

Das Interferenz-Schachbrettmuster und die Farbe der Polarisationsbüschel.

Von

W. Haldinger.

wirkl. Mitglieder der kais. Akademie der Wissenschaften.

(Aus dem October-Hefte des Jahrganges 1861, Band VII. Seite 389, der Sitzungsberichte der math.-naturw. Classe der kais. Akademie der Wissenschaften.)

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 mitzutheilen, um vielleicht jüngern und besser vorbereiteten

Forschern Veranlassung zu weitem Arbeiten zu geben. Schon die grosse Anstrengung der Augen hielt mich zurück, den Gegenstand früher vorzunehmen; ich sah mich abgeschreckt, unter andern kurz nachdem ich die Beobachtung machte, durch Hrn. Abbé Moigno's Bericht¹⁾ über das Unglück, dem die ausgezeichneten Physiker, die Herren Plateau und Fechner erlagen, zu erblinden, als „Opfer der selbstmörderischen Versuche, die sie mit übermässigem Eifer verfolgten, in dem so höchst lobenswerthen, wenn auch verwegenen Vorhaben, die Natur der subjectiven oder zufälligen Farben zu erklären.“ Nur Fechner war so glücklich, nach mehrjährigem Leiden, sein Gesicht wieder zu erhalten. Es möge diess als eine Entschuldigung gütigst aufgenommen werden, wenn ich hier nur unvollkommen Bearbeitetes übergebe, selbst unvollkommener, als es, wenn auch mit unzureichenden Kräften, mir sonst wohl auszuführen gelungen wäre.

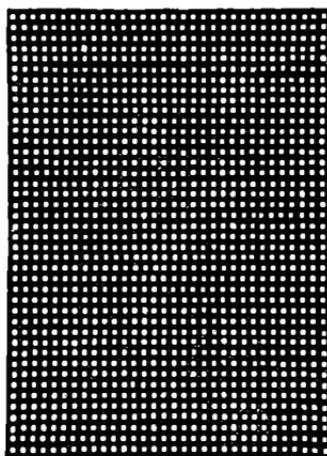
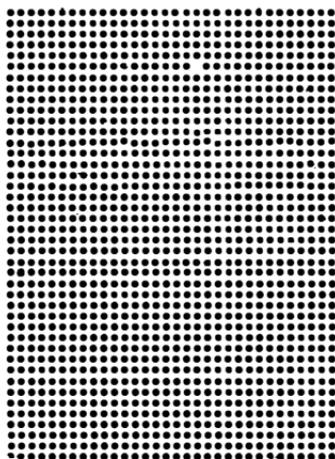
Die Veranlassung zur Beobachtung der in Rede stehenden Erscheinung: gab ursprünglich ein Vorschlag meines verehrten Freundes, des Hrn. Professors Schrötter. Wir hatten über die Natur der Polarisationsbüschel gesprochen. Er meinte, man würde vielleicht Eindrücke auf die Netzhaut hervorbringen können, ähnlich in einer oder der andern Beziehung den Polarisationsbüscheln, wenn man nacheinander Flächen betrachtete, die mit abwechselnden weissen und schwarzen Parallel-Linien ganz überdeckt wären. Es war dies am 27. November 1845. Gerne verweile ich einen Augenblick auf diesem Tage, es war der erste, an welchem ich mit Schrötter und v. Ettingshausen in der Wohnung des Letzteren, die näheren Verhältnisse und Interessen einer in Wien zu gründenden Gesellschaft für Naturwissenschaften besprach. Bald darauf folgten die Versammlungen von einer grössern Anzahl der Männer der Wissenschaft in dem damaligen montanistischen Museo. Am 30 Mai 1846, bald nach denselben, wenn auch ohne sichtbaren Zusammenhang, war von Seiner Majestät dem Kaiser Ferdinand

¹⁾ In dem so höchst wichtigen Werke „*Répertoire d'Optique moderne.*“ Paris 18 — 50. II. 593.

die Gründung einer kais. Akademie der Wissenschaften ausgesprochen.

Ich verschaffte mir Tafeln mit abwechselnd lichten und dunkeln Linien, bemerkte aber nichts als das, wie mir schien, allbekannte und vielbesprochene oft wellenförmige Ineinanderlaufen der Linien, das so störend und unangenehm auf das Auge wirkt. Seitdem war ich oft aufmerksam auf analoge Erscheinungen, besonders darum, weil doch das Phänomen der Bündel selbst keineswegs als vollkommen erklärt betrachtet wurde. So viele Physiker sich auch mit demselben beschäftigt hatten, beinahe eben so viele Erklärungsarten waren dargeboten worden. Der Zufall gab mir ein Stück Stickpapier in die Hand. Man kennt wohl ziemlich allgemein die Beschaffenheit desselben, mit den in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen reihenweise gestellten kleinen kreisrunden Oeffnungen, die, gegen Dunkles gehalten, schwarze Flecken auf Weiss, gegen Lichtes gehalten, weisse Flecken auf Schwarz darstellen.

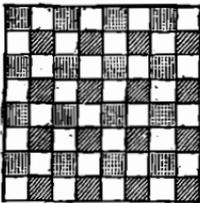
Man hat gewöhnlich dreierlei Sorten Stickpapier, mit 15, 20 und 25 Oeffnungen auf einen Wiener Zoll; ich bediente mich vorzugsweise der mittleren Sorte, welche hier abgedruckt ist.



Die reihenförmige Anordnung brachte mich auf den Gedanken, es dem Auge näher als in der Entfernung der deutlichsten Sehweite genauer zu betrachten. Ich näherte zuerst das weisse Papier mit den dunkeln Punctreihen dem Auge bis zur Entfernung des deutlichsten Sehens. Sodann brachte ich es in der nämlichen Lage gegen die Gesichtslinie dem Auge immer näher. Plötzlich trennte sich, so zu sagen, über jedem dunkeln Punkte scheinbar eine lichte Scheibe, aber die Farbe derselben war deutlich blassgelb, während das Papier fortan im Gegensatze weisslich oder graulich erschien. Man wird es natürlich finden, wenn ich noch bevor ich den eigentlichen Vorgang bei dieser Wahrnehmung näher zu erörtern suchte, nun bei grösserem Gegensatze von Licht und Dunkel die Complementär-Erscheinung sehen wollte, und das Stickpapier vor das Auge gegen das helle Licht der Wolken hielt.

Hier zeigte sich nun wie durch magische Beleuchtung bei einer gewissen Entfernung vom Auge, näher als die deutlichste Sehweite, die über das ganze Gesichtsfeld ausgedehnte Erscheinung eines Schachbrettmusters (Fig. 1, ver-

Fig. 1.



grössert dargestellt), dessen abwechselnde Felder weiss und die dazwischen liegenden farbig waren, die letzteren jedoch wieder abwechselnd gelb und violett. Wirklich überraschend war diese anscheinend bloss geradlinig begrenzte Zusammenstellung farbiger quadratischer Felder, da man doch in der That vollkommen kreisrunde Oeffnungen, und den reinen Gegensatz von Licht und Dunkel oder Weiss und Schwarz vor sich hatte. Wo die kreisrunden Oeffnungen lagen, erschienen übrigens die violetten Töne, während das Gelb sich gerade auf dem dunkelsten Theile des Papiergrundes entwickelte. Brachte man das Papier dem Auge näher und näher, so wurde das Violett immer dunkler, das Gelb immer heller, zuletzt ganz weiss, während anstatt des Violett nur ein Grau, mit dem Weissen verschwimmend, übrig blieb. Das Weiss schien am hellsten, dennoch nahm man es gerade da wahr, wo der

Papierkörper am vollständigsten den einfallenden Lichtstrahl abschnitt.

Die Erscheinung reihte sich nach den Farbentönen den mannigfaltigen Modificationen der Interferenz, und insbesondere den Erscheinungen der Beugung an. Ich hatte sie am 8. October 1850 zuerst gesehen, und zeigte sie dann mehreren meiner Freunde. Da ich aber für ein genaueres Studium voraussah, es würde nicht ohne grosse Anstrengung des Sehorgans abgehen, so bat ich unsern verehrten Collegen, Hrn. Director Doppler, er möchte vielleicht den Gegenstand einem der jüngern Forscher in seinem physikalischen Institute zur Bearbeitung übergeben. Bei der Vielartigkeit der Untersuchungen und Arbeiten konnte dies indessen bis jetzt noch nicht geschehen, und ich glaube daher, es ist besser, wenn ich selbst das Wenige, womit ich mich begnügen musste, hier mittheile, um das Feld für weitere Arbeiten vollständig offen zu lassen. Was ich vorher Quadrate nannte, weiss, gelb und violett, erscheint meinem Auge nicht eigentlich in geometrischer Regelmässigkeit als Quadrat, es ist vielmehr ein Raum, der so weit gleiche Ausdehnung mit den anliegenden hat, um eine andere Ansicht nicht aufkommen zu lassen. Es erschienen mir übrigens dunklere Punkte in dem Ganzen, fast wie ein stumpfeckiger Stern, die nothwendig von der subjectiven Beschaffenheit des Auges abhängen müssen.

Die Farbentöne wechseln in ihrer Intensität. Wenn man von der Entfernung des deutlichsten Sehens mit dem Papiere näher an das Auge rückt, so schwimmt der Rand der kreisförmigen Oeffnungen, das Dunkle wird immer kleiner und ist mit einem orangefarbenen Rande umgeben, während der Mittelpunkt der Oeffnung ein hohes Blau zeigt. Später dem Auge fortwährend näher gerückt, geht das Orange in Gelb, das Blau in Violett über. Meinem linken Auge erscheinen alle Töne viel heller, mehr gelb und violett, dem rechten dunkler, mehr orange und blau. Dagegen ist auch die deutlichste Sehweite des ersteren näher am Auge als die des letztern. Ueberhaupt erscheinen die Gegenstände meinem linken Auge deutlicher. Durch die Brille, welche die Entfernung des deutlichsten Sehens weiter hin-

ausrückt, da ich Myops bin, erscheinen die Farbentöne auch dem linken Auge dunkler, blau und orange, bei näher und näher gerückter Stellung des Papiers in Violett und Gelb übergehend.

Es wurde früher bemerkt, dass, wenn man erst das Stickpapier mit den kreisrunden Oeffnungen in der Entfernung des deutlichsten Sehens betrachtet, und es nach und nach dem Auge näher bringt, dass sich dann an der Stelle der Oeffnungen die blauen oder violetten, und zunächst der Stelle der dunkeln Papier-Mittelpuncte die orangefarbenen oder gelben Quadrate anlegen. Wenn man das Papier dagegen vom Auge nach und nach entfernt, so legt sich umgekehrt das Blau an der Stelle des Dunkeln an, innerhalb der wirklichen Oeffnungen erscheint Gelb.

Es würde wichtig sein, alle diese Beobachtungen mit optischen Apparaten zu machen. Nicht nur würde Manches messbar werden, was dem blossen Auge vorübergehende Erscheinung bleiben muss, auch die Unvollkommenheiten des menschlichen Auges würden dadurch aus dem Spiele treten. Man müsste namentlich Lichtbilder machen, sei es auf Papier, sei es auf Metall. Wie werden sich Weiss und Farbig, wie Gelb und Violett im Gegensatze darstellen? Schon wenn man die Sonne durch Stickpapier auf weissen Grund, etwa Papier, hindurchscheinen lässt, zeigen sich deutlich die gelben und violetten Quadrate, mit weissen wechselnd.

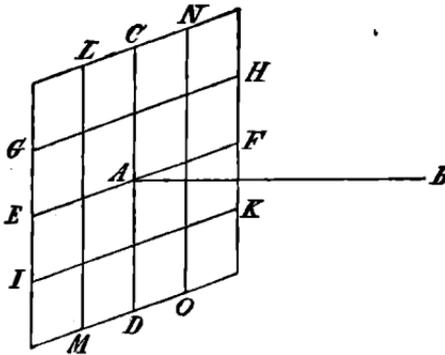
Wenn ich nun auch jetzt den Gegenstand nicht weiter zu verfolgen beabsichtigen darf, so kann ich doch eben so wenig einige Bemerkungen unterdrücken, die sich mir bei dieser Veranlassung darbieten, und die ich kürzlich erwähnen will.

1. Farbe der Polarisationsbüschel.

Das Gelb und Violett der Polarisationsbüschel ist so ungemein ähnlich dem der Quadrate, dass man unwillkürlich daran erinnert wird, die Erklärung des Einen in der Erklärung des Andern zu suchen. Niemand wird eine andere Erklärung für die Quadrate suchen, als die Interferenz; erscheinen doch unter andern die Stickpapiere beinahe nur

als grobe Gitter von eigenthümlicher Gestalt. Aber wie sollte man einer Fläche gleichförmig polarisirten Lichtes, auf welcher man den Büschel, die gelben und violetten, die Sehaxe begleitenden Sectoren wahrnimmt, eine Beschaffenheit zumuthen, dass in ihr Beugungsphänomene erwartet werden könnten. Folgende Betrachtung wird die Möglichkeit augenscheinlich hervortreten lassen.

Fig. 2.



Es sei AB (Fig. 2) die Richtung des gegen das Auge einfallenden polarisirten Lichtes. Mag es durch Refraction oder Reflexion polarisirt sein, es kann als aus unendlicher Ferne kommend betrachtet werden. Das Licht sei in der Richtung CD polarisirt. Es sei vollkommen weisses, gleich-

förmiges Licht. In dem Punkte A erhält also das Auge das Maximum des in der Richtung CD polarisirten Lichtes. Gleiches, aber in geringeren Graden afficirt das Auge zu beiden Seiten, gegen C und gegen D zu. Es könnte allerdings gegen eine oder die andere Seite zu weniger gewöhnliches Licht beigemengt sein, daher die Polarisation stärker erscheinen. Dieses verwirrt die Betrachtung nicht, da hier nur die Richtung AB uns beschäftigt, und diese als Centrallinie gilt. Das Auge sieht unbeweglich in dieser Richtung hin, denn sonst würde der Büschel selbst alsobald auf den neuen Durchschnitt der Sehlinie mit der polarisirten Lichtfläche übertragen werden. Ist nun in A das Maximum, so kann man den Theil gegen C und D zu, als aus einer unendlichen Menge von der EF parallelen Linien GH , IK u. s. w. getheilt ansehen, die eben so viele Kanten darstellen, jede auf der Seite gegen A von einem hellern, auf der Seite gegen C von einem weniger hellen Raum begleitet. In jedem Punkte von A gegen C hin, so wie von A gegen D hin lässt sich also ein Beugungsphänomen erwarten, und zwar ein solches, wo äussere Ränder im helleren Raume erscheinen; es sind dies die rothen und gelben,

welche nur durch ihre grosse Zartheit in ihrer ununterbrochenen Aufeinanderfolge den Eindruck von Gelb machen. Analoges geschieht in der Richtung gegen E und gegen F , aber begreiflich Entgegengesetztes, da Polarisation in der Richtung CD nichts anderes ist, als Mangel der Polarisation in der Richtung EF . Hier tritt also ein Minimum von in der Richtung EF polarisirtem Lichte ein, ein Minimum, das in gleichem Masse zu beiden Seiten nach E und nach F zu abnimmt. Auch hier lässt sich also eine Aufeinanderfolge von Kanten denken, parallel CD , wie LM und NO an denen Beugung stattfindet, aber umgekehrt wie es in den Richtungen AC und AD stattfand, also nicht vom Hellern zum weniger Hellern, oder vom Maximum herab, sondern vom weniger Hellern zum Hellern, oder vom Minimum hinauf. Die Farbe wird daher auch die den rothen — oder in der Erscheinung gelben — Rändern entgegengesetzte sein, nämlich Violett. Die Farbentöne sind am stärksten ausgedrückt, Gelb in der Richtung CD , Violett in der Richtung EF , sie nehmen ab an Intensität so wie sie sich von dem Mittelpunkte A entfernen, sie neutralisiren sich unter den Winkeln von 45° zu Weiss.

Die vorhergehende Betrachtungsart gibt Rechenschaft über die Farbe. Diese wäre dann schon vorbereitet, bevor das Auge sie empfindet. Dann aber müsste es auch gelingen, die Büschel zu projeciren, und endlich sie auf Flächen zu fixiren. Die verschiedenen Erklärungsarten, welche bloss auf der Polarisation durch Reflexion beruhen, geben keinen hinlänglichen Grund für irgend eine Farbe.

2. Irradiation.

Wenn man das Stickpapier mit den in senkrechten Reihen stehenden Kreis-Oeffnungen gegen das Licht hält und in der deutlichsten Sehweite betrachtet, so erscheinen dieselben Oeffnungen vollkommen scharf begrenzt, der Grund dunkel. Bringt man das Papier dem Auge allmähig näher, so verschwindet der scharfe Rand, das Helle dehnt sich aus, das Dunkle zieht sich zusammen. Bringt man das Papier in eine grössere Entfernung, so verschwindet gleichfalls der scharfe Rand der Kreisöffnungen, das Helle dehnt sich aus, das Dunkle

zieht sich zusammen. Gewiss ist dies Irradiation, wie sie in den physikalischen Werken beschrieben wird, unter andern in dem oben angeführten „*Répertoire d'Optique moderne*“ des Hrn. Abbé Moigno¹⁾, in welchem er unter andern auch die grosse Arbeit des Hrn. Plateau im Auszuge mittheilt. Dieser genaue Forscher hatte übereinstimmend mit der allgemein herrschenden Ansicht über Irradiation die Erscheinung derselben einem durch den Sehact der Netzhaut mitgetheilten, eigentlich seitwärts jenseits der Grenzen des Bildes fortgesetzten Eindrücke zugeschrieben. Diese physiologische Erklärung befriedigte indessen Arago nicht. In dem von ihm über Plateau's Arbeit 1839 in der Pariser Akademie gegebenen Berichte erklärte er sich gegen dieselbe, und versprach bald eine eigene Abhandlung über seine dahin gehörigen Erfahrungen und Ansichten zu geben. Sie ist nicht erschienen. Einstweilen hat Hr. Plateau seine Gegenansichten zu den Bemerkungen Arago's bekannt gemacht. Ist es nun erlaubt, nach Plateau's eigentlich zu diesem Zwecke angestellten bis in das Kleinste ausgeführten Forschungen, noch dazu während Arago's schon angekündigte Abhandlung noch nicht erschienen ist, nur einfache Bemerkungen zu machen, ohne dass ich mir durch eine genauere und sorgsamere Arbeit eigentlich ein Recht dazu erworben hätte? Ich glaube, die Thatsache, dass eine neue Art von Beobachtungen die Frage als neuerdings aufgefrischt betrachten lässt, gibt mir hinlängliche Veranlassung dazu.

Plateau erinnert²⁾, indem er die von Arago entwickelte Ansicht der Irradiation als auf dem Principe des anerkannt unvollkommenen Achromatismus des Auges beruhend annimmt, dass man dann in der Beobachtung der Irradiations-Erscheinungen Farbensäume wahrnehmen müsste, was doch in der That nicht der Fall sei. Die oben beschriebene Erscheinung ist nun aber wirklich eine solche Beobachtung von Farbensäumen, wie sie Plateau in Abrede stellt, aber die Umstände, unter welchen sie in dem Stickpapiere erscheinen, sind auch von der Art, dass man in gewisser Beziehung sagen kann, man habe die Summe der Irradiations-Farbensäume

¹⁾ Tome II. 598.

²⁾ Moigno. II. S. 609.

eines ganzen Kreisumfanges in einem einzigen Punkte concentrirt, und da zeigen sie sich denn auch selbst in viel gesättigteren Tönen, als wenn man sie nur einer einzigen Linie entlang vor sich hat, in welcher sich Licht und Dunkel berühren.

Aber doch kann man auch die letzteren wenn gleich schwachen Farbensäume, einer einzigen Linie entlang deutlich zur Anschauung bringen. Man befestige eine Loupe in der Richtung gegen gleichförmiges Licht der Wolken und betrachte durch sie eine scharfe vertical gestellte Kante, z. B. einer Visitkarte *A*, die man etwa in der linken Hand hält. Das Bild sei ganz scharf, ohne die mindeste Andeutung von Irradiation. Nun bewege man in der rechten Hand eine gleiche Karte *B* gegen die andere, so dass ein dünner Spalt übrig bleibt. Ist nun die Karte *B* näher dem Auge als *A*, so ist das Bild der Kante derselben undeutlich und hat einen gelben Rand, die Kante der Karte *A* aber hat einen blauen. Ist *B* mehr entfernt und die Kante dadurch undeutlich, so hat *B* einen blauen Rand, *A* hat einen gelben. Mit einem Worte, der nähere Rand ist gelb, der entferntere blau eingesäumt.

Fig. 3.



Analoge Erscheinungen zeigt der Rand eines schwarzen breiten Streifens auf Weiss (Fig. 3). Man betrachte ihn erst in der deutlichsten Sehweite. Keine Irradiation. Man nähere ihn dem Auge, der deutliche Rand verschwimmt, und ist zunächst dem Dunkeln gelb, zunächst dem Hellen blau begrenzt.

Man bringe ihn aus der deutlichsten Sehweite in grössere Entfernungen, der Rand verschwimmt gleichfalls, aber dann ist das Schwarze mit Blau, das Weisse mit Gelb eingesäumt, alles wohl sehr zart, aber namentlich durch den Gegensatz hinlänglich bestimmt hervortretend. Sehr lehrreich ist die Erscheinung bei der, für Irradiation so oft gegebenen, Fig. 4

Fig. 4.



mit zwei schwarzen, sich in einer Ecke berührenden Quadraten. In der deutlichsten Sehweite keine Irradiation. Die verticalen und die horizontalen Ränder verschwimmen gleichmässig, und das Helle greift, um es so auszudrücken, in den dunkeln Raum über, aber mit diesem Unterschiede, dass bei genäherter Stel-

lung die gelben Ränder zunächst dem Schwarz, die blauen zunächst dem Weiss sich zeigen, während umgekehrt bei grösserer Entfernung die gelben Ränder dem Weissen zunächst liegen, und die blauen an der Seite des Schwarz erscheinen. Bei günstiger heller Beleuchtung bildet sich im letztern Falle in den zwei hellen Ecken zusammengenommen das Bild eines wahren gelben Büschels, ähnlich dem des polarisirten Lichtes. Diese Erscheinungen sind sämmtlich sehr zarter Natur, manche Beobachter werden sie vielleicht nicht wieder finden. Nichts destoweniger werde ich nicht zugeben dürfen, dass man desswegen ihre Existenz bestreite, nur wäre es mir wirklich sehr lieb, wenn sie auch von anderer Seite her bestätigt würden.

Die hier beschriebenen Erscheinungen, so wenig sie Apparate erfordern, aber auch so wenig sie in der Gestalt wie sie hier erwähnt sind, den Glanz und die für Messungen und Rechnungen nothwendige Feinheit besitzen, scheinen mir dennoch gerade eine sehr einfache Verbindung zwischen den noch zu sehr getrennt betrachteten Phänomenen der Beugung und der Irradiation zu beweisen. Ich bin wohl sicher in meiner Ansicht, im Gefolge eines Arago, sie ist daher auch nicht neu, ich glaubte aber dennoch die Beziehungen der neuen Beobachtungen, ungeachtet der Erwartung, in der wir noch immer auf seine eigene ausführliche Abhandlung sind, eben weil die Beobachtungen selbst neu sind, nicht unangedeutet lassen zu dürfen.

Auf die Frage meines hochverehrten Freundes, Regierungsrathes v. E t t i n g s h a u s e n, was denn die Erscheinungen im homogenen Lichte seien, betrachtete ich die Flamme des gesalzenen Dochtes einer Spirituslampe durch das Stickpapier. Das Schachbrett erschien einfach mit hellen und dunkeln Feldern, der Unterschied zwischen violett und gelb war verschwunden, aber der zwischen hell und dunkel blieb deutlich sichtbar. Nach P l a t e a u wäre die Erscheinung der Irradiation, wenn sie im homogenen Lichte stattfindet, ein Beweis gegen die Voraussetzung, dass sie von der chromatischen Aberration des Auges herrührt. Die Modification, welche sich bei der Beobachtung des Schachbrettmusters im homogenen Lichte darbietet, ist wohl hinreichend, diese An-

sicht Plateau's selbst zu widerlegen, und doch die Verbindung zu zeigen, in welcher sich die Irradiation und die chromatische Aberration befindet.

3. Gestalt der Krystall-Linse.

Schon längst hat Airy ¹⁾ die eigenthümlichen Erscheinungen beschrieben, die auf der ungleichförmigen Strahlenbrechung in den Augen verschiedener Individuums, und selbst in den beiden Augen eines und desselben Individuums stattfinden. Er hat selbst diese Unvollkommenheiten durch eigenthümlich geschliffene Brillen, oder durch Combinationen von Gläsern corrigirt. Auch Sir David Brewster machte ebendasselbst darauf aufmerksam, dass die Ursache dieser Erscheinung in der ungleichartigen Krümmung der Hornhaut oder der Krystall-Linse, oder auch wohl in der verschiedenen Dichtigkeit der letztern liegen können. Die Betrachtung eines gleichförmig hellen Grundes durch das Stickpapier in der deutlichsten Sehweite, und dann in grösseren oder in kleineren Entfernungen vom Auge gibt durch die gleichförmige Phase so vieler in regelmässigen Abständen nebeneinander liegenden Oeffnungen ein gutes Mittel an die Hand, die Eigenthümlichkeiten der Augen zu studiren. Selten wird ein Individuum die gleichen Erscheinungen mit beiden Augen wahrnehmen. Ich habe wohl nur wenige verglichen, beabsichtige auch nicht hier den Gegenstand weiter zu verfolgen und will nur ganz kurz anführen, was ich an meinen eigenen Augen beobachte.

Die deutlichste Sehweite ist der Anfangspunct. Nach und nach dem linken Auge genähert, verlieren die kreisrunden Oeffnungen zwar ihre scharfen Ränder; aber nichtsdestoweniger bleibt die Form derselben kreisrund. Durch die fortwährende Ausdehnung des helleren Raumes wird der dunkle zwar immer kleiner, aber bleibt regelmässig, so dass die Mittelpuncte der zuletzt übrig bleibenden, quadratischen Flecke ganz genau den Mittelpuncten der zwischen den runden Oeffnungen des Stickpapiers befindlichen dunkeln Räume entsprechen. Eine ganz gleiche Erscheinung gibt das linke Auge bei allmählig stattfindender grösserer Entfernung.

¹⁾ Brewster's *Journal of Science*, Vol. VII. pag. 322, 1827.

Das rechte Auge zeigt eine abweichende Erscheinung. Bringe ich das Papier immer näher, so tritt die Bildung der verwischten Ränder zuerst, und mit grösserer Breite links oben, und rechts unten an den Oeffnungen ein. Die Oeffnungen verziehen sich dadurch nach und nach zu, von links oben gegen rechts unten schief liegenden Maschen, in welchen die beiden Seiten sich verhalten wie $1 : \sqrt{2}$. Später folgt die Erscheinung des Schachbrettes. Bei grösserer Entfernung zeigen sich ebenfalls solche Maschen, aber ihre Richtung ist die gerade entgegengesetzte, von rechts oben gegen links unten.

Die Regelmässigkeit der Bildung des Auges zeigt sich in der Leichtigkeit und Genauigkeit von Beobachtungen, sei es mit blossem Auge, oder mit Hilfe von optischen Apparaten. Ich kann mir keinen vollkommeneren optischen Eindruck denken, als den, welchen mein linkes Auge im Gebrauche einer Loupe empfängt; bei dem rechten Auge bleibt immer Vieles zu wünschen übrig, die Gegenstände sind niemals durch so scharfe Umrisse begrenzt, wie bei dem linken Auge.

Ich muss noch hinzufügen, dass man überhaupt die in dem letzten Abschnitt erwähnten Untersuchungen sehr zweckmässig durch den Gebrauch einer Loupe unterstützen, so wie man überhaupt Gegenstände dieser Art in einer grossen Mannigfaltigkeit von Nebenumständen behandeln kann, von denen allen indessen es gleichmässig wahr bleibt, dass sie die Augen ungemein anstrengen.

4. Die ineinanderlaufenden Linien.

Brewster¹⁾ hat mancherlei hierher gehörige Beobachtungen gemacht und die Eindrücke beschrieben. Sie reihen sich auf das genaueste den oben verzeichneten an. Zahlreiche höchst feine wie gebrochene Parallel-Linien erscheinen, wenn man gegen einen hellen Grund durch ein System von parallelen Oeffnungen, etwa fünfundzwanzig auf einen Zoll, zum Beispiel durch die Zähne eines Kammes hindurchsieht. Man kann auch zwei Kämme kreuzen. Diese höchst feinen Linien erscheinen auch bei den Versuchen mit dem Stickpapier.

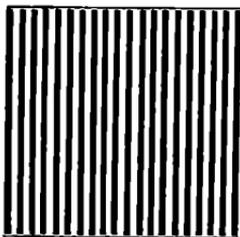
¹⁾ Moigno. II. p. 614.

Wenn man Parallel-Linien schwarz auf weiss, etwa das Meer auf einer geographischen Karte, längere Zeit aufmerksam in einer festen Richtung betrachtet, so laufen die Linien bald untereinander, verlieren scheinbar ihren Parallelismus, vereinigen sich in Knoten, wie bei einer Kette, die indessen niemals unbeweglich werden, zum grossen Missbehagen der Augen. Brewster gibt sogar die Farben-Empfindung von Gelb, von Blau und Grün an, welche sich in den Räumen zwischen den Linien zeigen.

Diese Phänomene beruhen angeblich auf geradlinigen auf der Netzhaut fortgepflanzten Schwingungen. Die Interferenz und Kreuzung der Schwingungen, durch welche die schwarzen Linien abgebrochen erscheinen und Farben sich bilden, entsteht durch die Beweglichkeit des Kopfes und der Hand, hervorgebracht durch den Parallelismus der aufeinanderfolgenden Schwingungen¹⁾.

Die hier erwähnten Schwingungen der Netzhaut scheinen mir bei der Erklärung der Erscheinungen nicht nothwendig anzunehmen. Man reicht wohl gänzlich mit derselben Modification der Beugung und Irradiation aus, die oben bezeichnet wurde. Man mache parallele gleichbreite schwarze Striche auf weisses Papier,

Fig. 5.



bis 20 auf den Zoll (Fig. 5). In der Entfernung der deutlichsten Sehweite noch so lange betrachtet, erscheint keine Veränderung, keine Irradiation, kein Ineinanderlaufen. Aber man nähere sie im zurückgeworfenen oder durchfallenden Lichte dem Auge, über dem Schwarz entsteht nun ein heller gelber Streif, in den Zwischenräumen zeigt sich Violett oder

¹⁾ *Les phénomènes produits dans ces deux expériences appartiennent naturellement à des ondulations rectilignes propagées sur la rétine, et l'interférence et le croisement des ondulations par suite desquels les lignes noires se brisent en portions détachées et les couleurs se produisent, naissent du peu de fixité de la tête et de la main que cause un parallélisme dans les ondulations successives. Moigno. II. S. 615.*

Blau. Jenseits erscheint was dunkel war licht, was licht war dunkel. Entgegengesetztes findet statt, wenn man die mit Parallelstreifen versehene Fläche vom Auge entfernt, das Schwarze erscheint dann blau, das Weisse dazwischen gelb. Jenseits geht das Blau in Weiss, das Gelb in Schwarz über. Das Ineinanderlaufen der Linien findet im Gesichtsfelde nicht an der Stelle des deutlichsten Sehens, sondern etwas ausserhalb desselben Statt. Will man es verfolgen, so geräth das Auge in eine solche Entfernung von den Parallel-Linien, dass der Gegenstand ausserhalb der deutlichsten Sehweite liegt. Die unwillkührlichen Bemühungen zur Accomodation des Auges, das Verschwimmen der Ränder, die Beugungsfarben, endlich die Ermüdung der Netzhaut geben der Momente genug, um die Pulsationen der Erscheinung durch directen Eindruck zu erklären, ohne dass man eine seitliche Fortpflanzung von Schwingungen auf der Netzhaut anzunehmen nöthig hat.
