in denen ein Punkt roth war, können wegen dieser Variation nicht ohne weiteres verglichen werden.

Eine Formel für die Progression der Abnahme aufzustellen, würde voreilig sein, da wir es nur mit Mittelzahlen zu thun haben. Dies würde eine neue Experimentenreihe erfordern, wobei es wohl am besten sein dürfte, nur einen Meridian zur Prüfung zu wählen.

Dass übrigens eine solche Formel auch nur annäherungsweise auf andere als die untersuchten Augen übertragen werden dürfte, scheint nach den in den Tabellen gegebenen Resultaten sehr zweifelhaft. Vergleichen wir diese Verhältnisszahlen mit denen der ersten Versuchsreihe, die, wie oben erörtert wurde, nicht in Harmonie sind, so zeigt sich in ihnen wenigstens die Uebereinstimmung, dass bei gleicher Entfernung des fixirten Punktes vom Auge die Verhältnisszahlen mit der Zunahme der Punktdistanz oder Buchstabengrösse abnehmen. Um so unbegreiflicher und zu neuen Untersuchungen anregend ist daher das Gleichbleiben der Verhältnisszahlen für dieselben Bogen bei ungleichen Gesichtswinkeln.

Volkmann hat bereits ein gleiches Resultat für die nächsten Gegenden um das Retinalcentrum gefunden. (Handwörterbuch III. 1. p. 333.)

Die Versuche, in denen der eine Punkt roth war, zeigen eine grössere Verhältnisszahl als die übrigen. Worauf dies beruhen könnte, wird Aubert, der eine Untersuchung über die Farbenwahrnehmung mit den seitlichen Theilen der Netzhaut angestellt hat, in einem andern Aufsätze ausführen. Wir bemerken indess hier schon die Eigenthümlichkeit der Seitentheile der Retina, dass dieselben die rothe Farbe auf weissem Grunde als schwarz empfinden, wenigstens nach einer kaum secundenlangen Dauer des Eindrucks.

Die Grösse der Punkte scheint bei der regelmässigen Abnahme der Verhältnisszahl keinen bemerkenswerthen Einfluss auf unsere Versuche gehabt zu haben.

4) Die vier geprüften Augen verhalten sich ungleich, zeigen aber jedes für sich eine Gleich-

mässigkeit in den einzelnen Beobachtungsreihen. Foerster, welcher kurzsichtig ist, sieht mit dem linken Auge etwas besser in die Ferne; die Versuche zeigen aber die Seitentheile seines rechten Auges etwas empfänglicher für das Erkennen distincter Punkte. Aubert sieht mit dem linken Auge unbedeutend schärfer und ebenso mit den Seitentheilen dieses Auges. Alle Versuche sind natürlich ohne Brille angestellt.

Foerster sah nach oben und unten verhältnissmässig sehr viel weniger, als nach aussen und innen. Bei Aubert tritt dieser Unterschied weniger stark hervor, obgleich derselbe sehr tiefliegende und schmalgeschlitzte Augen hat. Die Umgebungen des Auges sind also wohl an dieser Erscheinung (bei den von uns benutzten Punktentfernungen) nicht schuld, was übrigens direct dadurch bewiesen wird, dass wir die Punkte nach oben und unten sehen, aber nicht als zwei unterscheiden konnten.

5) Wenn die zwei Punkte aufhören, als zwei unterschieden zu werden, also jenseits des Gränzpunktes liegen, so sieht man sie nicht als einen Punkt, sondern ganz eigenthümlich unbestimmt als etwas Schwarzes, dessen Form weiter nicht anzugeben ist. Auch auf der Haut machen in den stumpfer fühlenden Gegenden zwei Zirkelspitzen nie qualitativ ganz denselben Eindruck, wie eine einzige Zirkelspitze. Ein Auseinandertreten der Punkte, wie man es empfinden soll, wenn man mit den Zirkelspitzen von dem Vorderarme nach den Fingern hin streicht, ist gleichfalls nicht deutlich zu bemerken. Indess ist diese Wahrnehmung auch auf der Haut sehr unbestimmt. Man sieht entweder etwas Schwarzes von unbestimmter Form, oder man sieht zwei Punkte. Höchstens erscheint die unbestimmte Form mitunter etwas länglich. Sehr weit nach dem Aequator hin verschwinden die

Punkte ganz, die Gränze dieses Verschwindens ist aber von der Grösse der Punkte mehr als von ihrer Entfernung abhängig.

6) Einen eigenthümlich störenden Einfluss übt der blinde Fleck. Wir haben von der Augenaxe bis an seine äussere Gränze die beiden Punkte in den meisten Versuchen distinct erkannt. Nun trat bei dem Weiterschieben der Karte eine angenehme Ruhe ein, die Aufmerksamkeit und das Urtheil wurden nicht in Anspruch genommen. Gelangte die Karte aber über die innere Gränze des blinden Flecks hinaus, so war die Deutlichkeit der Punkte sehr bedeutend verringert und in den meisten Versuchen trat nun ein Schwanken des Urtheils ein, mit dem natürlich oft eine schliessliche willkürliche Entscheidung verbunden war. In der Tabelle macht das aber einen Unterschied von 3 Ctm. oder von $6-7^{\circ}$. Ferner wurde mitunter der eine Punkt der Karten durch den blinden Fleck verdeckt in der Richtung nach aussen und oben oder nach aussen und unten. Wir würden in einem solchen Falle die beiden Punkte schon distinct gesehen haben, wenn nicht der eine verdeckt gewesen wäre; wir haben uns dann ausser in den vier Versuchen auf Tabelle II. dadurch geholfen, dass wir die Blechtafel etwas senkten oder erhoben; es schien uns weniger wichtig, genau die Senkung von 45° , statt einer Senkung von 42° oder 48° , inne zu halten, als den Einfluss dieser zufälligen Störung bestehen zu lassen.

Auch in unserer ersten Versuchsreihe haben wir den störenden Einfluss des blinden Flecks mitunter bemerkt. Wir erkannten die grossen Buchstaben in grosser Nähe noch weit jenseits des blinden Flecks und sahen mitunter an einer Stelle keine Zahl, wo doch eine stehen musste. Wo aber zufällig eine äusserste Zahl und der blinde Fleck zusammengetroffen sind, da muss

ein Fehler in den Versuchen entstanden sein. Wir hoffen durch mehrfache Wiederholung der Versuche mit Veränderung des Fixationspunktes auch dieser Ungenauigkeit entgegengearbeitet zu haben.

Es sind uns ferner bei der zweiten Reihe der Versuche öfters unempfindliche Stellen der Retina aufgefallen, gleichsam kleine blinde Flecke. Es kam z. B. eine Stelle, wo wir nur einen Punkt sahen, ganz plötzlich, schoben wir die Karte weiter vom Centrum weg, so sahen wir wieder die zwei Punkte. Oder wir sahen plötzlich die Punkte ganz verschwinden, wie an dem Mariotte'schen Fleck, und erkannten sie weiterhin vom Retinalcentrum, wenn auch nicht mehr distinct, doch als einen Fleck. Es scheinen übrigens zweierlei Arten solcher blinden Flecke vorzukommen, nämlich erstens constante, die immer wieder zu finden sind, und zweitens vorübergehende, die nur einer Ermüdung oder Blendung der Retina entsprechen und am nächsten Tage nicht mehr vorhanden sind. Leider haben wir keine Notizen über diese Verhältnisse gemacht; es würde eine besondere Untersuchung zu der Verzeichnung der blinden Flecke nöthig sein. Uebrigens hat schon Heinrich Müller auf solche blinde Flecke irgendwo aufmerksam gemacht.

Wir waren bei unserer allgemeinsten Aufgabestellung darauf ausgegangen, eine Vergleichung des sogenannten Raumsinnes der Haut mit dem der Netzhaut durchzuführen in Betreff der verschiedenen Feinheit an verschiedenen Stellen. Bevor aber von einer Uebertragung vorstehender Sätze auf die Netzhaut allein die Rede sein kann, müssen wir einen beim Auge hinzukommenden Factor als unbetheiligt an diesem Resultat

tate nachweisen, nämlich die brechenden Medien des Auges.

Volkmann (Handwörterbuch III. 1. 334.) spricht sich darüber so aus: „Die unverhältnissmässig schnelle Abnahme des Distinctionsvermögens in den seitlichen Theilen des Gesichtsfeldes beruht im wesentlichen wohl auf optischen Gründen und nicht auf einer Verminderung des Empfindungsvermögens.“

Ludwig (Physiologie I. 238.) lässt es unentschieden, in wie weit die Undeutlichkeit der in der *regio visionis indirectae* entworfenen Bilder von der geringen Zahl (? L.) hier vorhandener empfindender Elemente, oder von dem Mangel scharf auf ihnen entwerfener Bilder herrühre.

Weber (Leipziger Berichte 1852. II. p. 134.) ist entgegengesetzter Ansicht, und hat dieselbe erstens durch ein Experiment mit einem weissen Kaninchenauge wahrscheinlich gemacht, indem er das auf der hintern Fläche desselben entstehende Bild noch „so scharf fand, dass er mit unbewaffnetem Auge nicht bemerken konnte, dass es verwaschen und undeutlich gewesen wäre. Aus einem zweiten Experimente schliesst er, dass überhaupt nicht die äusserste Schärfe des Bildes auf der Retina erforderlich ist, um Gestalten zu erkennen. Es besteht darin, dass man kleinste Pariser Druckschrift in $\frac{1}{2}$ Pariser Zoll Entfernung vom Auge durch einen Nadelstich in schwarzem Papier betrachtet, die man so noch deutlich lesen kann.

Beide Experimente lehren also, dass das Bild auf der Netzhaut noch bis zu einem gewissen Grade scharf ist, und dass es bis zu einem gewissen Grade verwaschen sein kann und doch erkannt wird. Bis zu welchem Grade dies für unsere Punkte gilt, konnten wir daraus nicht bestimmen, wir mussten also den ersten

Versuch in einer für unsere Experimente maassgebenden Art anstellen.

Einem chloroformirten weissen Kaninchen wurde ein Augapfel exstirpirt, derselbe möglichst von Fett und Bindegewebe befreit und hinter einen grossen schwarzen Schirm gebracht, in welchem zwei Löcher von derselben Grösse und Entfernung von einander, wie im achten Versuche, ausgeschlagen waren, durch die das helle Tageslicht hindurchfiel. Befand sich das Auge 0,2 Mètre von dem Schirm und liessen wir durch Drehen des Bulbus das Bild der beiden Löcher auf die verschiedensten Theile der hintern halben Kugeloberfläche des Bulbus fallen, so war es hier überall so scharf, dass man noch mit blossem Auge die zwei Punkte distinct sehen konnte. Wir entfernten nun den Augapfel um 0,7 Mètre von den zwei Löchern im Schirm; hier erkannten wir mit blossem Auge und Loupe nichts mehr von zwei Punkten. Wurde dagegen bei dieser Entfernung das Auge mit den nöthigen Vorsichtsmaassregeln so in die Oeffnung des Objecttisches eines Mikroskops gebracht, dass die Cornea nach unten lag und der Planspiegel die von den beiden Löchern im Schirm ausgehenden Strahlen so in die Pupille warf, dass auf der hinteren Hemisphäre des Bulbus die Bilder von den Löchern entstanden: so erkannten wir bei einer 30maligen Vergrösserung auch jetzt noch die zwei Punkte distinct durch Sclerotica und Chorioidea hindurch. Ebenso verfahren wir zur Controle mit dem zweiten Auge des mittelst Markdurchschneidung inzwischen getödteten Thieres und erhielten dieselben Resultate. Die Bilder der beiden Löcher erschienen also sogar an einem ausgeschnittenen Kaninchenauge in viel grösserer Entfernung von der Axe noch deutlich und distinct, als der Abstand des Gränzpunktes

ist, welcher in unseren Versuchen in Betracht kommt.

Es beweist dieses Experiment, dass die Brechung der Lichtstrahlen durch die Augenmedien auch bei schief gegen die Axe stattfindendem Einfall eine fast vollkommene ist, und dass in unseren Versuchen die Unmöglichkeit, zwei Punkte in einiger Entfernung von der Augenaxe zu unterscheiden, ganz und gar nicht auf physikalisch-optische Verhältnisse geschoben werden kann.

Da nicht anzunehmen ist, dass das ausgeschnittene Kaninchenauge für die verschiedenen Entfernungen, in welchen wir dasselbe vom Schirm aufgestellt hatten, vollkommen accommodirt gewesen sei, so folgt daraus, dass selbst Zerstreuungskreise in gewissem mässigen Grade die Distinction zweier Punkte nicht hindern. Erst wenn die Zerstreuungskreise solche Dimensionen annehmen, dass sie sich theilweise decken, würden die Punkte in einander zu fliessen scheinen und ihre Distinction unmöglich sein.

Da dieses Experiment so ganz bestimmte Resultate lieferte, von denen wir uns mit aller Musse überzeugen konnten, so haben wir von öfterer Wiederholung desselben abgesehen. Für die Verwerthung der Resultate, die unsere Experimente lieferten, folgt also daraus, dass die Unfähigkeit, zwei Punkte mit den von der Augenaxe entfernten Theilen distinct zu sehen, nicht auf physikalisch-optischen Verhältnissen des Auges, sondern höchst wahrscheinlich nur auf der Anordnung der Elementartheile der Retina beruht.

Dass dies so sei, lässt sich schon aus der eigenthümlichen Art, wie die zwei Punkte seitlich erscheinen, schliessen. 1) Wären Zerstreuungskreise die Ursache gewesen, dass wir ausserhalb der Gränzpunkte die beiden Objectpunkte nicht mehr unterscheiden konnten, so

hätten diese an scheinbarer Grösse zu-, an Intensität der Schwärze abnehmen müssen, so wie sie sich von der Sehaxe entfernten. Die Punkte von 1,25 Mm. Dm. und 9,25 Mm. Entfernung hatten also in etwa 6 Ctm. Entfernung von der Axe bei 0,2 M. Entfernung vom Auge als ein paar graue Scheiben von fast 1 Ctm. Durchmesser erscheinen müssen, die sich an der Peripherie berührt oder theilweise gedeckt hätten. Die Deckstellen hätten ferner mit doppelter Schwärze erscheinen müssen.

So erscheinen zwei mit den Seitentheilen der Retina gesehene Punkte nie. Das Erscheinende ist vollkommen schwarz, durchaus nicht verwaschen, aber dennoch ist seine Form nicht bestimmbar. Dies gilt sowohl für die Versuche mit dem elektrischen Funken, als für die mit continuirlicher Beleuchtung.

2) Wenn wir in unserer ersten Versuchsreihe die Bogen bis auf 0,15 M. oder gar 0,1 M. dem Auge genähert hatten, so sahen wir ohne Brille die Zahlen mit grossen Zerstreuungskreisen und grauem Rande, und dennoch konnten wir sie erkennen.

Diese Beobachtungen schliessen sich also ganz den Auseinandersetzungen an, welche Fick in seiner medicinischen Physik p. 271. 59. mit gewohnter Schärfe und Klarheit über die Bedingungen des deutlichen Sehens gegeben hat.

Die Resultate unserer beiden Versuchsreihen sind darnach also ausschliesslich auf den Raumsinn der Retina zu beziehen.

Wir wissen über denselben Folgendes:

1. Die Feinheit des Raumsinnes der Retina nimmt von dem Retinalcentrum nach den seitlichen Theilen derselben hin ab.
2. Der Raumsinn der Retina wird nach den Seiten hin in steigender Progression stumpfer.

3. Die Abnahme der Feinheit des Raumsinnes ist in verschiedenen Richtungen der Retinalmeridiane verschieden, und zwar schneller nach oben und unten, langsamer nach aussen und innen.
4. Der blinde Fleck ist nicht als zwischen diese empfindenden Elemente eingeschoben, sondern als wirklicher Defect anzusehen.
5. Die Abnahme der Feinheit des Raumsinnes verhält sich in verschiedenen Augen verschieden, auch bei demselben Individuum. Er steht mit Fern- und Kurzsichtigkeit in keiner Beziehung.
6. Der Raumsinn der Netzhaut verhält sich dem Raumsinn der Haut analog.

Wenn wir nach den Müller - Köl liker'schen Untersuchungen die Stäbchenschicht als das lichtempfindende Organ zu betrachten haben, so würden unsere Untersuchungen die Vermuthung Weber's bestätigen, dass nicht die Stäbchen, sondern die Zapfen als das die Feinheit des Raumsinnes bedingende Organ zu betrachten sind, indem sich diese ausschliesslich an der Macula lutea befinden, nach dem Aequator hin aber immer seltener werden. Ueber die Art ihrer Vertheilung fehlen aber zur Zeit noch genauere Zählungen.

Breslau, den 4. November 1856.
