I. *Beobachtungen über Zerstreuungsbilder im Auge,
sowie über die Theorie des Sehens;
von Dr. Fliedner in Hanau.*

1. In diesem Aufsatz werde ich Erscheinungen beschreiben, die auf der Unvollkommenheit des Accomodationsvermögens der Augen beruhen¹⁾ und die daher nicht von allen Augen gleich gut beobachtet werden. Vielleicht um des letzteren Umstandes willen sind sie bisjetzt ziemlich unbeachtet geblieben und man stößt häufig noch auf unrichtige oder doch unklare Ansichten darüber, weshalb die nachfolgenden Beobachtungen und Erklärungen nicht ohne Nutzen seyn dürften.

Solche Augen, welche zum völlig deutlichen Sehen in die Ferne eines Concavglases von 10 par. Zoll und darüber bedürfen, werden die im Folgenden beschriebenen Erscheinungen bei einiger Aufmerksamkeit leicht beobachten, sehr kurzsichtige oder weitsichtige allerdings manche derselben schwieriger; doch dürfte es wenige Augen geben, die bei entsprechender Wahl der Entfernungen und einiger Aufmerksamkeit nicht alle Erscheinungen wahrnehmen könnten.

Meine beiden Augen sind weder kurzsichtig noch weitsichtig, indessen haben sie, wie dieß häufig der Fall ist, nicht gleiche Sehweiten. Ich kann die Druckschrift dieser Annalen ohne besondere Anstrengung bei mäßigem Tageslicht mit meinem linken Auge in Entfernungen von $4\frac{1}{2}$ bis 33, mit meinem rechten Auge innerhalb $3\frac{1}{2}$ bis 24 par. Zoll

1) Die ersten 16 Nummern dieses Aufsatzes waren bereits niedergeschrieben, als ich die *bemerkenswerthen* Erscheinungen der No. 18 und besonders der No. 19 wahrnahm, was ich rücksichtlich der Ueberschrift und einiger Punkte der Darstellung hier anführen zu müssen glaubte.

lesen, bedarf also für die gewöhnlichen Gegenstände des Sehens keiner künstlichen Beihülfe.

2. Fast allen Augen erscheinen die Sterne in strahlenförmiger Gestalt. »Die überdeckenden Strahlen und Schwänze«, sagt A. v. Humboldt im 3. Bande seines *Kosmos*, S. 67, »welche unserem Auge als von den Planeten und Fixsternen ausgehend erscheinen und seit den frühesten Zeiten der Menschheit in bildlichen Darstellungen, besonders bei den Aegyptern, die glänzenden Himmelskörper bezeichnen (Hassenfratz erklärt sie für Brenulinien, *intersections de deux caustiques*, auf der Krystalllinse) haben mindestens 5 bis 6 Minuten Länge.« Ferner S. 166: »Ich sehe sehr regelmäßig acht Strahlen unter Winkeln von 45° bei Sternen 1^{ter} bis 3^{ter} Gröfse Einige meiner astronomischen Freunde sehen nach oben hin 3 höchstens 4 Strahlen und nach unten keine«.

Ganz dieselben Strahlengestalten gewahrt man auch bei entfernten Lichtern oder überhaupt leuchtenden Gegenständen, die unter einem kleinen Winkel erscheinen. Sie sind für verschiedene Personen und selbst für die beiden Augen eines Individuums verschieden, für ein und dasselbe Auge aber constant, wenigstens, wenn man davon absieht, daß bei größerer Intensität des Lichts und geringerer Entfernung noch Strahlen auftreten, die unter anderen Verhältnissen nicht mehr erscheinen.

Fig. 1 Taf. III. stellt dar, unter welcher Form ich einen Stern oder überhaupt einen entfernten leuchtenden Punkt mit meinem *linken*, Fig. 2, wie ich ihn mit meinem *rechten* Auge sehe. In beiden Figuren sind nur die hellsten, immer sichtbaren Strahlen gezeichnet. Ein gewöhnliches Licht muß viele 100 Fusse von mir entfernt seyn, wenn ich nur diese und nicht auch noch andere minder intensive Strahlen sehen will. Die stärkste Lichtintensität gewahre ich an den mit *a* bezeichneten Stellen, ein rundes Bild des Lichtpunktes nur in meinem rechten Auge. Man sieht, eine solche Regelmäßigkeit der Figur, wie sie oben A. v. Humboldt für seine (beiden?) Augen angiebt, stellt sich in den meinigen nicht

dar, und ebenso wenig in denen vieler mir bekannten Personen. Die von Hassenfratz geäußerte Meinung ¹⁾, daß ziemlich allgemein zwei Strahlen in der Richtung der Augenlieder und ein darauf senkrechter gesehen würden, daß einige Beobachter in der Verlängerung des letzteren noch einen vierten unterscheiden u. s. w. dürfte der Wahrheit wenigstens nahe kommen ²⁾.

Betrachte ich einen leuchtenden Punkt mit beiden Augen zugleich, so tritt in der Regel sein Bild in meinem rechten weniger gut in die Ferne sehenden Auge ganz zurück, manchmal, jedoch selten, combinirt sich ein Theil der ihm zugehörigen Strahlen mit denen des linken Auges.

Von diesen constanten Strahlengebilden sind jene ephemeren meist breiten und langgestreckten Lichtstreifen leicht zu unterscheiden, die von der Zerstreuung des Lichts an der zwischen je zwei Wimperhaaren befindlichen Thränenflüssigkeit herrühren und die nicht Gegenstand dieses Aufsatzes sind.

Die hier zu betrachtende Erscheinung kann man solchen Augen, die nicht sehr scharf in die Ferne sehen, schon bequem im Zimmer vorführen, sowohl durch ein enges Loch in einer vor einem Licht oder dem Himmel befindlichen schwarzen Scheibe, als durch einen in der Mitte einer solchen Scheibe befindlichen runden metallenen Knopf, den man bis auf einen Kreis von etwa 1 bis 2 Millm. gleichfalls schwärzt und mit der Scheibe so anbringt, daß er das durch ein Fenster einfallende Tageslicht ins Auge reflectirt.

3. Man überzeugt sich leicht, daß die Ursache dieser Erscheinung nicht in den leuchtenden Körpern, sondern im Auge selbst liegt; denn bei einer Drehung des Kopfs in der verticalen Ebene zur Rechten oder zur Linken, dreht sich die Strahlengestalt um denselben Winkel; auch zeigt

1) *Annales de chimie. Tome 72 (1809) p. 5.*

2) Die etwas gedrehte und verzerrte Figur in meinem rechten Auge hängt entschieden mit einer eigenthümlichen Erscheinung in demselben zusammen. Davon vielleicht später.

das Spiegelbild eines leuchtenden Punktes nicht die gegenbildliche, sondern die ebenbildliche Strahlenform.

Manche scharf in die Ferne sehende Personen erkennen die Strahlenform nur an den hellsten Sternen oder an intensiven Lichtern in sehr weiter Entfernung, es sey denn, daß sie ihr Auge in der Richtung des Sterns oder Lichts auf einen näher gelegenen Gegenstand fixiren oder den Brechungszustand des Auges durch Drehung des Augapfels nach innen verändern. Kurzsichtigen erscheinen alle Sterne als mehr oder minder helle Scheiben und die hellen Punkte müssen ihrem Auge sehr genähert werden, wenn sie die Strahlenform wahrnehmen sollen. Bei Anwendung passender Augengläser verschwindet sie, und ebenso, wenn man durch ein sehr enges Loch z. B. in einem Kartenblatt sieht.

Hiernach liegt die Erklärung nahe, daß die Erscheinung der Strahlengestalt im Wesentlichen von der Unvollkommenheit des Accomodationsvermögens der Augen herühre, daß die Augen nicht vermögen, die von dem fernen leuchtenden Punkte herkommenden Lichtstrahlen in einem Punkte auf der Netzhaut zu vereinigen, sondern daß diese in einem oder mehreren Punkten schon vor der Netzhaut zusammentreffen und von da weitergehend Zerstreuungsbilder auf die Netzhaut werfen. Hieraus würde sich allerdings die Ausbreitung des Lichtpunktes im Auge, noch nicht aber das Strahlenförmige derselben erklären. Hasenfratz sucht in dem oben angeführten Aufsatz die Ursache dieses Strahlenförmigen in den unregelmäßigen Formen der Krystalllinse und der Cornea. Er sagt unter Anderm: *» On observe constamment les deux images ellipsoïdales et croisées (Fig. 3 Taf. III.) en faisant passer un rayon de lumière solaire, la lumière d'une bougie un peu éloignée etc. à travers une lentille ellipsoïdale; la même image s'observe encore en faisant passer ces lumières au travers de surfaces irrégulières telles, par exemple que, des fioles à médecine, des caraffes pleines d'eau etc. etc. »* und nachdem er die Resultate seiner Untersuchungen vieler Krystalllinsen gegeben hat, fährt er fort: *» Puisque la courbe formée*

par les plans des deux segmens antérieurs et postérieurs des cristallins, n'est pas un cercle, il s'ensuit que leurs surfaces n'appartiennent pas à des sphères; de là, que les rayons de lumière qui passent à travers doivent avoir autant de foyers différens que l'on peut concevoir de rayons osculateurs qui ont engendré leurs surfaces; qu'ainsi le cristallin seul, par l'irrégularité de ses surfaces peut produire en tout ou en partie les rayonnemens que l'on apperçoit en regardant des lumières très éloignées. La surfaces de la cornée ne paraissant pas être exactement un segment de sphère, doit encore contribuer à faire naître de nouveaux foyers, de là de nouveaux rayonnemens: ainsi tout parait concourir à rapporter la génération des rayonnemens que laissent apercevoir les lumières éloignées et vues sous un très petit angle, à l'action réunie du cristallin et de la cornée, c'est-à-dire, à la nature de leur surfaces courbes etc.»

4. Wenn man sich einem strahlenförmig leuchtenden Punkt, (z. B. dem engen Loch in einem vor ein Licht oder den Himmel gehaltenen geschwärzten Kartenblatt oder dem hinter einer Convexlinse erzeugten reellen Bilde eines fernen Lichts u. s. w.) allmählig nähert, so nehmen die Strahlen nach und nach ab, aber nach *einer* Richtung mehr als nach andern; man gewahrt einen Lichtstreifen von ungleicher Intensität, und auch dieser nimmt endlich ab, so dafs man jetzt während einer gewissen Strecke der Näherung (in der sogenannten deutlichen Schweite) die wahre Gestalt des Lichtpunktes erkennt. Nähert man sich noch mehr, so findet wieder eine Erweiterung des Lichtpunktes zu einem Streifen, aber nach einer auf der vorherigen senkrechten Richtung statt, der dann abermals in eine Strahlengestalt und bei noch gröfserer Annäherung in einen von der Form der Pupille abhängigen, fast gleichmäfsig beleuchteten Kreis übergeht. Da diese letzteren Zerstreuungsbilder dadurch zu entstehen scheinen, dafs die von dem allzunahen leuchtenden Punkt kommenden und im Auge gebrochenen Strahlen vor ihrer Vereinigung auf die Netzhaut fallen, so liegt die Vermuthung nahe, dafs die dabei auftre-

tende Strahlenform die Umkehrung derjenigen sey, welche von einem fernen Punkte im Auge entsteht. Ich habe für mein linkes Auge diese Vermuthung bestätigt, jedoch die Figur etwas gedreht gefunden; in meinem rechten ist die Aehnlichkeit weniger erkennbar.

5. Im Vorhergehenden war nur von einer Strahlenform *leuchtender Körper* die Rede. Man kann sich indessen auch leicht überzeugen, daß nicht bloß überhaupt jeder helle Punkt auf dunkelm, sondern auch jeder *dunkle auf hellem Grunde* ganz dieselbe Erscheinung darbietet. Wer sich einmal an einem leuchtenden Punkte die seinem Auge eigenthümliche Strahlengestalt gemerkt hat, wird bei geeigneter, für jedes Auge erst zu suchender Entfernung ganz dieselbe Form auch z. B. an jedem auf den Himmel projecirten Fleckchen auf einer Fensterscheibe erkennen. Auf einer mit weißem Papier überzogenen Scheibe, in deren Mitte sich ein, 3 Millm. im Durchmesser haltender schwarzer Kreis befindet, vermag ich die meinem linken Auge entsprechende Strahlenform bei mäßiger Beleuchtung noch in einer Entfernung von 16 bis 18 Fuß als graue Flecken deutlich zu erkennen. Diese Erscheinung ist leicht zu erklären: da die Zerstreuungsbilder jedes Punktes der weißen Scheibe auf der Netzhaut theilweise auf einander fallen, von dem schwarzen Kreis aber kein Licht ausgeht, so werden gewisse Stellen auf der Netzhaut weniger beleuchtet und diese verursachen jene graue Strahlengestalt. Ein feines weißes Sandkörnchen auf einer schwarzen, oder ein schwarzes auf einer weißen Fläche giebt mir gleichfalls, nahe vors Auge gehalten, die entsprechende Strahlenform rein und deutlich. Ebenso erscheint mir ein gelber Punkt auf blauer Fläche als grüner Stern u. s. w.

6. Ich werde hernach einige diese Punktbilder betreffenden auffallenden Beobachtungen beschreiben und erklären, vorher aber will ich den Zusammenhang nachweisen, in welchem sie und ihre besonderen Formen mit den schattenartigen Streifen und Bändern stehen, womit die meisten Augen die Grenzen entfernter und sehr naher Ge-

gegenstände umgeben sehen, wenn sie auf einem anders gefärbten (helleren oder dunkleren) Grunde projectirt sind.

Solche *Zerstreuungsfransen* gewahrt man z. B. um den dicht vors Auge gehaltenen Finger, sowie um den Rand der eigenen Nase, wenn man mit einem Auge darnach blickt; ferner sieht man sie von der Stube aus am Rande der Fensterrahmen, über Dächern und Schornsteinen u. s. w.; insbesondere gehört auch hierher das *Doppelt-* oder *Mehrfachsehen* von fernen Stangen, Telegraphen-Drähten und Thurmspitzen und selbst ganzer Gebäude mit *einem* Auge, sowie das Größererscheinen des beleuchteten Theils des Mondes gegen den dunkeln und die Verbreiterung und Vervielfachung nicht zu ferner Lichtflammen. Die *Zerstreuungsfransen* sehr naher Gegenstände werden von allen Augen leicht gesehen, nicht aber solcher, welche sich jenseits der deutlichen Schweite befinden und nicht sehr hell sind; ich habe indessen unter sehr vielen nur einige wenige Personen gefunden, die auch dann noch behaupteten, keine solche Erscheinung wahrzunehmen, nachdem ich sie, was fast bei Allen nothwendig war, vorher besonders darauf aufmerksam gemacht hatte. Die *Fransen* sind nach ihrer Breite und nach dem Wechsel ihrer hellen und dunkeln Streifen, die sie gewöhnlich zeigen, für verschiedene Augen verschieden und selbst für ein und dasselbe Auge nur bei bleibender Stellung des Kopfs und des Gegenstandes constant. Es ist wichtig zu bemerken, *dafs sie, und besonders das Streifige in ihnen, oft erst bei einer langsamen Drehung des Kopfs nach Rechts oder Links in der verticalen Ebene* (d. h. in der Weise als ob man den Kopf auf die Schulter legen wollte) *aufgefunden oder deutlicher gesehen werden.* (Wir werden später in No. 17 noch ein genaueres Mittel kennen lernen, ihr Vorhandenseyn zu constatiren.)

7. Man muß die *Zerstreuungsfransen der Ferne* von jenen der *Nähe* wohl unterscheiden. Den Zusammenhang der ersteren mit den Bildern ferner Punkte will ich in besonderer Beziehung auf meine eigenen Augen jetzt nachweisen.

In meinem *linken* Auge und bei aufrecht stehendem Kopf stellt sich das Bild eines fernen Punkts unter der Form abc (Fig. 4 Taf. III.) dar. Betrachte ich nun mit demselben Auge und bei derselben Stellung des Kopfs eine ferne lothrecht stehende dünne Stange auf einem hellern Hintergrunde, so sehe ich sie doppelt in der mit $a_1 b_1 c_1$ bezeichneten Gestalt ¹⁾, nämlich von den Bildern der einzelnen Punkte der Stange setzen sich die Strahlen a und c zum Stangenbild a_1 und c_1 , die Strahlen b aber zu dem von b_1 zusammen. Drehe ich nun den Kopf um ungefähr 30° links, so sehe ich die Stange wie in $a_1 b_1 c_1$ (Fig. 5), also gleichfalls doppelt; aber das Bild links ist jetzt dunkler, das Bild rechts etwas weniger dunkel wie vorher, weil jetzt jenes aus den Strahlen b und c , dieses bloß aus den Strahlen a der Punktbilder besteht. Drehe ich den Kopf bis zu 90° links, so sehe ich die Stange dreifach, wie in $a_1 b_1 c_1$ (Fig. 6.); also auch hier die Lage der Stangenbilder der (darüber gezeichneten) Lage des Bildes abc jedes einzelnen Punktes entsprechend. Bei der Drehung des Kopfs nach Rechts bis zu 90° sehe ich die Stange gleichfalls dreifach u. s. w.

Beobachte ich mit meinem *linken* Auge bei aufrechter Stellung des Kopfs die horizontale Gränze zwischen einer schwarzen und einer weißen Fläche (in Fig. 7 sey S die schwarze, W die weiße Fläche und Aa ihre Gränze), so sehe ich in der deutlichen Sehweite diese Gränze scharf und rein ²⁾; in größerer Entfernung aber scheint das Schwarze ins Weiße und umgekehrt überzutreten und ich bemerke nach W zu eine Franse, die aus zwei dunklen und zwei hellen Streifen besteht, sowie nach S zu eine allmählig ins Schwarze verlaufende. Das Verhältniß der Breiten dieser Franssen ist durch die punktirten Linien an-

1) Die Striche in den Figuren 4, 5 und 6 sollen nur die relativen Intensitäten der Stangenbilder und ihre relativen Entfernungen von einander bezeichnen.

2) Die in No. 17 angegebenen Beobachtungsmittel haben mir indessen auch hier oft noch das Vorhandenseyn von Zerstreuungsfansen angedeutet.

gedeutet. Sehe ich mit demselben Auge bei aufrechter Stellung des Kopfs nach einem auf den Himmel projectirten Schornstein, so erscheint mir an dem oberen horizontalen Rand eine Zerstreuungsfranse wie die eben beschriebene, an der abwärts gehenden linken Seite eine schmalere mit nur einem dunklen Streifen, an der rechten ist kaum eine ganz schmale bemerkbar. Dagegen sehe ich mit meinem rechten Auge oben und rechts eine sehr breite, links eine schmale Franse, das Streifige tritt aber weniger entschieden hervor, wie in meinem linken Auge. Das starke Verücken der Fransen an den Ecken eines Schornsteins, je nachdem ich mit dem einen oder anderen Auge darnach blicke, sowie die Aehnlichkeit der gezackten Formen der Fransen an diesen Ecken mit den entsprechenden Stellen der Punktbilder, haben mich zu einer genaueren Beobachtung dieser Erscheinung geführt.

8. Die erste Gruppe dieser Erscheinungen bedarf kaum einer weiteren Erklärung, wohl aber die zweite. Ich darf mich dabei auf die Erscheinungen beschränken, welche sich mir darbieten, wenn ich mit meinem linken Auge bei aufrechter Stellung des Kopfs die horizontale Gränze (*Aa*) (Fig. 7) zwischen einer schwarzen (*S*) und einer weissen Fläche (*W*) betrachte.

Von allen Punkten der weissen Fläche *W* entstehen Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut, durch deren theilweises Aufeinanderfallen die von der Gränze *Aa* entfernten Theile der Fläche in derselben Intensität erscheinen, als wenn die Lichtstrahlen der einzelnen Punkte genau in entsprechenden Punkten der Retina sich vereinigten. Die Intensität auf jeder dieser Stellen der Netzhaut wird also bedingt durch das Aufeinanderfallen der bezüglichen Theile *abc* (Fig. 1) der Zerstreuungsbilder, welche von den (dem betrachteten) benachbarten Punkten ins Auge gelangen. Die der Gränze *Aa* nahen Punkte der weissen Fläche (*W*) werfen nun den Theil *a* (Fig. 1) ihrer Zerstreuungsbilder zum Theil auf solche Stellen der Netzhaut, die der schwarzen Fläche *S* entsprechen, und daher scheint das Weisse

ins Schwarze überzugreifen; aber, da keine Lichtstrahlen von der schwarzen Fläche ausgehen, also auch keine (hellen) Zerstreuungsbilder von dort im Auge entstehen, so fehlen an denjenigen Stellen der Netzhaut, welche dem zunächst an *Aa* gelegenen Weißen entsprechen, die Theile *b* und *c* (Fig. 1) und weiterhin bloß der Theil *c* von Zerstreuungsbildern benachbarter Punkte und es muß also die Intensität des Weißen an diesen Stellen geringer seyn, d. h. es muß grau erscheinen. Hiernach sollte man denken, die Erscheinung in meinem linken Auge müsse sich so darstellen:

I) Zunächst unter *Aa* ein allmähig nach *S* zu dunkler werdender grauer Streifen, abhängig von den dort hineinragenden Theilen *a* (Fig. 1) der Zerstreuungsbilder, welche von den Punkten über *Aa* herrühren,

II) zunächst über *Aa* bis *Bb* ein gleichförmig grauer Streifen, weil hier von keinem Punktbild die Theile *b* und *c* (Fig. 1) hinfallen; und

III) über diesem zwischen *Bb* und *Cc* gleichfalls ein gleichmäßig grauer aber hellerer Streifen, weil hier nur die Theile *c* benachbarter Punktbilder fehlen.

Indessen zeigt sich die Erscheinung in sofern etwas anders, als ich sowohl den Streifen II, als den Streifen III unten hell und oben dunkler sehe, so daß die Erscheinung fast dieselbe ist, als ob an der Stelle der ausgebreiteten schwarzen Fläche ein schmaler schwarzer Streifen sich befände. Dieses Verhalten der Streifen II und III erkläre ich mir als eine Wirkung des *Contrastes*. Denn überall wo Helles und Dunkles an einander gränzen, erscheint uns jenes heller und dieses dunkler, als wenn keine Nebeneinanderstellung stattfindet. (Ich gewahre z. B. auch an den sämtlichen Rändern dieser Scheibe ein tieferes Schwarz, als in ihrer Mitte.)

Die Zerstreuungsfransen der Nähe zeigen gleichfalls helle und dunkle und oft intensiv gefärbte Streifen, die sich auf die Form der entsprechenden Punktbilder zurückführen lassen. Ihre Fixirung greift die Augen sehr an, weshalb

es räthlich ist, sie gewöhnlich nur indirect bei einem für die Ferne passenden Brechungszustand der Augen zu beobachten.

9. Nach dem Vorgehenden besteht eine *Zerstreuungsfranse der Ferne* aus zwei Theilen, wovon der eine das Helle, der andere das Dunklere über die wirkliche Gränze hinaus erweitert, während jedoch der Gesamteindruck eine Verbreiterung des Hellen ist, besonders wenn das Helle sehr intensiv, wie z. B. eine Lichtflamme, oder der Mond u. s. w. Daher sieht man weiße Objecte auf schwarzem Grunde größer als schwarze Objecte auf weißem Grunde, und ebenso eine dünne lange Stange viel weiter als ein Quadrat, dessen Seite dem Durchmesser derselben gleich ist.

In Fig. 8 stelle QS das Netzhautbild eines entfernten Punktes P , oder, was hier einerlei ist, die Zerstreuungsfranse im Auge dar, welche von der Gränze P zwischen einer hellen und dunkeln Fläche herrührt. Zieht man von Q und S aus die Richtungslinien des Sehens durch den Kreuzungspunkt K , bis sie die Ebene NO in q und s treffen, so stellt qs den scheinbaren Durchmesser des Punktbildes oder die scheinbare Breite der Zerstreuungsfranse dar. Ich habe versucht, die Größe von Ps für mein linkes Auge annähernd zu bestimmen. In diesem Auge ist nämlich der obere Rand einer horizontalen Zerstreuungsfranse ziemlich deutlich begränzt. Ich entfernte mich von einem auf den Himmel projecirten Gebäude so weit, bis ich den oberen Rand der Zerstreuungsfranse des Daches mit dem oberen Rande des auf ihm befindlichen Schornsteins gleich hoch sah. Indem ich nun die untern Theile der Zerstreuungsfransen des Schornsteins und des Daches gleich breit annahm, erhielt ich die Winkelbreite von Ps

- 1) bei einer Schornsteinhöhe von 5 Fufs und einer Entfernung von 2660 Fufs $= 6\frac{1}{2}$ Minuten;
- 2) bei einer Schornsteinhöhe von 1,5 Fufs und einer Entfernung von 730 Fufs $= 7$ Minuten;
- 3) bei einer Schornsteinhöhe von 1,36 Fufs und einer Entfernung von 610 Fufs $= 7\frac{2}{3}$ Minuten.

Ich glaube die Richtigkeit dieser Werthe bis auf $\frac{1}{2}$ Minute verbürgen zu können. Dafs die Breite zunimmt, während die Entfernung abnimmt, erklärt sich daraus, dafs bei gröfserer Entfernung die Deutlichkeit des obern Theils der Franse abnimmt.

Auch in der *Zerstreuungsfranse der Nähe* hat man wie in der Ferne zwei Theile zu unterscheiden. In Fig. 9 stelle *BM* eine nahe vors Auge gehaltene Scheibe vor, worauf *A* die Gränze zwischen einer dunklen Fläche *AB* und einer hellen *AM* sey. Ist *EG* die Zerstreuungsfranse auf der Netzhaut, so findet man durch ähnliche Construction wie in Fig. 8 die objective Zerstreuungsfranse *eg*. Die Breite derselben nimmt zu, wenn die Scheibe dem Auge genähert wird. Daher scheinen schmale Objecte z. B. ein dünnes Bleistift, wenn man sie dem Auge nähert, schmärer zu werden, und können, wie z. B. eine Nadel, ganz verschwinden. Mittelt des sogenannten Scheiner'schen Versuchs hat Volkmann ¹⁾ die absolute Gröfse des Zerstreuungsbildes eines Menschenhaars auf der Netzhaut, bei verschiedenen Entfernungen desselben innerhalb der deutlichen Schweite, gemessen.

10. Im Folgenden werde ich nun Beobachtungen beschreiben und erklären, welche die vorhergehende Theorie der Zerstreuungsfransen bestätigen und woraus sich einige für optische Beobachtungen brauchbare Resultate ergeben werden. Vorher indefs noch folgende Bemerkung:

Sind *NP* (Fig. 8) und *AB* (Fig. 9) undurchsichtige Schirme (die sich also nach unten nicht über *P* und *A* hinaus erstrecken und), wovon der erstere jenseits, der zweite diesseits der deutlichen Schweite sich befindet, so können durch die bei *P* und *A* erscheinenden Zerstreuungsfransen dahinter befindliche Gegenstände (deren Färbung ja die Franse constituiren hilft) gesehen werden und zwar nicht blofs durch die nach unten gerichteten Theile *Pq* und *Ae*, sondern auch durch die nach oben gerichteten *Ps* und *Ag*. Hinter diesen letztern können nämlich alle solche

1) Diese Ann. Bd. 45, S. 193.

Gegenstände gesehen werden, welche innerhalb der Winkel LPU (Fig. 8) und VAW (Fig. 9) und zugleich in dem Sehfeld der Zerstreuungsfranse sich befinden.

11. Wenn ich nach einem *entfernten auf einem dunkleren oder helleren Grunde befindlichen Punkte* blicke und dabei zwischen diesen und mein Auge *diesseits der deutlichen Sehweite* einen *Schirm* schiebe (z. B. den Finger oder ein Lineal), so verschwinden die nach dem Schirm zu gerichteten Strahlen des Punktbildes schon hinter der Zerstreuungsfranse des Schirms und zwar diejenigen, welche auf dem Schirmrand senkrecht stehen, vollständig; die schief gerichteten nicht vollständig, dagegen bleiben die vom Schirm abgewandten Strahlen unter der Schirmfranse noch sichtbar, und zwar die auf dem Schirmrand senkrecht stehenden fast vollständig.

Die Stelle des Schirms kann schon durch das obere Augenlid vertreten werden. Betrachtet man z. B. ein fernes Licht und bewegt das obere Augenlid herunter, so verschwindet der obere Theil der Lichtfigur, während man die über derselben befindlichen Gegenstände noch ganz gut sieht.

Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung liegt darin, daß das Bild des Schirms im Auge und der Schatten, den er auf das Bild des betrachteten Punktes wirft, nicht genau einander decken, indem nämlich, bei dem Einschieben des Schirms in den von dem betrachteten Punkt herkommenden Lichtkegel, der Schatten Anfangs nur mit der Gränze der Schirmfranse auf der Netzhaut zusammenfällt, dann aber, weil er sich langsamer auf der Netzhaut bewegt, als das Bild des Schirms, von diesem überholt wird. Die Figuren 10 bis 12 werden dieß deutlicher machen.

Es sey (Fig. 10) $PCDP$ der von einem entfernten Punkte (wir wollen zunächst einen leuchtenden Punkt auf einer schwarzen Scheibe voraussetzen) herkommende Lichtkegel, V der vor der Netzhaut liegende Vereinigungspunkt seiner Strahlen und QRS die von ihnen gebildete (hier nur der Deutlichkeit der Figur willen hinter die

Netzhaut gezeichneten) Zerstreuungsform. Es sey ferner AB ein nahe vor dem Auge befindlicher Schirm in einer solchen Lage, daß der Punkt A seines untern geradlinigen Randes eben in den Strahlenkegel tritt. Die von A ausgehenden Strahlen werden im Auge nach einem in der Richtungslinie AK hinter der Netzhaut liegenden Punkte gebrochen, werfen also ein Zerstreuungsbild EFG auf die Netzhaut, wovon der Punkt E den Punkt S der von P herrührenden Zerstreuungsform decken muß, weil die Strahlen PC und AC in *eine* Richtung fallen. Bei s liegt also der Schatten von A ; das Bild von AB hat dagegen die Lage ab ¹⁾ (die hier um der Deutlichkeit willen, vor die Netzhaut gezeichnet ist). Während nun AB tiefer in den Lichtkegel eindringt, wächst der Schatten bei s (d. h. es wird allmähig der Stelle SR der Netzhaut das Licht des Punktes P entzogen) und zugleich rückt die Zerstreuungsfranse bei a in die Höhe. Nun bewegt sich aber der Punkt a mit der Zerstreuungsfranse schneller als der Punkt s ²⁾, und wenn (Fig. 11) A in die Augenaxe gelangt, so liegen a und s ebenfalls in derselben; die Zerstreuungsfranse über a ist dann schon über s hinaus gelangt und hinter ihr ist der Theil QR des Zerstreuungsbildes von P noch sichtbar und bleibt es, bis (Fig. 12) AB dem Auge alles Licht von P abschneidet.

Es ist nun nicht schwer, die ganz ähnlichen Erscheinungen zu erklären, welche stattfinden, wenn man, statt des leuchtenden Punktes auf einer schwarzen Scheibe, einen kleinen schwarzen Kreis auf einer weißen Scheibe betrachtet. Von jedem Punkt der hinter der Schirmfranse

1) Der Theil aa_1 dieses Bildes ist größtentheils noch vollkommen durchsichtig (vergl. 9 und 10).

2) Denn bei dem Eindringen von AB in den Lichtkegel dreht sich a gleichsam an dem Hebelarm aK des Hebels aKA um den Punkt K , dagegen der Schattenpunkt s an dem Arm sV des Hebels sVA um den Punkt V . Nimmt man die Geschwindigkeit von $A=1$ an, so ist die von $a=\frac{aK}{AK}$ und die von $s=\frac{sV}{AV}$, also die erstere größer als die letztere.

sichtbaren weissen Fläche, können nach dem Vorhergehenden wesentlich nur diejenigen Lichtstrahlen ins Auge gelangen, welche den von der Schirmfranse abgewendeten Theil der entsprechenden objectiven Strahlengestalt erzeugen, nicht aber diejenigen, welche den anderen der Schirmfranse zugewendeten Theil ins Auge werfen werden. Daher, und weil die graue Zerstreuungsfigur des schwarzen Punktes nur von Lichtmangel herrührt, kann derjenige Theil derselben, welcher der Schirmfranse zugewendet ist, hinter dieser nicht mehr bemerkbar seyn (denn es fehlen ja jetzt überall hinter der Schirmfranse die ihr zugewandten Theile der hellen Zerstreuungsfiguren); wohl aber muß der andere Theil sichtbar bleiben. Es ist auffallend, wie sehr dieser sichtbar bleibende Theil an Schwärze zunimmt (vergl. No. 15) weshalb man in diesem Versuch ein Mittel hat, die einzelnen Theile der Zerstreuungsform überhaupt entschiedener hervortreten zu sehen.

12. Daraus folgt, dafs von den Zerstreuungsbildern solcher Punkte ferner Gegenstände, welche *seitswärts* der (objectiven) Zerstreuungsfranse eines innerhalb der deutlichen Sehweite befindlichen Schirms liegen, nur ein geringer Theil auf die Netzhautbilder derjenigen Punkte fallen kann, welche *hinter* dieser Franse liegen, und dafs daher die hinter der Schirmfranse erscheinenden Gegenstände, falls sie von verschiedener Färbung und gut beleuchtet sind, deutlicher gesehen werden müssen, als die seitlich davon befindlichen.

Diese Folgerung wird durch die Erfahrung bestätigt. Es erklärt sich daraus, warum gut beleuchtete Gegenstände durch ein nahe vors Auge gehaltenes enges Loch z. B. durch die geballte Hand deutlicher erscheinen, ebenso, warum man beim Fixiren gut beleuchteter Gegenstände die Augenlieder zusammenzieht, indem diese letztern hier die Stelle des Schirms vertreten.

13. Die umgekehrten Erscheinungen, wie in No. 11, finden statt, wenn ich zwischen einen *entfernten auf einem dunklern oder hellern Grunde befindlichen Punkt* und mein Auge *jenseits der deutlichen Sehweite* einen Schirm schiebe,

nämlich die dem Schirmrand zugewendeten Strahlen bleiben hinter der Zerstreuungsfraße des Schirms sichtbar, die von ihm abgewendeten verschwinden.

Im gegenwärtigen Falle bewegt sich nämlich der Schatten rascher, als das Bild, wie dieß die Figuren 13 bis 15 deutlich machen, worin V_1 den Vereinigungspunkt der von A ausgehenden Strahlen bezeichnet, der hier vor der Netzhaut, aber ihr näher liegen muß, als der Punkt V , in welchem die von P kommenden Strahlen zusammentreffen. Die übrige Bezeichnung dieser Figuren stimmt mit derjenigen der Figuren 10 bis 12 überein.

14. Wenn ich einen Schirm zwischen mein Auge und einen *innerhalb der deutlichen Sehweite befindlichen Punkt* bringe, so verschwindet der dem Schirmrand abgewendete Theil der objectiven Strahlengestalt des Punktes zuerst hinter der Schirmfranse, jedoch nicht wie im vorigen Fall von der Mitte, sondern vom Rande aus; dagegen bleibt der dem Schirmrand zugewendete Theil hinter der Schirmfranse sichtbar. Die Fig. 16 wird zur Erklärung hinreichen.

Betrachtet man ein weißes Sandkörnchen auf einer schwarzen Fläche oder ein mit einer feinen Nähnadel in ein geschwärztes Kartenblatt gestochenes Loch, so wird die Erscheinung besonders deutlich, wenn man als Schirm ein Stück recht weißes Papier benutzt.

15. Die in den letzten Nummern beschriebenen Beobachtungen zeigen noch einige besondere Erscheinungen, die ich jetzt anführen will.

Eine solche ist die, daß beim tiefern Eindringen des Schirms in den Lichtkegel der sichtbar bleibende Theil der objectiven Zerstreuungsfigur an Intensität zunimmt. Es rührt dieß ohne Zweifel von der *Beugung* der Lichtstrahlen am Schirmrand her, vermöge welcher auf die beleuchtete Stelle der Netzhaut mehr Lichtstrahlen gelangen, als ohne das Einschieben des Schirms. Aus derselben Ursache erklärt sich auch die Erscheinung, daß der letzte Theil der Zerstreuungsfigur eines fernen Punktes stets

etwas

etwas dem Schirmrand entgegenrückt (was für meine beiden Augen besonders dann auffallend ist, wenn ich bei aufrecht stehendem Kopf den Schirm von oben nach unten einschiebe). Diefs scheint mir daher zu kommen, dafs die am Schirmrand gebeugten Lichtstrahlen, wenn sie an den Rand der Pupille gelangen, wieder nach einer anderen Richtung gebeugt werden. Dieses Entgegenrücken tritt entschiedener hervor, wenn der leuchtende Gegenstand eine gewisse Ausdehnung hat (z. B. am Rande des auf einem dunklen Kranze aufsitzenden Milchglases einer Lampe).

Die Erscheinung in No. 14 ist streng genommen nur dann so, wie sie dort beschrieben worden, wenn der leuchtende Punkt keine merkliche Ausdehnung hat, also nahezu nur ein einziger Lichtkegel ins Auge gelangt, wie z. B. von dem gegen den Himmel oder das Milchglas einer Lampe gehaltenen Löchelchen einer sehr feinen Nadelspitze. Hat er eine merkliche Ausdehnung, wie z. B. das von einer starken Stecknadel gestochene Loch, so bemerke ich beim Einschieben des Schirms von oben nach unten, dafs die Verdunklung nicht am untern Rande, sondern etwas weiter oben beginnt, (freilich kaum merklich) und dafs der Verdunklung von unten nach oben eine solche von oben nach unten entgegenkommt.

Um dieser vielleicht schon zu weitläufigen Abhandlung nicht noch eine gröfsere Ausdehnung zu geben, lasse ich die vielfachen Farbenerscheinungen, die bei diesen Beobachtungen auftreten, unbeachtet.

16. Im Vorhergehenden sind die Elemente zur Erklärung aller Erscheinungen enthalten, welche stattfinden, wenn man die Zerstreuungsfransen zweier hinter einander befindlicher Gegenstände einander nähert und zur Deckung bringt. Ich will im Folgenden die bemerkenswerthesten Fälle kurz anführen und durch nahe liegende Beispiele belegen. Als entferntere Franse will ich die an der Gränze zwischen einer schwarzen und einer weissen (einer dunklen und einer hellen) Fläche erscheinende annehmen, als nähere die am Rande eines dunkeln Schirms.

a) Befindet sich die betrachtete schwarzweiße Fläche außerhalb, der Schirm aber innerhalb der deutlichen Sehweite, so verschwindet die graue Franse der schwarzweißen Gränze hinter der Schirmfranse, wenn der Schirm vom Weißen nach dem Schwarzen, sie geht in Schwarz über, wenn der Schirm vom Schwarzen nach dem Weißen geschoben wird.

Betrachtet man die Firste eines auf dem weisbewölkten Himmel projecirten dunkeln Daches und man schiebt nahe vorm Auge einen Schirm von oben nach unten, so wird die graue Zerstreuungsfranse des Daches durch die Schirmfranse niedergedrückt, wird dagegen der Schirm von unten nach oben geschoben, so rückt das Dach bis zur Gränze seiner Zerstreuungsfranse in die Höhe.

b) Wenn nicht bloß die schwarzweiße Fläche, sondern auch der nähere Schirm jenseits der deutlichen Sehweite liegt, so verschwindet die Franse der schwarzweißen Gränze hinter der Schirmfranse, wenn der Schirm von dem Schwarzen nach dem Weißen, sie geht dagegen in Schwarz über wenn der Schirm vom Weißen nach dem Schwarzen geschoben wird, und zwar findet das Verschwinden der Fransen und ihr Schwarzwerden nach derselben Richtung hin statt, nach welcher sich der Schirm bewegt.

Bringe ich vom Zimmer aus die *obere* Franse einer Fenstersprosse mit der Zerstreuungsfranse an einem gegenüber befindlichen Dach von unten nach oben zur Deckung, so verschwindet diese letztere; lasse ich aber die *untere* Franse von oben nach unten gehen, so sehe ich von da an, wo sie auf die Dachfranse trifft, diese letztere dunkler hervortreten. Die Zerstreuungsfranse des hinter einem Dach aufsteigenden Mondes wird nicht hinter der Zerstreuungsfranse des Daches sichtbar, sondern springt erst später in die Höhe u. s. w.

c) Befinden sich sowohl der Schirm, als die entferntere schwarzweiße Fläche dießseits der deutlichen Sehweite, so verschwindet zwar ebenso wie im vorigen Fall die Franse der schwarzweißen Gränze hinter der Schirmfranse, wenn

der Schirm vom Schwarzen nach dem Weissen, sie geht in Schwarz über, wenn der Schirm vom Weissen nach dem Schwarzen geschoben wird, aber hier findet das Verschwinden und Schwärzerwerden der Franse nach derjenigen Richtung statt, welche der Schirmbewegung entgegengesetzt ist.

Betrachte ich die Spitze eines nahe vors Auge gehaltenen Fingers, und bewege den oberen Augendeckel, der dann die Stelle des Schirms vertritt, herunter, so sehe ich den Finger in die Höhe steigen und die Zerstreuungsfranse ausfüllen, wenn die Fingerspitze nach oben gerichtet ist; dagegen sehe ich die Zerstreuungsfranse von unten nach oben verschwinden, wenn die Fingerspitze nach unten gehalten wird.

Bringe ich zwei Finger, ihre Spitzen nach oben gerichtet, den einen aber näher und etwas tiefer liegend vors Auge und schiebe dann den nähern Finger in die Höhe, so sehe ich hinter der Franse an seiner Spitze die Franse des entferntern Fingers von oben nach unten abnehmen. Lasse ich den entferntern Finger in der vorigen, gebe aber dem nähern die umgekehrte Lage und schiebe dann den letztern von oben nach unten, so bleibt der obere Theil der Franse des entferntern Fingers sichtbar, der untere Theil aber verschwindet von der Fingerspitze aus, indem nämlich von dieser ausgehend ein dunkler Kegel in die Höhe tritt, der die Franse ausfüllt. Wenn man die Finger recht nahe vors Auge bringt, so ist diese Erscheinung sehr auffallend. Bringt man beide Finger in gleicher Entfernung vors Auge und schiebt ihre Spitzen gegen einander, so tritt aus beiden ein dunkler Kegel.

17. Die Erscheinungen der No. 16, *a* und *c* können in Verbindung mit der zu Ende der No. 6 hervorgehobenen Wahrnehmung dazu dienen, sich von dem Vorhandenseyn einer ausserdem vielleicht nicht bemerkbaren Zerstreuungsfranse ferner und naher Gegenstände zu überzeugen. Bei aufmerksamer Anwendung dieser Beobachtungsmittel dürfte sich die Anzahl derer verringern, welche in

allen Entfernungen gleich gut zu sehen, also ein vollkommenes Accomodationsvermögen zu haben glauben.

Betrachtet man eine halbschwarze, halbweiße Scheibe und schiebt den Schirm (z. B. ein Lineal mit scharfer Kante) in einer Entfernung von ungefähr 1 bis 2 Zoll vom Auge abwechselnd von dem Weißen nach dem Schwarzen und umgekehrt, während man nöthigenfalls den Kopf nach Rechts oder Links dreht, so kann man nach dem Vorhergehenden

- I) auf das Vorhandenseyn einer *Zerstreuungsfranse* in der *Ferne* schliessen, wenn man beim Einschieben des Schirms vom Weißen nach dem Schwarzen zu ein Verschwinden der grauen Zerstreuungsfranse jener Scheibe, dagegen beim entgegengesetzten Einschieben ein Fortschieben des schwarzen Theils der Scheibe gewahrt. Man muß
- II) auf eine *Zerstreuungsfranse* der *Nähe* schliessen, wenn, beim Einschieben des Schirms vom Weißen nach dem Schwarzen zu, der schwarze Theil der Scheibe sich nach dem Schirme zu bewegt, dagegen beim entgegengesetzten Einschieben die graue Zerstreuungsfranse der Scheibe nach dem Schirm zu abnimmt und verschwindet.

Befindet sich auf einer weißen Scheibe bloß ein schwarzer Strich, so zeigen sich natürlich beide Kennzeichen einer Zerstreuungsfranse schon bei einmaligem Einschieben des Schirms. Ähnlich bei einem weißen Strich auf schwarzem Grunde.

Wegen der in No. 15 erwähnten von der Lichtbeugung abhängigen Erscheinung vermeide man, den Schirm allzuweit nach der Gränze zwischen dem Schwarzen und Weißen zu schieben; indessen wird man bei einiger Aufmerksamkeit die betreffenden Erscheinungen bald von einander unterscheiden lernen.

18. Hieraus ergibt sich ein Verfahren, vermittelt dessen das für ein kurzsichtiges oder weitsichtiges Auge passende Glas ausgewählt werden kann. Man bringe das

Auge in diejenige Entfernung von jener Scheibe, in welcher man mittelst des Glases deutlich sehen will, und betrachte die schwarzweiße Gränze durch das Glas. Ist das Auge *kurzsichtig*, das Glas also ein *concaves* und man gewahrt, beim Einchieben jenes Schirms nahe jenseits des Glases, die unter I der vor. Nr. beschriebenen Erscheinungen, so ist das Glas zu schwach, d. h. die Lichtstrahlen vereinigen sich trotz der Beihülfe des Glases doch noch vor der Netzhaut. Finden dagegen die Erscheinungen von II statt, so ist das Glas zu scharf, d. h. die Lichtstrahlen werden durch das Glas zu viel divergirend gemacht und würden sich daher nach ihrer Brechung im Auge erst hinter der Netzhaut vereinigen. Zur Bestimmung des passenden Convexglases für ein weitsichtiges Auge gelten die umgekehrten Regeln.

Statt einer Zerstreuungsfranse kann man sich auch der Zerstreuungsfigur eines leuchtenden Punktes bedienen. Bei Versuchen mit dieser letztern konnte ich indessen bei einem bestimmten Convexglase und in einer bestimmten Entfernung kein reines Resultat für mein linkes Auge erhalten. Der Lichtpunkt zeigte, durch das Glas gesehen, Verbreiterungen in verschiedenen Richtungen, die zum Theil die Erscheinungen der No. 11, zum Theil die der No. 14 deutlich erkennen, also auf Convergenzpunkte zum Theil vor, zum Theil hinter der Netzhaut schließsen lassen. Wegen dieses Verhaltens vermuthe ich eine ähnliche Beschaffenheit dieses Auges, wie diejenige des einen Auges Airy's, das nach Herschel's Angabe¹⁾ in der verticalen Ebene eine kürzere Brennweite hat, als in der horizontalen, wodurch es sogar unbrauchbar wurde. Berücksichtige ich aber zugleich die von meinen *beiden* und von vielen anderen Augen beobachtete schon in No. 4 beschriebene Erscheinung, daß nämlich ein Lichtpunkt sowohl kurz vor, als kurz hinter der sogenannten deutlichen Sehweite entschieden eine Längenerstreckung zeigt, wovon die eine auf

1) Vom Licht. Aus dem Englischen übersetzt von Schmidt 1831. S. 153.

der anderen senkrecht steht und aus welcher dann erst beim Näher- oder Entfernterrücken noch andere Strahlen treten, so schien es mir, als ob jene Eigenschaft des Airy'schen Auges in gewissem Grade jedem Auge zukomme.

Um dieß näher zu untersuchen, zog ich auf weißem Papier mehrere gegen einander geneigte schwarze Striche, prüfte in verschiedenen Entfernungen die Zerstreuungsfrausen derselben und fand meine Vermuthung vollkommen bestätigt, wie sich dieß aus dem folgenden *bemerkenswerthen Versuch* ergeben wird.

19. Auf einer kreisförmigen Scheibe von sehr weißem Kartenpapier ziehe man mit schwarzer Tusche 8 oder 16 gleiche Winkel einschließende Durchmesser von höchstens 0,1 Linie Breite (Fig. 17). Bringt man diese Scheibe in senkrechter Stellung zuerst so dicht vor ein Auge (*während das andere verschlossen ist*), daß alle Durchmesser undeutlich oder doppelt erscheinen, und entfernt sie dann langsam, so sieht man

a) in einer *ersten* bemerkenswerthen Entfernung einen der Durchmesser, den ich den *ersten* nennen will, schwärzer und mit schärferer Begränzung, den auf ihm senkrecht stehenden aber heller und breiter, als vorher und nachher hervortreten, während die übrigen Durchmesser eine von jenem nach diesem zu abnehmende Schwärze und Begränzungsschärfe zeigen. Entfernt man nun die Scheibe allmählig weiter, so gewahrt man, daß jener *erste* Durchmesser wieder etwas heller wird, dagegen die ihm rechts und links zunächst liegenden an Schwärze und scharfer Begränzung zunehmen, und daß zugleich auch der auf dem *ersten* senkrechte, sowie die ihm rechts und links zunächst liegenden Durchmesser etwas dunkler werden. Die dem *ersten* rechts und links zunächst liegenden nehmen dann wieder etwas an Schwärze *ab*, die darauf folgenden aber, sowie immer noch die auf jener senkrechten an Schwärze *zu*, und diese Drehung schreitet nun mit der Entfernung der Scheibe fort, bis

b) die in einer *zweiten* bemerkenswerthen Entfernung,

wenn die Reihe, am Schwärzesten zu werden, an die mit dem *ersten* einen Winkel von 45° bildenden *mittleren* Durchmesser, gekommen ist, alle Durchmesser gleiche Intensität zeigen; oft indessen treten dabei die *mittleren* Durchmesser etwas stärker hervor. Entfernt man die Scheibe noch weiter, so schreitet von den mittlern Durchmessern aus nach *einer* Seite das Schwärzerwerden, nach der *anderen* das Hellerwerden der Durchmesser fort, bis endlich

c) in einer *dritten* bemerkenswerthen Entfernung der auf dem *ersten* senkrecht stehende Durchmesser die größte, der *erste* selbst aber die geringste Schwärze und Begränzungsschärfe zeigt.

Von da an nehmen bei noch weiterer Entfernung der Scheibe alle Durchmesser mehr und mehr an Deutlichkeit ab.

Ich habe diese Erscheinungen vielen Augen, worunter sehr kurzsichtige und sehr weitsichtige, vorgeführt und habe keins gefunden, dem sie entgangen wären; nur sind die Entfernungen, in welchen sie eintreten, sowie die Lage des *ersten* Durchmessers in verschiedenen Augen verschieden. Für die meisten hat er eine verticale Lage, für manche eine horizontale oder, wie z. B. für die meinigen, eine schiefe.

Prüft man nach No. 17 mittelst eines Schirms die verschiedenen Durchmesser in verschiedenen Entfernungen der Scheibe, so findet man, dafs jedesmal der am Schwärzesten hervortretende keine merkliche Zerstreuungsfranse hat, dafs dagegen

in der unter *a* bemerkten Entfernung alle übrigen Durchmesser Zerstreuungsfransen der Nähe,

in der Entfernung *b* diejenigen Durchmesser, welche schon ihre größte Schwärze gehabt haben, Zerstreuungsfransen der Ferne, die andere aber solche der Nähe zeigen und dafs endlich

nach der unter *c* angegebenen Entfernung alle Durchmesser Zerstreuungsfransen der Ferne haben.

Es bedarf nach den frühern Untersuchungen kaum der Bemerkung, daß man die Erscheinungen auf einer schwarzen Scheibe mit weißen Durchmessern mit denselben Worten geben kann, wenn man nur das Wort »Schwarz« in »Weiß« verwandelt.

20. Schon bei den Erscheinungen der No. 4 und 18 hatte es mir geschienen, daß die seitherige Theorie des Sehens zu ihrer Erklärung ungenügend sey; bei dem vorigen Versuch mußte mir dieß zur Gewißheit werden.

Auch die Sturm'sche Theorie ¹⁾, deren Kenntniß mir übrigens nützlich gewesen ist, kann diese Erscheinungen nicht erklären, wohl aber vermögen dieß die folgenden Sätze, die mir allen bis jetzt bekannten Thatsachen zu entsprechen scheinen:

I. Der von einem Punkt ins Auge fallende Lichtkegel wäre es auch nur ein sehr dünner, durch die Mitte der Pupille gehender, wird *niemals* nach einem *einzig*en Punkte zu gebrochen.

II. *Jedem Pupillen-Durchmesser entspricht eine besondere Brennweite im Auge.* Die bezüglichen Brennpunkte liegen hinter einander und bilden also eine *Brennstrecke*, (die jedoch keine gerade Linie, sondern von doppelter Krümmung zu seyn scheint).

III. Die Lage dieser Brennstrecke ändert sich, analog dem Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen bei Linsengläsern, mit der Entfernung des leuchtenden Punktes; sie kann ganz hinter oder vor die Netzhaut fallen, oder mit einem ihrer Endpunkte auf sie treffen oder auch von ihr durchschnitten werden.

IV. Fällt der Convergenzpunkt der durch einen Pupillendurchmesser gehenden Strahlen *nicht* auf die Netzhaut, so entsteht auf dieser eine *Zerstreuungslinie* (der Ferne oder der Nähe), welche jenem Durchmesser im Allgemeinen parallel ist. Jeder Strahl der scheinbaren Figur eines fer-

1) *Compt. rend. Tome XX. p. 554, 761 et 1238. Pogg. Ann. Bd. 65, S. 116 und 374.* Ich bemerke hier, daß mir diese Theorie erst bekannt wurde, als ich mir die Scheibenerscheinungen zu erklären suchte.

nen oder nahen Punktes ist eine solche Zerstreuungslinie oder ein Complex solcher.

V. Es giebt für jedes Auge drei bemerkenswerthe Entfernungen von einem leuchtenden Punkte:

- a) in der *ersten* (kürzesten) Entfernung fällt der vorderste Punkt der Brennstrecke auf die Netzhaut, alle übrigen aber verursachen (verschieden geneigte) Zerstreuungslinien der Nähe;
- b) in der *zweiten* (mittleren) Entfernung wird die Mitte der Brennstrecke durch die Netzhaut geschnitten, die hinter der Netzhaut liegenden Punkte der Brennstrecke verursachen also Zerstreuungslinien der Nähe, die vor der Netzhaut liegenden, solche der Ferne;
- c) in der *dritten* (weitesten) Entfernung fällt der hinterste Punkt der Brennstrecke auf die Netzhaut, die übrigen erzeugen also Zerstreuungslinien der Ferne.

VI. Der Pupillen-Durchmesser, welchem der vorderste Punkt der Brennstrecke entspricht und den ich den *ersten* nennen will, steht senkrecht auf demjenigen, welchem der hinterste Punkt entspricht. Ebenso verhalten sich je zwei andere Durchmesser, welchen zwei solche Convergenzpunkte entsprechen, die gleich weit von den Enden der Brennstrecke liegen. Der Mitte der Brennstrecke entsprechen die beiden *mittleren* Durchmesser, welche gegen den *ersten* um 45° geneigt sind.

VII. Die Lage des *ersten* Durchmessers ist für verschiedene Augen und selbst für die beiden Augen eines und desselben Menschen verschieden ¹⁾.

21. Ich will nach dieser Theorie zunächst die Erscheinungen der No. 4 erklären.

Einen sehr nahen leuchtenden Punkt sieht man als eine grofse runde Lichtscheibe, weil die Brennstrecke so weit

1) In meinem linken Auge liegt er ungefähr 40° vom verticalen Durchmesser nach der Nasenwurzel zu geneigt, in meinem rechten hat er fast genau die gegenbildliche Lage von jenem. In den meisten Augen scheint er vertical zu seyn. Man kann dieß mittelst der Durchmesserscheibe finden, wie alsbald gezeigt werden wird.

hinter der Netzhaut liegt, daß alle Zerstreuungslinien nahezu gleich lang sind. Entfernt sich der Punkt allmählig, so kommt die Brennstrecke der Netzhaut näher, die Zerstreuungslinien werden sämmtlich kleiner, diejenigen aber am Kleinsten, welche den der Netzhaut am nächsten liegenden Convergenzpunkten entsprechen, daher muß (nach VI.) die Zerstreuungsfigur eine in die Länge gestreckte werden. Entfernt sich der leuchtende Punkt so weit, daß die Mitte der Brennstrecke von der Netzhaut durchschnitten wird, so fallen die jetzt sehr kurzen Zerstreuungslinien der Nähe und der Ferne über einander und daher wird der Punkt als eine kleine wohl beleuchtete Scheibe gesehen, die um so schärfer begrenzt seyn wird, je näher die Endpunkte der Brennstrecke an einander liegen. Bei noch weiterer Entfernung tritt die Brennstrecke vor die Netzhaut und es muß daher zunächst wieder eine in die Länge gestreckte Zerstreuungsfigur hervortreten, deren Richtung auf der vorhin erwähnten senkrecht steht und aus welcher dann weiterhin auch nach anderen Seiten Strahlen schießen.

(Das stärkere oder geringere Hervortreten der Strahlenform eines Punktes und der Zerstreuungsfans scheint nicht bloß von der Verrückungsfähigkeit der Brennstrecke sondern auch von ihrer Länge abzuhängen. Bei solchen Fernsichtigen, welche diese Erscheinungen an fernen Gegenständen stets wahrnehmen, liegen die Endpunkte der Brennstrecke weit aus einander, im andern Falle näher, wie ich mehrfach gefunden habe.)

22. Die Erscheinungen auf jener Scheibe erklären sich nunmehr so.

Befindet sich die Scheibe dem Auge sehr nahe, so liegt die Brennstrecke jedes Punktes derselben *hinter* der Netzhaut, man sieht daher alle Durchmesser mit Zerstreuungsfans *der Nähe*. Entfernt man sie dann

a) so weit, daß das *vordere Ende* der Brennstrecke die Netzhaut erreicht, so bilden alle Punkte der Scheibe in die Länge gestreckte Zerstreuungsfiguren, also sämmt-

lich von paralleler Richtung, die aber, weil sie an den übrigen Stellen wegen ihres Uebereinanderfallens ein gleichmäßiges Weiß bilden, nur an den schwarzen Durchmessern bemerkbar sind. Jeder derselben muß nun mit hellern Rändern umgeben seyn, (vergl. No. 5 bis 7) derjenige ausgenommen, welcher dieselbe Richtung hat, wie die Zerstreuungsfiguren. Dieser letztere muß am Schwärzesten hervortreten (und ist also derjenige, den ich oben den *ersten* Scheiben-Durchmesser genannt habe) während der auf ihm senkrechte die breiteste Franse zeigen muß. Entfernt man die Scheibe weiter, so rückt die Brennstrecke vor, folglich müssen die Zerstreuungsfiguren aller Punkte an Länge abnehmen, also die Ränder aller Durchmesser schmaler werden. Kommt nun die Scheibe

b) in eine solche Entfernung, daß die *Mitte* der Brennstrecke von der Netzhaut durchschnitten wird, so müssen die Durchmesser gleichmäßig schwarz erscheinen, wenn in dem betreffenden Auge die Brennstrecke jedes Punkts sehr kurz ist, im anderen Falle können die beiden *mittleren* Durchmesser wohl etwas stärker hervortreten, weil dann in jedem Punkt der Scheibe sowohl eine (gestreckte) Zerstreuungsfigur der Nähe, als auch eine solche der Ferne vorhanden ist, welche beiden auf einander senkrecht stehen und deren Neigung gegen die Richtung der verschiedenen Scheiben-Durchmesser jenes Resultat hervorbringen kann.

c) Wird die Scheibe so weit entfernt, daß der *hinterste Endpunkt* der Brennstrecke auf die Netzhaut gelangt, so ergibt sich aus ähnlichen Erwägungen, wie die vorhergehenden, daß jetzt der auf dem *ersten* senkrechte Durchmesser am schwärzesten hervortreten, und dagegen der *erste* selbst die breiteste Zerstreuungsfranse der *Ferne* zeigen muß.

Bei noch weiterer Entfernung der Scheibe tritt die ganze Brennstrecke vor die Netzhaut und alle Durchmesser müssen allmählig an Deutlichkeit verlieren.

23. Man sieht, diese Folgerungen aus den Sätzen der

No. 20 stimmen mit den Erscheinungen der Scheibe vollständig überein. Diese Sätze scheinen mir daher die Beachtung und Prüfung der Physiker und Physiologen zu verdienen. Indem ich sie hier mittheile, bitte ich, vorkommenden Falls nicht zu rasch die Richtigkeit meiner Beobachtungen und deren allgemeinere Wahrnehmbarkeit zu bezweifeln. An manche der hier beschriebenen Erscheinungen muß sich das Auge erst einige Zeit gewöhnen, um sie richtig beurtheilen zu können, und ich mache insbesondere darauf aufmerksam, daß man vor Allem suchen muß, das Bild eines fernen leuchtenden Punkts im Auge genau kennen zu lernen.

Man pflegt die Zerstreuung des Lichts auf der Netzhaut nur als die Ursache des *undeutlichen* Sehens in Betracht zu ziehen. Daß sie aber in allen Augen das Bild eines in beliebiger Entfernung befindlichen Punktes constituiren hilft, schloß ich schon aus der allgemeinen Wahrnehmbarkeit der sogenannten *Irradiationserscheinungen*, die nicht bloß nach meinem eigenen, sondern auch nach den anerkannt genauen Beobachtungen Plateau's ¹⁾ »von der kürzesten Entfernung des deutlichen Sehens bis zu einer jeglichen« sich zeigen, und die sich nach meinen im Vorhergehenden beschriebenen Untersuchungen als bloße *Lichtzerstreuungserscheinungen* darstellen. Plateau freilich wurde dadurch, daß die Irradiation auch bei der Entfernung des deutlichen Sehens stattfindet, zu der Annahme einer anderen Ursache veranlaßt; aber er ist dadurch auf unlösbare Widersprüche rücksichtlich des Verhaltens der Linsengläser gestossen, während sich alle Erscheinungen der Irradiation, auch die mittelst Linsengläsern beobachteten, einfach erklären, wenn man die *Lichtzerstreuung* als Ursache annimmt ²⁾. Es könnte anmaßend von mir er-

1) Pogg. Ann. Ergänzungsbd. vom Jahr 1842.

2) Es ist auffallend, daß man so oft die Zerstreuungsfranse des Mondes als eine Irradiationserscheinung angeführt hat, ohne die Verbreiterung einer Lichtflamme oder die Strahlengestalt eines Sterns damit in Vergleichung zu bringen.

scheinen, der Ansicht eines so ausgezeichneten Physikers, wie Hr. Plateau, der gerade über die Gesetze der Irradiation eine treffliche Arbeit geliefert hat, mit so kurzen Worten entgegenzutreten, wenn ich nicht ausdrücklich daran erinnerte, daß er von vornherein gerade das als feststehende Thatsache angenommen hat, was ich im Sinne der obigen Theorie hier bestreite, nämlich, daß das von einem in der deutlichen Sehweite befindlichen Punkt ausgehende Licht nach einem *einzig* Punkte der Netzhaut gebrochen werde.

Die obigen Sätze über den Vorgang beim Sehen werden auch durch die anatomische Beschaffenheit des Auges wesentlich unterstützt. Ich verweise in dieser Beziehung auf die schon oben citirten Aufsätze von Hassenfratz und Sturm, wo man auch noch andere dafür sprechende Thatsachen angeführt findet.

Denjenigen gegenüber, welche in der Nähe und in der Ferne gleich gut zu sehen glauben, erlaube ich mir übrigens die Bemerkung, daß ein *vollkommenes* Organ nicht immer am Besten geeignet ist, die *Functionen* desselben zu *erklären*.

24. Ich will hier alle theoretischen Betrachtungen und Folgerungen die sich an den Scheibenversuch und die daraus abgeleiteten Gesetze knüpfen, vorerst bei Seite setzen, und nur noch auf die practische Wichtigkeit der Scheibe aufmerksam machen.

Indem sie nämlich zeigt, daß das Auge in einem Theil seiner Querschnitte kurzsichtiger, im andern weitsichtiger ist, als in den beiden mittlern giebt sie zugleich unmittelbar die Lage dieser Querschnitte an; denn der *erste* Scheibendurchmesser (No. 19, *a*) muß offenbar senkrecht stehen auf demjenigen Pupillendurchmesser, durch welchen das Auge am Kurzsichtigsten, er muß demjenigen parallel seyn, durch welchen das Auge am Weitsichtigsten ist. Der auf dem *ersten* senkrecht stehende Scheibendurchmesser bestimmt die fraglichen Pupillendurchmesser in umgekehrter Weise. Wo diese Ungleichheit des Sehens, wie bei Airy, störend wird, also einer Verbesserung durch

besonders geschliffene Gläser bedarf, da kann ein Blick auf die Scheibe zur Bestimmung der nöthigen Elemente dienen. Die Herstellung eines möglichst zweckmäßigen Apparats sowohl hierzu, als auch zur Bestimmung der deutlichen Schweite, macht noch einige Versuche nöthig, nach deren Bendigung ich ein sehr einfaches *Optometer* vorschlagen zu können hoffe.

II. *Das Interferenz - Schachbrettmuster und die Farbe der Polarisationsbüschel;* *von W. Haidinger.*

(Aus d. October-Hefte 1851 d. Sitzungsberichte d. math.-naturw. Classe d. K. Acad. d. Wiss. von Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Die Beobachtung, über welche ich heute die Ehre habe, der hochverehrten mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe einen Bericht zu erstatten, ist eine von denjenigen, welche einfach in sich selbst, leicht anzustellen und gestützt auf die vielen vorangegangenen Arbeiten, auch leicht zu erklären, dennoch Veranlassung geben, mannigfaltige Forschungen und Folgerungen daran zu knüpfen. Es ist eine optische Anstrengung der Gesichtswerkzeuge, und Kenntniß eines vielfältig von den ersten Forschern bearbeiteten wissenschaftlichen Gebietes wären erforderlich, um der Aufgabe vollständig zu genügen. Ich fühle, nicht ohne Bedauern, daß ich in beiden weit hinter dem Ideal zurückbleiben muß, welches ich zu erreichen wünschen könnte. Dennoch will ich nicht länger säumen, wenn auch nur die Wahrnehmungen mitzuthemen, um vielleicht jüngern und besser vorbereiteten Forschern Veranlassung zu weiteren Arbeiten zu geben. Schon die große Anstrengung der Augen hielt mich zurück, den Gegenstand früher vorzunehmen; ich sah mich abgeschreckt, unter andern kurz

Quinard sc.