VL

Nachricht von einigen Fällen einer bisher noch nicht beschriebenen Entstehung der Farben.

VON

THOMAS YOUNG, M. D. F. R. S.

(Der königl. Societät vorgelesen den 1. July 1802.)

Uebersetzt vom Prof. Lüdicke. *)

Was man auch für eine Meinung von der Theorie des Lichts und der Farben hegen mag, welche ich neulich der königl. Societät vorzulegen die Ehre hatte^{*)}; so muß es ihr einigen Werth verschaffen, daß sie zur Entdeckung eines einfachen und allgemeinen Gesetzes Veranlassung gegeben hat, wodurch man eine Menge Erscheinungen des farbigen Lichts erklären kann, welche ohne dieses Gesetz isolirt und unerklärt geblieben wären. Das Gesetz ist folgendes: „Wo zwei Theile desselben Lichtes bei „dem Auge auf verschiedenen Wegen entweder gegenau oder sehr nahe nach einerlei Richtung ankommen, da wird das Licht am dichtesten, wenn

*) Nach einem einzelnen Abzuge der Abhandl., aus den *Philos. Transact. for 1802*, welchen ich dem Hrn. Verf. verdanke. *Gilbert.*

**) Sie enthält der vorstehende Aufsatz. G.

„die Differenz der Wege ein Vielfaches einer gewissen Länge ist, und am dünnsten im mittlern Zustande der zusammenkommenden Theile; und „diese Länge ist verschieden für Licht von der für „Farben.“

Ich habe schon die Hinlänglichkeit dieses Gesetzes zu Erklärung aller der im zweiten und dritten Buche der Newton'schen Optik beschriebenen sowohl, als einiger andern nicht von Newton erwähnten Erscheinungen im Einzelnen gezeigt. Noch mehr Genugthuung gewährt aber die Uebereinstimmung desselben mit andern Thatfachen, welche von neuen und besondern Classen von Erscheinungen dargeboten werden, und welche schwerlich mit einem ältern Gesetze so gut übereinstimmen würden, wenn dieses Gesetz irrig oder eingebildet wäre. Und diese Erscheinungen sind:

Die Farben von Fäden (fibres) und die Farben ungleicher gefüllter Platten, (of mixed plates).

Als ich die Erscheinung der feinen parallelen Lichtlinien beobachtete, welche man auf dem Rande eines Gegenstandes sieht, den man dem Auge so nahe hält, daß der größte Theil des Lichts eines entfernten leuchtenden Gegenstandes abgehalten wird, und welche von den bei der Beugung des Lichts schon bekannten Streifen verursacht werden, bemerkte ich, daß sie zuweilen mit viel breitem und viel deutlichem Farbenstreifen verbunden waren, und fand bald, daß diese breitem Streifen

durch die zufällige Dazwischenkunft eines Haares veranlaßt worden waren. Um sie deutlicher zu machen, gebrauchte ich ein Pferdehaar; aber sie waren alsdenn nicht mehr sichtbar. Mit einem wollenen Faden hingegen wurden sie sehr breit und sichtbar, und mit einem einfachen Faden des Seidenwurms nahm ihre Größe so zu, daß zwei oder drei von ihnen das ganze Gesichtsfeld einzunehmen schienen. Sie zeigten sich auf jeder Seite des Lichts in derselben Ordnung ausgebreitet, wie die Farben dünner Platten, die mittelst des durchgelassenen Lichts gesehen werden. Es fiel mir bei, daß ihre Ursache in der Zusammenkunft zweier Theile von Licht gesucht werden müsse, deren einer von dem Faden reflectirt, der andere nach derselben entgegengesetzter Seite herumgebogen und zuletzt beinahe in die Richtung des vorigen Theiles gebracht worden; daß nach dem Maasse, als beide Theile mehr von der geradlinigten Richtung abweichen, die Differenz der Länge ihrer Bahnen stufenweise immer größer werden und folglich die in solchen Fällen gewöhnliche Erscheinung einer Farbe hervorbringen werde; daß, wenn man es unter rechten Winkeln gebogen annimmt, die Differenz beinahe dem Durchmesser des Fadens gleich kommen, und daß diese Differenz folglich kleiner werden müsse, sobald der Faden dünner wird; und daß, indem die Anzahl der Streifen bei einem rechten Winkel kleiner wird, ihre Winkelentfernungen also größer und die ganze Erscheinung ausgebreiteter seyn

werde. Es war leicht zu berechnen, daß für das am wenigsten gebeugte Licht sich die Differenz der Bahnen (*the difference of the paths*) zu dem Durchmesser des Fadens sehr nahe verhalten werde, wie die Abweichung des Strahls in jedem Puncte von der geradlinigten Richtung zu dessen Entfernung von dem Faden.

Ich machte daher eine rechteckige Oeffnung in ein Kartenblatt und bog die Enden um, an welche ich ein Haar parallel mit der Seite der Oeffnung befestigte; als ich hierauf das Auge nahe an die Oeffnung brachte, erschien das Haar bei dem undeutlichen Sehen auf einer Fläche erweitert, auf welcher die Breite durch deren Entfernung von dem Haare und der Größe der Oeffnung, unabhängig von der jedesmaligen Oeffnung der Pupille bestimmt wird. Wenn das Haar der Richtung des Randes einer Kerze so nahe gebracht wurde, daß das gebeugte Licht in hinreichender Menge da war, um einen merklichen Effect zu bewirken, so fiengen die Streifen an zu erscheinen, und es war leicht, das Verhältniß ihrer Breite zur scheinbaren Breite des Haares zu schätzen, quer über dessen Bild sie sich ausbreiteten. Ich fand, daß sechs der hellsten rothen, beinahe gleichweit entfernten Streifen das ganze Bild einnahmen. Die Breite der Oeffnung war $\frac{1}{1000}$ und deren Entfernung vom Haare $\frac{1}{8}$ Zoll; der Durchmesser des Haares war kleiner als $\frac{1}{1000}$ Zoll; so genau als es sich thun liefs bestimmt, $\frac{1}{1000}$ Zoll. Hieraus hat man $\frac{1}{1000}$ für die Abweichung des ersten rothen Streifen in der Entfernung von

$\frac{1}{10}$; und da $\frac{1}{10} : \frac{1}{1000} = \frac{1}{100} : \frac{1}{10000}$ ist, $\frac{1}{1000}$ für die Differenz der Wege des rothen Lichts, wo es am dichtesten war. Das aus Newton's Versuchen hergeleitete Maass ist $\frac{1}{1000}$. Ich halte diese Uebereinstimmung, da bloß der Fehler ein Neuntheil dieser so kleinen Grösse ist, für vollkommen hinreichend, die Erklärung der Erscheinung vollständig zu bewähren und eine Wiederholung des Versuchs unnöthig zu machen; denn es finden sich hier verschiedene Umstände, welche es erschweren, das viel genauer zu berechnen, was der Erfolg einer Messung hätte seyn sollen.

Wenn eine Anzahl Fäden von einerlei Art, zum Beispiel eines gleichartigen Flockens Wolle, nahe vor das Auge gehalten werden, so sehen wir die Erscheinung von Höfen, welche das entfernte Licht umgeben; aber ihr Glanz und zugleich ihre Entstehung hängt von der Gleichförmigkeit der Dimensionen der Fäden ab; sie sind breiter, so wie die Fäden feiner sind. Es ist leicht einzusehen, daß sie die unmittelbaren Folgen von einer Zusammenkunft mehrerer Streifen von gleicher Grösse sind, welche, weil die Fäden alle denkbare Richtungen haben, den leuchtenden Gegenstand bei gleichen Entfernungen auf allen Seiten nothwendig umgeben und kreisförmige Streifen bilden müssen.

Man kann kaum zweifeln, daß die *farbigen atmosphärischen Höfe* von derselben Art sind. Ihre Erscheinung muß von der Gegenwart einer Menge Wassertheilchen von gleichen Dimensionen ab-

hängen, welche sich in gehöriger Lage in Ansehung des Lichts und des Auges befinden. Da es kein bestimmtes Maass der Grösse der Wasserkügelchen giebt, so können wir vermuthen, daß diese Höfe in ihren Durchmessern sehr veränderlich sind; wie auch Jordan beobachtet hat *), daß ihre Dimensionen außerordentlich veränderlich sind und daß sie sich häufig während der Beobachtung verändern.

Die *Farben ungleich gefüllter Platten* bemerkte ich zuerst, als ich vor einem Lichte durch zwei Stücken Tafelglas sahe, zwischen welchen ein wenig Feuchtigkeit war. Ich bemerkte eine Erscheinung von Streifen, welche den gewöhnlichen Farben dünner Platten ähnlich waren; und als ich auf die Streifen durch Reflexion sahe, fand ich diese neuen Streifen allezeit in derselben Richtung, als die andern Streifen, aber vielmal breiter. Als ich die Gläser mit einem Vergrößerungsglase untersuchte, bemerkte ich, daß an den Orten, wo man die Streifen sahe, die Feuchtigkeit mit Lufttheilen vermischt war, wodurch sie ein dem Thau ähnliches Ansehen erhielt. Ich vermuthete daher, daß die Farben denselben Ursprung, als die Farben der Höfe hätten: allein ich fand bei genauerer Untersuchung, daß die Ausbreitung der Luft- und Wassertheile gar nicht gleichförmig war, und daß also diese Erklärung nicht Statt finden konnte. Es war jedoch leicht, zwei Theile von Licht zu finden,

O 2

*) *Annalen J. 1804. St. 9. od. B. 18. S. 27. f. G.*

welche zu Hervorbringung dieser Streifen zureichen; denn da das durch das Wasser gegangene Licht sich in demselben mit einer Geschwindigkeit bewegt, welche von der Geschwindigkeit des Lichts verschieden ist, das durch die mit Luft gefüllten Zwischenräume geht; so werden sich die beiden Theile miteinander vermischen und nach dem allgemeinen Gesetze Effecte von Farben hervorbringen. Das Verhältniß der Geschwindigkeiten in Wasser und Luft ist 3 zu 4; die Streifen müssen daher erscheinen, wenn die Dicke 6 mal so groß ist, als die, welche derselben Farbe bei dem bekannten Falle dünner Platten zukommt. Als ich den Versuch mit einem Planglase und einem wenig convexen Glase machte, fand ich wirklich den sechsten dunkeln Kreis von demselben Durchmesser, als den ersten bei den neuen Streifen. Die Farben werden auch sehr leicht hervorgebracht, wenn man Butter oder Talk anstatt Wasser nimmt; die Ringe werden alsdann wegen der mehreren brechenden Dichtigkeit der Fettigkeit kleiner; wenn man aber Wasser hinzuthut, daß es die Zwischenräume zwischen dem Fette ausfüllt, so werden die Ringe sehr erweitert; denn hier kommt bloß die Differenz der Geschwindigkeiten im Wasser und Fett in Betrachtung, welche viel kleiner als die Differenz in Luft und Wasser ist. Alle diese Umstände sind hinreichend, uns wegen der Wahrheit der Erklärung zu beruhigen, und sie wird noch mehr bestätigt, wenn man die Platten gegen die Richtung des Lichtes neigt:

denn alsdann werden diese Ringe zusammengezogen, anstatt sich, wie bei den Farben dünner Platten, zu erweitern. Dieses ist die leicht begreifliche Folge einer Vergrößerung der Länge der Bahnen des Lichts, welches nun beide Mittel schief durchschneidet, und ist ganz derselbe Effect, als der bei dickern Platten.

Es ist jedoch zu bemerken, daß die Farben nicht in allem Lichte entstehen, das durch die Mittel gegangen ist; nur ein kleiner Theil eines jeden Strahlenpincels, welcher durch das den Rand des Theilchens berührende Wasser gehet, ist hinreichend in Verbindung mit dem Lichte, das durch die benachbarten Theile Luft gehet, die nöthige Vermischung hervorzubringen. Auch läßt sich leicht beweisen, daß wegen der natürlichen Hohlung der Fläche eines jeden Theils der Flüssigkeit, welche den beiden Glaslücken anhängt, ein beträchtlicher Theil von dem Lichte, indem es anfängt hindurch zu gehen, durch Reflexion bei dessen Eintritt werde seitwärts verbreitet und viel von dem durch die Luft gehenden Lichte durch Brechung bei der zweiten Fläche werde zerstreuet werden. Aus dieser Ursache sieht man die Streifen, wenn sich die Platten nicht gerade zwischen dem Auge und dem leuchtenden Gegenstande befinden, und man siehet sie eben wegen Abwesenheit des abgeforderten Lichts viel deutlicher, als wenn sie mit diesem Gegenstande in gerader Linie liegen. Wenn man die Platten aus dieser Linie sehr weit entfernt, so sind

die Ringe noch sichtbar und werden größer, als vorher: denn hier ist der wirkliche Weg des Lichts, welches durch die Luft gehet, länger, als der Weg des durch das Wasser schiefer gehenden Lichts, und die Differenz der Zeiten des Durchgangs ist kleiner. Jedoch kann man unmöglich in Anlehnung der Ursachen dieser kleinen Abweichungen ganz sicher seyn, ohne sich etwas genau von der Gestalt der zerstreuen Flächen versichert zu haben.

Bei Anwendung des allgemeinen Gesetzes der Vermischung auf diese Farben sowohl, als auf die schon bekannten von dünnen Platten, muß man bekennen, daß es unmöglich ist, eine andere Voraussetzung zu geben, als welche einen Theil der wellenförmigen Schwingungs - Theorie ausmacht, daß nämlich die Geschwindigkeit des Lichts desto größer ist, je dünner das Mittel ist: und daß noch eine zweite Bedingung zur Erklärung der Farben dünner Platten hinzukommt, welche einen andern Theil derselben Theorie in sich faßt, nämlich daß, wo ein Theil des Lichts an der Fläche eines dünnern Mittels reflectirt worden ist, man es um die Hälfte des eigentlichen Zwischenraums langsamer annehmen muß; zum Beispiel bei dem schwarzen Central - Flecke einer Seifenblase, wo die wirklichen Längen der Wege sehr nahe übereintreffen, wo aber der Erfolg derselbe ist, als wenn einer von den Theilen so verzögert worden wäre, daß er den andern zerstört. Erwägt man diese Umstände, so kann man voraussetzen, daß,

wenn zwei Reflexionen von einerlei Art an den Flächen einer dünnen Platte vor sich gehen, deren Dichtigkeit die mittlere zwischen den Dichtigkeiten der enthaltenen Mittel ist, der Erfolg der entgegengesetzte seyn, und der Central-Fleck, anstatt Schwarz, weiß erscheinen werde. Ich habe jetzt das Vergnügen, diese Vorherfügung völlig bestätigt zu haben, indem ich einen Tropfen Sassafras-Öhl zwischen ein Prisma von Flintglas und einer Linse von Kronglas brachte; der durch reflectirtes Licht gesehene Central-Fleck war weiß und von einem dunkeln Ringe umgeben. Man muß jedoch einige Kraft anwenden, um eine hinlänglich genaue Berührung zu bewirken; auch weicht der weiße Fleck eben so viel von dem vollkommenen Weiß ab, als der dunkle Fleck gewöhnlich von dem vollkommenen Schwarz verschieden ist.

Die Farben der ungleich gefüllten Platten haben mich auf einen Gedanken gebracht, welcher auf eine *Erklärung der Farbenzerstreuung bei der Refraction* zu führen scheint, die einfacher und genugthuender ist, als welche in meiner letzten Baker'schen Vorlesung empfohlen wird. Wir können annehmen, daß jedes brechende Mittel die lichtgebenden Wellenschläge in zwei besondern Theilen hindurchläßt, wovon der eine durch seine Grenztheilchen, der andere durch seine Zwischenräume geht, und daß diese Theile nach jeder nach und nach erfolgten Trennung sich im-

merfort wieder vereinigen, wobei der eine dem andern um einen sehr kleinen, aber beständigen Raum vorangegangen ist, welcher von der regelmäßigen Anordnung der Theile eines gleichartigen Mittels abhängt. Wären nun diese Theile allezeit gleich, so würde jeder bei ihrer Vereinigung entstandene Durchschnittspunct sich allezeit in der Mitte zwischen den Oertern des zugehörigen Durchschnittspunctes der abgeforderten Theile befinden; setzt man aber, der vorausgehende Theil sey kleiner, so wird der letzt vereinigte Wellenschlag weniger vorgerückt seyn, als wenn beide gleich gewesen wären, und die Differenz ihres Ortes wird nicht bloß von der Differenz der Längen der beiden Wege, welche für alle Wellenschläge beständig ist, sondern auch von dem Gesetze und der Größe dieser Wellenschläge abhängen. So werden die größern Wellenschläge nach jeder Wiedervereinigung etwas weiter vorrücken, als einer der kleinern, und da dieselbe Verrichtung bei jedem Theile des Mittels wiederholt wird, so wird der ganze Fortgang der größern Wellenschläge geschwinder, als bei den kleinern, und zu Folge der Verzögerung der Bewegung des Lichts in einem dichtern Mittel, die Abweichung größer bei den kleinern, als bei den größern Wellenschlägen seyn. Wenn ich das Gesetz der musikalischen Linie für die Bewegung der Theile annehme, so läßt sich ohne Schwierigkeit diese Vermuthung mit der Erfahrung vergleichen: aber um meine Schlüsse mit Sicherheit zu machen, muß ich mich

mit sehr genauen Maassen der brechenden und zerstreuenden Kräfte verschiedener Materien für alle Arten Strahlen versehen.

Des Dr. Wollaston's sehr schätzbare Bemerkungen leisten bei dieser Untersuchung vielen Beistand, wenn man sie mit der Trennung der Farben durch dünne Platten vergleicht. Ich habe seine Versuche mit dem Farbenbilde mit sehr gutem Erfolge wiederholt und einige Versuche gemacht, mir vergleichende Maasse von dünnen Platten zu verschaffen, und habe gefunden, daß, wie Newton schon bemerkt, das blaue und violette Licht durch Brechung mehr, als nach Verhältniß der zugehörigen Dimensionen zerstreuet wird, die man aus den Erscheinungen bei dünnen Platten herleitet. Daher geschieht es, daß, wenn eine Lichtlinie, welche ein Bild von Farbenringen dünner Platten bildet, mit einem Prisma aufgefangen wird, und ein vollkommenes Bild darstellt, das der von Newton nach der Theorie gezeichneten Skale, um die Farben der Theile von gegebenen Dimensionen zu schätzen, ähnlich ist, die schiefen Bilder, welche von den verschiedenen Farben jeder Reihe dargestellt werden, nicht gerade, sondern gekrümmt sind, indem die Seitenrefraction des Prisma das violette Ende mehr ausbreitet, als das rothe. Die Dicken, welche dem äußersten Roth, der gelben Linie, dem schönen Grün, dem schönen Blau und dem äußersten Violet zukommen, fand ich im umgekehrten Verhältnisse mit den Zahlen 27, 30, 35, 40 und 45. Vergleicht

man des Dr. Wollaston's Verbesserung der Zeichnung des prismatischen Farbenbildes, mit diesen Beobachtungen, so wird es nöthig, die Voraussetzung, welche ich in der letzten Baker'schen Vorlesung in Rücksicht auf die Verhältnisse der mitleidenden Fibern der Netzhaut gemacht habe, dahin zu verbessern, daß Roth, Grün und Violet statt Roth, Gelb und Blau, und die Zahlen 7, 6 und 5 statt 8, 7 und 6 gesetzt werden.

Dieselbe Analyse der prismatischen Farben dünner Platten scheint eine hinreichende Erklärung der Zertheilung des Lichts am untern Theile einer Kerze darzubieten; denn es wird in der That das Licht, das durch einen jeden Theil der dünnen Platte gehet, auf eine ähnliche Art in abgeforderte Theile getheilt, deren Anzahl mit der Dicke der Platte wächst, bis sie zu klein werden, um sichtbar zu seyn. Bei der Dicke, welche dem neunten oder zehnten Theile des rothen Lichtes zugehört, giebt es fünf Theile verschiedener Farben, deren Verhältnisse, bei ihrer Refraction, beinahe dieselben wie bei dem Kerzenlichte sind, wo Violet am breitsten ist. Wir haben nur anzunehmen, daß jeder Talgtheil bei dem ersten Zerfließen desselben solche Dimensionen habe, um denselben Erfolg, wie bei dünnen Platten die Luft in diesem Punkte, wo die Dicke $\frac{1}{10000}$ eines Zolls beträgt, zu bewirken, und um das durch angefangene Verbrennung um dem Dachte entstandene gemischte Licht zu reflectiren oder vielleicht lieber hindurchzulassen, und wir ba-

ben ein Licht, welches vollkommen dem gleich ist, welches Dr. Wollaston beobachtet hat. Es erscheint auch daselbst eine feine Linie eines starken gelben Lichtes, das sich von der ganzen Erscheinung unterscheidet, welches vorzüglich von der meistens oberflächlichen Verbrennung am Rande der Flamme entspringt und sich vermehrt, so wie die Flamme aufsteigt. Aehnliche Umstände möchten sich ohne Zweifel bei andern Fällen der Entstehung oder Abänderung des Lichts finden lassen, und es dürften die Versuche über diesen Gegenstand größtentheils zu Bestätigung der Newton'schen Meinung dienen, daß die Farben aller natürlichen Körper bei ihrer Entstehung denen der dünnen Platten ähnlich sind; eine Meinung, welche der Scharfsinnigkeit ihres Urhebers zur größten Ehre gereicht und uns einen ansehnlichen Schritt weiter führt zur Kenntniß der innern Beschaffenheit und Einrichtung feiner Materien.

Vor kurzem habe ich Gelegenheit gehabt, meine vorigen Bemerkungen, über die *zerstreuenden Kräfte des Auges* zu bestätigen. Ich finde nämlich, daß die Strahlen des äußersten Roth und äußersten Violet in den ihnen zugehörigen Entfernungen von 10 und 15 Zoll auf gleiche Art gebrochen werden, indem die Differenz durch eine Brennweite von 30 Zoll ausgedrückt wird. Nun ist der Zwischenraum zwischen Roth und Gelb ungefähr ein Vierteltheil des ganzen Farbenbildes, folglich drückt die Brennweite von 120 Zoll eine Kraft aus, welche der Zer-

streuung des Rothen und Gelben gleich ist, und welche von 152, das bei der schon beschriebenen Beobachtung herauskam, nur wenig abweicht. Ich weiß nicht, ob diese Versuche genauer als einer der vorhergehenden sind; ich habe sie aber zu verschiedenen Zeiten und unter verschiedenen Umständen wiederholt, und zweifle daher nicht, daß die Zerstreuung des farbigen Lichts in dem menschlichen Auge beinahe die angegebene sey. Ob sie vielleicht nicht etwas größser seyn dürfte, kann ich jetzt zu erweisen nicht unternehmen).

*) Dem tiefkönnigen Vortrage des Professors Young mangelt es nicht selten an Klarheit, hin und wieder auch an der Präcision des Ausdrucks, welche man an mathematischen Naturforschern gewohnt ist; die meisten Dunkelheiten, auf die der Leser gestoßen seyn dürfte, sind dem Originale eigen. Dessen ungeachtet schienen mir diese Arbeiten für den, der über die Natur und die Gesetze der Farben nachdenkt, interessant genug zu seyn, um in den *Annalen der Physik* eine Stelle zu verdienen, zu einer Zeit, da dieser Gegenstand von mehreren Seiten her aufs neue in Anregung gebracht wird. Noch zwei mit dem gegenwärtigen genau zusammenhängende Aufsätze folgen im nächsten Stücke. — Herr von Guethe (*Zur Farbenlehre*, Tübingen 1810.) sind Young's Versuch einer Theorie des Lichts und der Farben nach dem Schwingungs-Systeme, und die Aufsätze, welche sich daran schliessen, unbekannt geblieben, so interessant sie ihm auch durch ihren Anti-Newtonianischen Sinn gewesen seyn würden. Hätte er die *Annalen der Physik*, die schon bis zu dem 30sten Bande angewachsen waren, einer Ansicht gewürdigt, als er Materialien zur Geschichte eines physikalischen Gegenstandes (der Farbenlehre) zusammentrug, so würde er in ihnen (B. 22.) die frühern Untersuchungen Young's über Schall und Licht, an welche sich die gegenwärtigen anschließen, auch (B. 18.) mehrere von Jordan's merkwürdigen Versuchen über Licht und Farben gefunden haben. Gilbert.