

der Ton verschwindet sogar gänzlich, sobald die Umdrehungsgeschwindigkeit sehr groß wird, ohne Zweifel, weil alsdann die Schläge nicht mehr rein genug ansprechen.

Mit einem Wort, es scheint unumgänglich, wenn wir die Empfindung eines vollen und anhaltenden Tons bekommen sollen, daß die auf das Gehörorgan gemachten Eindrücke um eine gewisse Größe in einander greifen. Diefs ist wahrscheinlich die Ursache, weshalb man den Durchmesser des Rades in dem Maasse vergrößern muß, als man höhere Töne erzielen will, weil man dadurch nur die Dauer des Eindrucks eines jedes Schlages verändert. Aus dem umgekehrten Grunde scheint es auch nicht zweifelhaft, daß man tiefere Töne, als die aus 30 bis 32 einfachen Schwingungen in der Secunde erfolgenden, wahrnehmen würde, wenn man ein Mittel fände, Schläge hervorzubringen, deren Eindrücke länger als ein Sechzehntel der Secunde anhielten.

Ich schliesse mit der Bemerkung, daß die Töne, welche sich mit gezähnten Rädern hervorbringen lassen, mit Vortheil angewandt werden können, um, bei vielen Maschinen, die Zahl der Umläufe der Axen zu bestimmen und sich von der Gleichförmigkeit ihrer Umdrehung zu überzeugen. Die Anwendung dieses Verfahrens ist so einfach, daß ich es für überflüssig halte, darüber weiter in Detail einzugehen.

IX. *Ueber einige Eigenschaften der vom Lichte auf das Gesichtsorgan hervorgebrachten Eindrücke; von J. Plateau.*

(*Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière etc., par J. Plateau de Bruxelles. Liège 1829.*)

Jedermann weiß, daß man, wenn eine glühende Kohle rasch im Dunkeln herumgeschwenkt wird, eine leuchtende
Curve

Curve sieht, gleich als wenn die Kohle das Geleise ihrer Bahn in der Luft zurückgelassen hätte. Diese Thatsache beweist, daß die Eindrücke des Lichts auf unser Auge eine gewisse Dauer besitzen, und noch nach Verschwindung des Gegenstandes, welcher sie erzeugte, einige Zeit hindurch beharren. Man kann sich übrigens direct von dieser Wahrheit überzeugen, wenn man ein in Sonnenschein liegendes Stück weißes Papieres betrachtet, und nun schnell die Augen schließt; man sieht dann das weiße Bild des Papiers noch eine sehr geraume Zeit.

Es ist der Gedanke natürlich, daß diese Eindrücke an Dauer und Stärke verschieden sind, je nach der Stärke und der Farbe des Lichts, welches sie hervorbrachte. Daher ist es hier meine Absicht, die Eindrücke, welche von den verschiedenen Farben hervorgebracht werden, in Bezug auf ihre Dauer, ihre Stärke und ihre Wirkung auf einander zu untersuchen.

Nimmt man an, daß unsere Kohle einen Kreis beschreibe, so ist es offenbar hinreichend, damit der ganze Kreis leuchtend erscheine, daß die Kohle auf jeden Punkt ihrer Bahn genau in dem Moment zurückkehre, wo der Eindruck, den ihr vorhergehender Aufenthalt daselbst erzeugte, verschwindet. Nicht minder klar ist, daß, wenn es gelänge der Kohle genau diese Geschwindigkeit zu geben, die Dauer eines ganzen Umlaufs gleich seyn würde der eines Eindrucks. Es scheint daraus zu folgen, daß man, um die Dauer des Eindrucks, den ein kleiner Gegenstand auf unser Gesichtsorgan macht, zu messen, diesem Gegenstande nur eine Kreisbewegung zu ertheilen, und dieselbe allmählig so weit zu beschleunigen brauche, bis das scheinbare Geleise des Gegenstandes einen vollständigen Kreis bilde; die Dauer dieses Umlaufs, deren Bestimmung sich ohne Schwierigkeit aus der Zahl der in einer gegebenen Zeit beschriebenen Umläufe ergibt, würde dann die Dauer des Eindrucks seyn.

Durch dieses Mittel eben suchte der Ritter d'Arcy

(*Mém. de l'Acad.* 1765.) die Dauer des von einer glühenden Kohle erzeugten Eindrucks zu bestimmen, und er fand sie ≈ 8 Terzien oder $0'',133$; auch hatte derselbe Physiker zur Absicht, ähnliche Versuche mit nichtleuchtenden, aber von starkem und verschiedenartig gefärbtem Lichte beleuchteten Gegenständen anzustellen. Thomas Young (*A Course of lectures on natural philosoph.* T. 1. p. 455.) behauptet, ohne indess einen Versuch anzuführen, daß die Dauer der Lichteindrücke auf die Netzhaut gewöhnlich $0'',01$ bis $0'',5$ und mehr betrage; er sagt, diese Dauer scheine desto beträchtlicher zu seyn, je stärker das Licht sey, welches die Eindrücke erzeuge.

Ich versuchte die Dauer bei verschiedenartig gefärbten und vom gewöhnlichen Tageslicht beleuchteten Gegenständen durch das d'Arcey'sche Verfahren zu bestimmen; allein schon bei den ersten Schritten stiefs ich auf die folgenden Schwierigkeiten.

1) Die Eindrücke, wie sich auch natürlich voraussetzen läßt, verschwinden von dem Maximum ihrer Stärke ab nicht plötzlich, sondern allmählig, so daß es unmöglich ist, den Augenblick zu bestimmen, wann sie vollständig erlöschen. Diefs wird völlig durch die Erfahrung bestätigt. Man gebe einem Stücke weissen Papiers eine Kreisbewegung, jedoch keine so rasche, daß ein vollständiger Kreis erscheint; das Papier scheint sich zu verlängern, so daß es auf der von ihm beschriebenen Curve einen größeren Raum einnimmt, und das hintere Ende dieses verlängerten Bildes ist nicht scharf begränzt, wie es seyn müßte, wenn die Lichteindrücke plötzlich verlöschten, sondern fließt allmählig mit dem Grund zusammen, auf welchem man es sieht *). Es folgt daraus, daß wir der Hoffnung, genaue Resultate zu erhalten, entsagen müssen; wir können nur beiläufig die Zeit bestimmen, während

*) Am zweckmässigsten stellt man diesen Versuch mit dem weiterhin beschriebenen Instrumente und mit einem Stück Papier von der Form Fig. 11. Taf. III. an.

welcher die Eindrücke eine etwas merkliche Stärke behalten.

2) Aus dieser Schwierigkeit entspringt eine andere. Der Gegenstand, der sich im Kreise bewegt, trifft an jedem Punkte seines Laufs den vorhergehenden Eindruck beträchtlich geschwächt an; mithin wird ein jeder Punkt des Kreises eine fortdauernde Folge von starken und schwachen Lichtern darbieten. Daraus entspringt ein Zittern, eine Art von Vibration, welche das Auge ermüdet, und die genaue Bestimmung der dem Gegenstande zu gebenden Geschwindigkeit recht schwierig macht.

3) So wie eine gewisse Zeit erforderlich ist, damit ein einmal gebildeter Eindruck vollständig verschwinde, eben so bedarf derselbe auch einer gewissen Zeit zu seiner vollen Bildung. Daraus folgt, daß der Gegenstand, welcher sich im Kreise bewegt, sehr wohl nur einen unvollkommenen Eindruck hervorbringen könnte, so daß die Dauer dieses Eindrucks, wie sie von *einem* Umlauf gegeben wird, geringer wäre, als die Dauer eines vollständigen Eindrucks.

Ich habe versucht, den Einfluß dieser drei Hauptschwierigkeiten möglichst zu verringern, und werde nun die dazu angewandten Mittel und die Verfahrungsweise beschreiben.

Das Instrument, dessen ich mich bediente, besteht, wie das von d'Arcy, aus einem System von verticalen Rädern, die so von Gewichten in Bewegung gesetzt werden, daß das letzte Rad eine beträchtliche Geschwindigkeit erlangen kann, während die des Rades mit dem Gewichte nur sehr gering ist. Die Axe jenes Rades trägt einen Zeiger mit einer Pincette am Ende, bestimmt die Gegenstände zu halten. Durch Vermehrung oder Verminderung der Gewichte kann man dem Zeiger alle möglichen Grade von Geschwindigkeit ertheilen, und seine Bewegung, die in den ersten Augenblicken eine beschleunigte ist, wird nach einigen Minuten gleichförmig, weil

die Reibung und andere Widerstände mit der Geschwindigkeit wachsen, und endlich die von der Schwerkraft bewirkte Beschleunigung zerstören. Das Instrument war überdies, zur Regulirung seines Ganges, mit einem Windfang versehen, und der ganze Apparat wurde in der Höhe des Auges in einiger Entfernung dem Fenster gegenüber aufgestellt. Da das Ende des Zeigers einen Kreisumfang beschrieb, und alle wünschenswerthe Grade von Geschwindigkeit erlangen konnte, so befand sich der farbige Gegenstand unter den erforderlichen Bedingungen. Um die Dauer eines Umlaufs desselben zu bestimmen, brauchte man nur das Instrument eine bestimmte Zeit hindurch gehen zu lassen, und die Umläufe eines der ersteren Räder, dessen Geschwindigkeit nur unbedeutend war, zu zählen; aus der Zahl der Zähne auf den Rädern und Getrieben, ergab sich dann die Zahl der Umläufe des letzten Rades, und diese Zahl, durch die Zeit dividirt, war dann die Dauer *eines* Umlaufes.

Um die erste der genaunten Schwierigkeiten möglichst zu beseitigen, stellte ich hinter dem Zeiger eine Pappscheibe auf, überzogen mit schwarzem Sammt, als der Substanz, die den möglichst dunkelsten Grund darbot, und folglich am besten geeignet war, die letzten Abstufungen der Eindrücke wieder zu geben.

Was die zweite Schwierigkeit betrifft, so wufste ich zur Verminderung ihres Einflusses kein anderes Mittel, als: jeden Versuch oftmals zu wiederholen und aus den verschiedenen Resultaten das Mittel zu nehmen. Bei diesem Verfahren hatte ich auch die Absicht, die aus dem Instrumente entspringenden Unregelmäßigkeiten zu berichtigen.

Die dritte Schwierigkeit kann man vollständig heben, wenn man dem gefärbten Gegenstand eine beträchtliche Breite giebt. Allein dabei muß bemerkt werden, daß die Dauer eines Eindrucks dann nicht mehr gleich ist der eines Umlaufs, wie bei Anwendung eines kleinen Gegenstan-

des, wo man die Breite ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann. Offenbar muß man hier von der Dauer eines Umlaufs die Zeit abziehen, welche zwischen den Durchgängen der beiden Enden des Gegenstandes durch einen Punkt im Kreise verfließt; nähme der Gegenstand z. B. ein Viertel des Kreisumfangs ein, so würde die Dauer des Eindrucks gleich seyn drei Vierteln der Dauer eines Umlaufs. Dieß Verfahren hat, nach mir, zwei Vortheile. Erstlich bleibt der Gegenstand, ist er breiter; länger vor dem Auge und dadurch wird der Eindruck vollständig. Zweitens, wenn die Dauer eines Umlaufs größer ist als die eines Eindrucks, ist die Geschwindigkeit des Gegenstandes geringer, und die Aufeinanderfolge der starken und schwachen Lichter weniger rasch, wodurch das Auge weniger geblendet wird und mit größerer Sicherheit unterscheiden kann, wann mit der Erhöhung der Geschwindigkeit eingehalten werden muß.

Zu meinen Versuchen bediente ich mich gefärbter Papierstreifen von der Form Fig. 11. Taf. III., begrenzt durch zwei Kreisbogen, die ihre Mittelpunkte auf der Axe des Zeigers hatten, und durch zwei Radien, die einen rechten Winkel mit einander bildeten. Die Versuche wurden mit weißem, gelbem, rothem und blauem Papier angestellt *), und gaben für die Dauer eines Eindrucks, in Sexagesimalsecunden, folgende Resultate:

| Weißs. | Gelb. | Roth. | Blau. |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| 0",34 | 0",36 | 0",33 | 0",31 |
| 0,33 | 0,36 | 0,37 | 0,30 |
| 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,34 |
| 0,35 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
| 0,36 | 0,36 | 0,35 | 0,34 |
| 0,37 | 0,34 | 0,32 | 0,36 |
| <hr/> Mittel 0",35 | <hr/> 0",35 | <hr/> 0",34 | <hr/> 0",32 |

*) Die Papiere waren gefärbt mit Gummirot, Carmin und Berlinerblau. Dieselben Farben gebrauchte ich zu allen meinen Versuchen.

Das Erste, was beim Anblick dieser Resultate nicht entgehen kann, ist die große Verschiedenheit derselben von denen d'Arcy's. Eine glühende Kohle, im Dunkeln gesehen, scheint in der That eine stärkere Wirkung auf die Netzhaut ausüben zu müssen, als ein dem gemeinen Tageslicht ausgesetztes Stück weissen Papiers, und dennoch ist der Eindruck von jener nur 0",13, der von diesem aber 0",35! wie ist diess zu erklären? Ich bin zu glauben geneigt, dafs d'Arcy nicht Acht gab auf die allmähige Abnahme der Eindrücke, und dafs er die Geschwindigkeit so weit vermehrte, bis er einen leuchtenden Ring von gleichförmigem Glanze erhielt; wirklich erwähnt er auch dieser Abnahme nicht, und er sagt nur an einer Stelle, dafs der Ring in seiner ganzen *Gleichheit* erschienen sey. Vielleicht, dafs die Kohle auch nur eine geringe Breite hatte, und deshalb nur einen unvollständigen Eindruck machte, dessen Dauer also kürzer als die eines vollständigen Eindrucks seyn mußte; vielleicht auch, dafs die Empfindlichkeit der Augen im Dunkeln eine andere ist. Wie dem auch sey, so können doch die Resultate, welche wir erhielten, nur als Annäherungen betrachtet werden; sie sind, wie wir eben gesehen, mit zu vielen Fehlerquellen umgeben, und aus einer zu geringen Zahl von Versuchen abgeleitet, als dafs sie ganz richtig seyn könnten. Sie zeigen indefs, dafs das Weifs und das Gelb die dauerndsten Eindrücke hervorbringen, dafs dann das Roth und endlich das Blau folgt. Jedoch sind die Unterschiede so gering, dafs man ihnen kaum trauen darf, vor allem, wenn man erwägt, wie stark die einzelnen Resultate, die das Mittel gaben, von einander abweichen. Glücklicherweise werden wir bald neue Resultate sehen, die, wenigstens in Bezug auf die Rangordnung der Farben, die Wahrscheinlichkeit der vorliegenden erhöhen.

Die folgenden Versuche sind einer gröfseren Genauigkeit fähig und, wenn sie uns auch nicht zum Werthe der Dauer der Lichteindrücke führen, liefern sie uns doch

Angaben über die relative Stärke derselben und über das Gesetz, nach welchem die einmal gebildeten Eindrücke abnehmen.

Man theile eine Papierscheibe (Fig. 12. Taf. III.) in eine gewisse Anzahl gleicher Sectore, z. B. in 24, und schlage zwei concentrische Kreise, so dafs von jedem Sector ein krummliniges Trapez, wie *abcd* abgeschnitten wird. Zwölf dieser Trapeze streiche man mit irgend einer Farbe an, und die übrigen zwölf schwärze man, so dafs jede gefärbte Fläche sich zwischen zwei schwarzen befinde. Noch besser ist es, die letzteren Flächen auszuschneiden, und hinter der Scheibe ein mit schwarzem Sammt überzogenes Pappstück anzubringen. Befestigt man nun die Scheibe an das Instrument, so dafs ihr Mittelpunkt auf der Axe des letzten Rades liegt, so drehet sich der ringförmige Raum zwischen den beiden concentrischen Kreisen in sich selbst, und die gefärbten und dunklen Felder folgen einander mit Schuelligkeit. Bei unbeträchtlicher Geschwindigkeit gewahrt das Auge, welches sich vor dem Instrumente befindet, nur ein Zittern, eine rasche Folge von hellen und dunklen Lichtern. Vermehrt man aber diese Geschwindigkeit, so nimmt diese Verwirrung ab, und man gelangt endlich zu einem Punkt, wo ein gleichförmiger Farbenton erscheint. Alsdann zeigt sich der ganze Raum, welcher in schwarze und gefärbte Felder getheilt ist, vollkommen schlicht, und seine Farbe ist der gleich, welche aus einer Vermengung von Schwarz mit der Nüance der gefärbten Felder entstehen würde. Sind die schwarzen Felder ausgeschnitten, so erscheint die Scheibe durchsichtig, und Gegenstände, die man zwischen der Scheibe und dem schwarzen Sammt aubringt, sind wie durch einen gefärbten Schleier sichtbar.

Suchen wir, bevor wir weiter gehen, den Grund dieser Erscheinungen auf. Am natürlichsten bietet sich die folgende Erklärung dar. Wenn die Geschwindigkeit einen gewissen Grad erreicht hat, so ist die Zeit, welche

zwischen den einander folgenden Durchgängen zweier gefärbten Felder vertieft, zu klein, als daß der Eindruck, den das erste Feld erzeugte, schon merklich abgenommen haben sollte, wenn das zweite anlangt; die Eindrücke folgen einander ohne Unterbrechung und ohne Abnahme, und daher kann das Auge nur einen gleichförmigen Farbenton wahrnehmen. Allein, warum zieht sich dieser gleichförmige Farbenton in's Schwarze, wenn die Eindrücke nicht merklich geschwächt sind? Darum, weil jedes gefärbte Feld mit zu großer Schnelligkeit vor dem Auge vorüber geht, um einen vollständigen Eindruck zu hinterlassen; der unvollständige Eindruck, welchen es erzeugt, verbleibt ohne merkliche Änderung bis zur Ankunft des folgenden Feldes, und während dieses vorüber geht, erlischt der vorhergehende Eindruck und ein zweiter bildet sich, und so fort. Was die Durchsichtigkeit des gleichförmigen Farbentons betrifft, so erklärt auch sie sich leicht. Sind die schwarzen Felder ausgeschnitten, so wird ein Gegenstand, der sich hinter der Scheibe befindet, durch die vorübergehenden Oeffnungen und gefärbten Felder abwechselnd sichtbar und verdeckt. Er muß also auf der Netzhaut eine Reihe von Eindrücken hervorbringen, welche, wenn die Geschwindigkeit beträchtlich ist, nur einen einzigen, aber unvollkommen bilden, der sich mit dem der gefärbten Felder combinirt.

Unterwerfen wir jetzt die verschiedenen Farben diesem Versuche und suchen für jede derselben genau die Geschwindigkeit, welche zur Hervorbringung eines gleichförmigen Farbentons nöthig ist *). Diese Geschwindigkeiten sind sehr verschieden, wie es die Resultate der folgenden Tafel beweisen, welche ich bei Anwendung von

*) Ich verstehe hierunter die Geschwindigkeit, welche man erhält, wenn man das den Apparat in Bewegung setzende Gewicht stufenweis vermehrt, bis der Farbenton gleichförmig geworden ist, und dann genau bei diesem Punkt einhält.

Scheiben mit zwölf schwarzen und zwölf gefärbten Feldern erhielt. Sie drücken die Dauer eines Umlaufs aus;

| | Weifs. | Gelb. | Roth. | Blau. |
|--------|--------|--------|--------|---------|
| | 0",191 | 0",201 | 0",248 | 0",323 |
| | 0,194 | 0,201 | 0,230 | 0,295 |
| | 0,198 | 0,202 | 0,227 | 0,264 |
| | 0,182 | 0,192 | 0,224 | 0,297 |
| Mittel | 0",191 | 0",199 | 0",232 | 0",295. |

Diese Resultate sind, wie man sieht, die umgekehrten von den S. 309.; sehen wir, was sich aus ihnen folgern läßt. Da jede Scheibe 24 Felder enthielt, so ist klar, daß man die Dauer eines Umlaufs nur durch 24 zu dividiren braucht, wenn man den Zeitraum zwischen den Durchgängen zweier auf einander folgender gefärbter Felder, oder, mit anderen Worten, die Zeit, während welcher ein Eindruck sich ohne merklichen Verlust erhält, haben will. Nun zeigt der Anblick obiger Mittelwerthe, daß man hierdurch Zahlen erhält, die vom Weissen zum Blauen hin zunehmen, und daraus folgt, daß der Eindruck des Blauen länger ohne merkliche Abnahme beharrt als der des Rothen, dieser wieder länger als der des Gelben, und noch viel länger als der des Weissen. Länger ohne merkliche Abnahme beharren, heißt aber offenbar dasselbe, als weniger rasch abnehmen. Folglich sind wir zu dem sonderbaren und mit dem auf S. 309. scheinbar im Widerspruch stehenden Resultat gekommen, daß die Eindrücke mit einer ungleichen Schnelligkeit abnehmen, und daß die Farben in dieser Beziehung folgendermaßen geordnet werden müssen:

Blau, Roth, Gelb, Weifs.

Der Eindruck des Blauen nimmt langsamer, der des Weissen schneller ab.

Wenn aber der Eindruck des Blauen z. B. langsamer erlischt als der des Rothen, darf man daraus schließen, daß die Gesamtdauer desselben länger als die des

letzteren sey, daß demnach die Resultate auf S. 309. unrichtig seyen? Ich glaube es nicht. Das allmähliche Verschwinden eines Eindrucks ist der Uebergang des Organs aus einem zufälligen in seinen normalen Zustand. Wenn unorganische Körper ähnliche Uebergänge darbieten, wie z. B. beim Erkalten, beim Zerstreuen der Electricität in der Luft, so ist der Gang der Erscheinung im Allgemeinen um so langsamer, als die Körper sich weniger von ihrem normalen Zustand entfernen, während ihre gesammte Dauer um so unbedeutlicher ist. Von zwei ungleich erwärmten Körpern z. B. erkaltet der weniger heisse langsamer, kommt aber doch in kürzerer Zeit als der andere auf die Temperatur der äußeren Umgebung zurück. Wie mir scheint, kann man der Analogie nach ein ähnliches Verhalten für die Abnahme der Lichteindrücke annehmen, und dann werden alle Resultate erklärlich und übereinstimmend. Nimmt man nämlich an, wofür wir weiterhin mehr als einen Beweis finden werden, daß die Farben, in Bezug auf die Stärke der von ihnen erzeugten Eindrücke, in die Reihenfolge S. 309. gestellt werden müssen, vom Weiß, welches den stärksten Eindruck macht, bis zum Blau, welches den schwächsten erzeugt; dann folgt aus der obigen Analogie, daß der Eindruck des Weißen der dauerndste ist, aber mit der größten Geschwindigkeit abnimmt, daß der Eindruck des Gelben eine kürzere Dauer habe und auch weniger rasch abnehme; daß in dieser Ordnung der Eindruck des Rothem dem des Gelben folge, und endlich, daß der Eindruck des Blauen zugleich der kürzeste und der am langsamsten abnehmende ist. Diefes ist genau, was uns die Resultate auf S. 309. und S. 313. lehren *).

*) Nach den Resultaten auf S. 309. dauert zwar der Eindruck des Gelben eben so lang, als der des Weißen; allein da wir bald zeigen werden, daß das Weiß einen stärkeren Eindruck als das Gelb hervorbringt, so ist es höchst wahrscheinlich, daß zahlreichere Versuche uns einen geringen Unterschied zwischen der Dauer beider Eindrücke gegeben haben würden.

Allein wir können weiter gehen. Das über die Eindrücke der verschiedenen Farben Gesagte läßt sich auf die verschiedenen Zustände eines und desselben Eindrucks, der im Verlösehen begriffen ist, anwenden. Im ersten Moment wird die Abnahme sehr rasch seyn, weil der Eindruck noch sehr stark ist; allein so wie er an Kraft verliert, wird auch die Abnahme verlangsamt. Dasselbe geschieht auch beim Erkalten der Körper, und wird, wie ich hoffe, für die Lichteindrücke vollends durch die nachstehenden Versuche aufser Zweifel gesetzt.

Man theile zwei Scheiben *A* und *B* (Fig. 13. Taf. III.) in abwechselnd weisse und schwarze Sectore, und gebe den weissen Sectoren auf beiden Scheiben eine gleiche Breite, bringe sie aber in ungleicher Zahl an, so daß die schwarzen Zwischenräume auf der einen Scheibe breiter als auf der andern sind. Man lasse nun die beiden Kreise genau mit der Geschwindigkeit drehen, welche zur Hervorbringung eines gleichförmigen Farbentons erforderlich ist, wo dann, wie man sich erinnern wird, die Dauer des Vorübergangs eines Sectors gleich ist der Zeit, während welcher der Eindruck sich ohne merklichen Verlust erhält. Da die schwarzen Sectore auf der Scheibe *A* breiter sind als auf der Scheibe *B*, so wird die Geschwindigkeit der ersteren grösser als die der letzteren seyn müssen, damit die Schnelligkeit des Vorübergangs der Sectore die Breite derselben compensire; und dieß bestätigt auch die Erfahrung. Wenn aber die Scheibe *A* sich schneller als die Scheibe *B* dreht, so erzeugen die weissen Sectore der ersten einen unvollkommeneren und folglich schwächeren Eindruck im Auge als die zweiten, und dieß zeigt die Erfahrung dadurch, daß der gleichförmige Farbenton der Scheibe *A* viel dunkler ist als der der Scheibe *B*. Man sieht, daß wir uns durch dieses einfache Mittel zwei Eindrücke von gleicher Natur, d. h. aus gleicher Farbe entspringend, verschafft haben, die nur an Stärke verschieden sind, und an denen wir die Geschwin-

digkeit der Abnahme vergleichen können. Finden wir nun diese Geschwindigkeit ungleich, nämlich kleiner bei dem schwächeren Eindruck, so müssen wir daraus schliessen, daß ein und derselbe Eindruck rascher oder langsamer abnimmt, als er mehr oder weniger stark ist, und daß folglich, beim Erlöschen eines Eindrucks, der Gang der Abnahme sich verzögert, in dem Maasse als der Eindruck seinem Ende nahe kommt.

Um die Geschwindigkeiten der Abnahme zu vergleichen, braucht man nur für jede unserer Scheiben die Zeit zu suchen, während welcher der Eindruck ohne merklichen Verlust bestanden hat, d. h. die Dauer des Vorübergangs eines Sectors (die Rechnung bietet keine Schwierigkeit dar, weil man die Breite der Sectors und die Dauer eines ganzen Umlaufs kennt). Ich habe diese Zeit in einigen Fällen bestimmt, und beständig gefunden, daß dem Kreise, welcher den schwächeren Eindruck hervorbringt, eine längere Zeit, d. h. eine geringere Geschwindigkeit, der Abnahme entspricht. Wenn z. B. die schwarzen Sectors der Scheibe *A*, wie in der Figur 13., vier Mal so groß wie die der Scheibe *B* sind, so verhält sich die Zeit, während welcher der Eindruck ohne merklichen Verlust andauert, bei der Scheibe *A* zu der bei der Scheibe *B* wie 1 zu 0,76.

Bei nachfolgendem Versuch ist das Resultat noch auffallender. Man theile zwei Scheiben *A* und *B* (Fig. 14. Taf. III.) in schwarze und weiße Sectors, und zwar jede Scheibe in eine gleiche Anzahl, gebe aber auf einer Scheibe den weißen Sectors gegen die schwarzen, und auf der andern Scheibe den schwarzen Sectors gegen die weißen eine geringere Breite. Man drehe nun nach einander beide Scheiben genau mit der Geschwindigkeit, welche zur Hervorbringung eines gleichförmigen Farbentons erforderlich ist, und messe in beiden Fällen die Dauer eines Umlaufs. Wir werden diese Zeiten stets einander

gleich finden, wie ungleich auch die Breite der schwarzen und weissen Sectors ist.

Diese Thatsache liefert, wie mir scheint, einen recht überzeugenden Beweis von der Wahrheit des für die Abnahme der Eindrücke gefundenen Gesetzes. Denn erstlich folgt aus der Gleichheit der Geschwindigkeit beider Scheiben, daß die weissen Sectors von *A*, welche viel schmaler als die von *B* sind, einen weit schwächeren Eindruck als diese hervorbringen, und dies beweist auch der gleichförmige Farbenton, welcher bei der Scheibe *A* viel dunkler als bei der andern ist. Wir haben hier also zwei Eindrücke von gleicher Natur, aber ungleicher Stärke, deren Abnahme wir vergleichen können. Aus der Gleichheit der Geschwindigkeit beider Scheiben folgt ferner, daß die schwarzen Sectors von *A*, da sie breiter sind als die von *B*, eine längere Zeit als diese zu ihrem Vorübergange vor dem Auge gebrauchen, und daraus ergibt sich nothwendig, daß die Zeit, während welcher der Eindruck sich ohne merklichen Verlust erhält, bei der Scheibe *A* länger ist als bei der Scheibe *B*, oder, mit andern Worten, daß ein schwacher Eindruck langsamer abnimmt als ein starker. Daraus folgt endlich unser Abnahmegesetz.

Durch Vervielfältigung solcher Versuche wird es wahrscheinlich gelingen, das Gesetz, nach dem die Eindrücke erlöschen, genau durch den Calcul zu bestimmen, und vielleicht findet man auch eine neue und strengere Methode zur Messung ihrer Gesamtdauer auf.

Wahrscheinlich gilt dieses Gesetz auch für die Eindrücke auf die übrigen Sinne, welche, wie alles glauben läßt, ebenfalls eine wahrnehmbare Dauer besitzen. So nimmt man an, daß ein Ton aus einer Reihe zu dicht auf einander folgender Schläge bestehe, als daß das Ohr die Zwischenzeiten unterscheiden könne, was mit andern Worten so viel sagen will, als ein jeder Stofs mache auf das Organ einen Eindruck, welcher bis zu dem, den der fol-

gende Stofs erzeugt, ohne merkliche Abnahme anhält; und daraus folgt offenbar, dafs die Eindrücke auf das Ohr, gleich wie die auf das Auge, länger dauern als die Ursache, welche dieselben erzeugt hat. Und wenn man erwägt, dafs der ganze Unterschied zwischen hohen und tiefen Tönen aus der gröfseren oder geringeren Geschwindigkeit entspringt, mit der die einzelnen Eindrücke, deren Gesamtheit den Ton ausmacht, einander folgen, so ergibt sich daraus, dafs diese Eindrücke hinsichtlich ihrer Dauer besondere Eigenschaften besitzen müssen, deren Studium zu sonderbaren Resultaten führen könne *). Kehren wir indess zu unserm Gegenstand zurück.

Um diese Arbeit über die Gesichtseindrücke in Bezug auf deren Dauer zu vervollständigen, mufs noch die Zeit bestimmt werden, welche zur vollen Hervorbringung eines Eindrucks erforderlich ist. Es mufs auch durch positivere Versuche festgestellt werden, dafs, je kräftiger ein Eindruck, desto gröfser auch die gesammte Dauer desselben ist. Endlich mufs man auch diese Dauer für eine grofse Zahl von Fällen messen, z. B. bei Farben, die von Sonnenlicht erleuchtet werden, bei selbstleuchtenden Körpern, z. B. bei glühender Kohle, verschiedenartigen Flammen u. s. w. Ich habe mich bisher mit diesen Untersuchungen nicht beschäftigen können.

Es bleibt mir noch übrig von den Fällen zu sprechen, in welchen sich die Wirkungen der Dauer der Lichteindrücke am häufigsten beobachten lassen, so wie von einigen recht sonderbaren Anwendungen, die man von ihnen gemacht hat.

[Der Verfasser stellt nun die Resultate seiner bisher mitgetheilten Untersuchungen nochmals zusammen und zählt dann einige der gewöhnlichsten optischen Täuschungen auf, worunter er auch des *Thaumatrops* erwähnt, von dem man bei Gelegenheit der Beschreibung des eben-

*) Von denen der vorhergehende Aufsatz bereits einige kennen gelehrt hat.

falls auf Augentäuschung beruhenden *Kaleidophons*, im Bd. 85. S. 480. dieser Annalen eine kurze Nachricht findet. Der Raumersparung wegen habe ich geglaubt diese Sätze fortlassen zu dürfen. P.]

In den *Philosophical Transactions* f. 1825 hat Hr. Roget eine sehr sonderbare optische Täuschung beschrieben, und erklärt *), welche in Folgendem besteht. Betrachtet man durch eine Reihe verticaler Oeffnungen, z. B. durch die Zwischenräume eines Gitters, das Rad eines auf dem Boden mit großer Geschwindigkeit dahinrollenden Wagens, so unterscheidet man nicht mehr die sich drehenden Speichen, sondern statt deren unbewegliche Curven auf der Fläche des Rades. Die Form dieser Curven sieht man in Fig. 15. Taf. III. Am günstigsten sind die Umstände, wenn das Rad stark beleuchtet ist, das Gitter aber dunkel bleibt.

Hrn. Roget's Erklärung von dieser Erscheinung ist nun folgende. Zuvörderst kann man annehmen, daß die Stäbe des Gitters horizontal fortbewegt werden, und daß das Rad sich um eine feste Axe drehe; die Resultate werden dadurch offenbar nicht geändert. Dann braucht man, der größeren Einfachheit wegen, nur *eine* Speiche und *eine* Oeffnung zu betrachten. Diese beiden Linien, von denen die eine sich um einen festen Punkt dreht, und die andere parallel mit sich selbst vorrückt, werden sich dem Anschein nach in einer Reihe von Punkten schneiden, deren Gesamtheit eine bestimmte Curve bildet. Wenn nun die Speiche stark beleuchtet und die Oeffnung in einer dunkeln Fläche ausgeschnitten ist, so wird jeder Durchschnittpunkt ein helles Bild auf der Netzhaut erzeugen, und die Folge dieser Bilder muß den Anblick einer zusammenhängenden Curve gewähren, weil der Eindruck von dem ersten Bilde noch da ist, wenn der vom zweiten erzeugt wird. Die Gestalt der Curve wird von der

*) Eine Uebersetzung dieses Aufsatzes findet man in dies. Annal. Bd. 81. S. 93. P.

ursprünglichen Lage der Speiche und der Oeffnung abhängen, und deshalb werden, wenn mehrere Speichen und mehrere Oeffnungen da sind, gleichzeitig auch mehrere Curven gebildet. Sind die beiden Bewegungen gleichförmig, so müssen allemal, wenn die Speichen und Oeffnungen in dieselben relativen Lagen zurückkehren, sich auch dieselben Erscheinungen wiederholen; daher die Unbeweglichkeit dieser Curven. Es ist übrigens leicht, diese Curven geometrisch zu construiren und die Gleichungen für dieselben aufzusuchen; beides ist auch von Hrn. Roget geschehen.

Gehen wir jetzt zu einer anderen Täuschung über, die zwar gleicher Art, aber von weit allgemeineren Wirkungen ist. Ich hatte beobachtet, dafs wenn man ein, senkrecht auf seiner Ebene mit Zähnen versehenes Rad in schnelle Drehung versetzte, und das Auge in einiger Entfernung davon in die Ebene dieses Rades stellte, so dafs die Zähne der einen Hälfte durch die der anderen verdeckt wurden, man alsdann eine Reihe ganz unbeweglicher Zähne erblickte; ferner, dafs, wenn sich zwei Räder hinter einander mit beträchtlicher Geschwindigkeit, aber in entgegengesetzter Richtung um eine und dieselbe Axe drehten, es schiene, als sähe man ein Rad mit unbeweglichen Speichen; endlich, dafs das feststehende Bild aus Curven bestand, wenn die Räder sich um zwei verschiedene Axen drehten. Ich hatte diesen sonderbaren Erscheinungen wenig Aufmerksamkeit geschenkt; nachdem ich aber den Aufsatz des Hrn. Roget gelesen, wurde ich von ihrer Analogie mit den von diesem Physiker beobachteten so überrascht, dafs ich beschlofs sie näher zu untersuchen. Dadurch gelangte ich dann zum folgenden Resultate.

Denkt man sich zwei helle Curven in zwei parallelen Ebenen befindlich, und eine jede derselben mit einer beträchtlichen und gleichförmigen Geschwindigkeit um eine auf ihrer Ebene senkrecht stehende Axe gedreht, und

und zwar so, dafs die Geschwindigkeit der einen ein genaues Multiplum von der der andern ist, so wird das Auge, welches sich vor dem Systeme befindet, in der Mitte des Schleiers, welcher gewissermassen durch die Bewegung beider Linien gebildet wird, das unbewegliche Bild einer dritten Curve erblicken, die dunkler ist als der Grund, auf welchem sie erscheint.

Dieses krummlinige Spectrum ist der Ort der scheinbaren Durchschnittspunkte der in Bewegung befindlichen Curven.

Die beweglichen Curven können aus dickem, weifsem Papier geschnitten seyn, und hinter dem ganzen System kann ein Stück geschwärzter Pappe aufgestellt werden.

Auf diese Weise kann man für das Auge die allerverschiedenartigsten Curven hervorbringen, deren Entstehung sich folgendermassen erklärt. Es seyen AB und $A'B'$ (Fig. 16. Taf. III.) zwei successive Lagen der ersten Curve, CD und $C'D'$ zwei successive Lagen der zweiten, so dafs wenn beide Curven von ihren ersten Lagen ausgehen, sie gleichzeitig in ihren zweiten Lagen ankommen; endlich sey mrn die Linie der scheinbaren Durchschnittspunkte beider Curven auf dieser Bahn.

Da die beiden hellen Curven sich längs der ganzen Linie mrn schneiden, so kann ein jeder Punkt dieser Linie nur den Eindruck von der Curve, die dem Beobachter am nächsten liegt, in's Auge senden, während alle übrigen Punkte des krummlinigen Vierseits $mpnq$, da in ihnen die beiden beweglichen Linien nur nach einander anlangen, zwei successive Eindrücke in's Auge senden. Die Linie mrn , so wie die ganze Folge der Durchschnittspunkte, muß demnach weniger hell als das ganze übrige Vierseit erscheinen. Da nun die Geschwindigkeit der einen Curve ein Multiplum von der der andern ist, so werden beide, nachdem die Curve mit geringerer Geschwindigkeit einen Umlauf gemacht hat, in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren, und die Erscheinung wird sich

wiederholen. Es muß also daraus ein festes Bild entstehen, welches so lange verweilt als die Bewegung der beiden Curven dauert. Uebrigens muß diese Bewegung, wie einzusehen, so rasch seyn, daß das Auge die sich drehenden Curven nicht unterscheiden kann.

Es folgt aus dieser Erklärung, daß diese Erscheinung sich noch erzeugen wird, wenn die vordere Curve, statt hell zu seyn, schwarz ist; denn diese schwarze Curve wird an allen Punkten der Durchschnittslinie das von der hellen Curve herkommende Licht auffangen, während alle übrigen Punkte die von letzterer Curve erzeugten Eindrücke in's Auge senden. Dieß wird auch von der Erfahrung vollkommen bestätigt; die festen Curven sind sogar deutlicher auf diesem Wege als auf dem ersten.

Die vordere Curve kann auch in einer schwarzen Fläche ausgeschnitten seyn, und wenn dann die hintere Curve beleuchtet ist, erscheint das feste Bild heller als der Grund, auf welchem es sich zeigt. Die Erscheinung muß auf gleiche Weise wie die von Hrn. Roget beschriebene erklärt werden.

Wenn die Geschwindigkeit der einen Curve kein genaues Multiplum von der der andern ist, so kommen die beiden Curven, nachdem die langsamere einen Umlauf gemacht hat, nicht wieder in ihre ursprünglichen Lagen zurück, und da sich dadurch nach jedem dieser Umläufe eine neue Curve erzeugt, so sieht das Auge nicht das Bild einer festen Linie, sondern eine rasche Folge verschiedener Linien. Wenn indess die größere Geschwindigkeit nur sehr wenig von einem Multiplum der kleineren abweicht, so wird der Unterschied zwischen zwei einander folgenden Bilder sehr unbeträchtlich seyn, und das Auge nicht mehr eins von dem andern unterscheiden können; das Spectrum wird dann nach und nach seine Gestalt ändern, und in alle die Formen übergehen, welche aus einer Verschiedenheit der ursprünglichen Lagen entspringen können. Es ist keine der uninteressantesten

Eigenthümlichkeiten der Erscheinung, daß wir hiedurch Uebergänge von Curven erhalten, die oft keine Aehnlichkeit mit einander haben; Uebergänge, die man nach Belieben verlangsamen kann, sobald die Einrichtung des Instruments es erlaubt, das Verhältniß der Geschwindigkeiten um sehr kleine Unterschiede abzuändern *).

Kennt man die beweglichen Curven, das Verhältniß ihrer Geschwindigkeiten, die Richtung einer jeden derselben, den scheinbaren Abstand der Bewegungsmittelpunkte, und die ursprünglichen Lagen der Curven, so ist die feste Curve völlig bestimmt und die Gleichung für dieselbe leicht aufzufinden. Es würde mich zu weit vom Gegenstande abführen, wenn ich hier den deshalb zu befolgenden Gang angeben wollte; ich werde daher nur beispielweise einige bekannte Curven aufführen, welche aus der Bewegung zweier durch ihre Drehpunkte gehenden Geraden entstehen.

1) Wenn die Geschwindigkeiten gleiche Richtung haben und im Verhältnisse 1:2 stehen, so ist die feste Curve eine Focale, welche ihren Scheitel im Drehpunkte der schnelleren Linie, und ihren Vielfachspunkt im Drehpunkt der andern hat. Diese Focale wird ein Kreis, durchzogen von einer geraden Linie, sobald die beiden beweglichen Geraden in ihren ursprünglichen Lagen einander decken.

2) Sind die Geschwindigkeiten gleich und von gleicher Richtung, so ist die feste Curve ein Kreis, der durch die beiden Drehpunkte geht.

3) Sind die Geschwindigkeiten gleich, aber von ungleicher Richtung, so ist das feste Bild eine Hyperbel, welche durch die beiden Drehpunkte geht.

*) Dies geschieht leicht, wenn man die Curven durch Rollen in Bewegung setzt, deren Durchmesser man um eine kleine Größe ändern kann, wenn man die Spannung der Schnur etwas ändert. Das Verhältniß der Geschwindigkeiten kann dadurch so wenig wie man will vergrößert oder verringert werden.

Man kann das feste Bild und eine der beweglichen Curven als gegeben annehmen; in welchem Falle man dann durch eine sehr einfache geometrische Construction die andere findet. Nichts hindert uns aber als feststehendes Bild irgend eine Figur zu nehmen, z. B. den Kopf eines Menschen, ein Wort u. s. w.; alsdann erhält man durch die besagte Construction eine ungestaltete Figur, die, wenn sie gleichzeitig mit der gegebenen Curve umgedreht wird, ein vollkommen regelmäßiges Bild hervorbringt.

Hier hat man demnach eine Art ganz neuer Anamorphosen. Wenn diese vollständig gelingen sollen, muß die mißgestaltete Figur schwarz seyn und sich vor einer weißen Curve drehen, oder, wenn man sie weiß nehmen will, muß die letztere in einer schwarzen Fläche ausgeschnitten seyn. Im ersten Falle erhält man das regelmäßige Bild schwarz auf einem weißlichen Grunde, im letzteren weißlich auf einem schwarzen Grunde.

Hier schließt sich meine Untersuchung über die Dauer der Eindrücke. Es bleibt mir jetzt noch übrig diese letzteren unter dem zweifachen Gesichtspunkt ihrer Stärke und ihrer Wirkung auf einander zu untersuchen.

Um die Eindrücke der verschiedenen Farben in Bezug auf ihre Stärke zu vergleichen, stellte ich folgende Betrachtungen an. Wenn ich eine Kreisscheibe in verschiedenartig gefärbte Sektore, z. B. in blaue und rothe, theile, und dieselbe in eine so schnelle Drehung versetze, daß ein gleichförmiger Farbenton erscheint, so wird dieser desto mehr gegen eine der angewandten Farben hinneigen, als deren Eindruck stärker und die mit ihr bemalten Sektore breiter gegen die anderen sind. Wenn ich demnach das Breitenverhältniß der Sektore so abändere, daß ich einen gleichförmigen Farbenton bekomme, der das Mittel zwischen beiden Farben hält, so ist klar,

dafs alsdann die schmälern Sectore derjenigen Farbe entsprechen, welche den stärksten Eindruck hervorbringt. Haben wir z. B. Blau und Roth angewandt, und sind wir, um ein möglichst reines Violett zu erhalten, gezwungen gewesen, die blauen Sectore breiter als die rothen zu machen, so folgt offenbar daraus, dafs das Blau, damit es in der Empfindung des Violetten eben so stark als das Rothe auf das Auge wirke, eine längere Zeit vor dem Auge vorüber gehen mufs.

Es scheint zuvörderst, dafs man, um das Breitenverhältnifs zwischen den Sectoren der beiden gegebenen Farben zu erhalten, nur die Methode anzuwenden brauche, welche Newton zur Bestimmung des Farbentons erdacht hat, der aus einem Gemenge der prismatischen Farben in gegebenen Verhältnissen entspringt. (*Optic. Lib. 1. part. II. propos. 6.*). Allein abgesehen davon, dafs Newton selbst dieselbe nicht für mathematisch richtig hält, ist leicht einzusehen, dafs sie, bei Anwendung von nur zwei Farben, zu sehr von der Wahrheit abweichenden Resultaten führt. Ich habe daher meine Zuflucht zu der Erfahrung genommen, mufs aber, bevor ich die Resultate aus einander setze, noch die folgenden Bemerkungen voranschicken.

1) Diese Resultate dürfen nicht so betrachtet werden, als gäben sie uns das Verhältnifs der Stärke zwischen den Eindrücken; sie lehren uns nur, dafs diese Farbe einen stärkeren Eindruck als jene mache.

2) der Stärkegrad der Farben hat hier einen sehr grossen Einflufs. Wenn also Einer diese Versuche wiederholen wollte, würde er nur dann dieselben Breitenverhältnisse erhalten, wenn er genau eben so dunkle Farben wie ich anwendete. Ich habe mich übrigens hier, wie bei meinen Versuchen über die Dauer der Eindrücke, sehr intensiver Farben bedient, damit der Unterschied zwischen den Wirkungen der verschiedenen Farben möglichst in die Augen springend sey.

Jetzt zu meinen Resultaten:

1) Eine Kreisscheibe, getheilt in blaue und gelbe Sectore, gab mir einen Farbenton, der zu keiner dieser Farben vorwaltend hinneigte, sobald die blauen Sectore beinahe vier Mal so breit als die gelben waren.

2) Ein prächtiges Violett bekam ich, als ich Blau und Roth beinahe in demselben Verhältniß anwandte, d. h. das Blau vier Mal breiter als das Roth nahm.

3) Endlich gaben Roth und Gelb sehr nahe in dem Verhältniß fünf zu drei, ein Orange, welches genau in der Mitte zu liegen schien.

Diese Resultate machen es, wie man sieht, sehr wahrscheinlich, erstlich, daß der Eindruck des Blauen schwächer als der des Gelben und Rothen ist, und zweitens, daß der Eindruck des Rothen dem des Gelben nachsteht. Da es nun überdiß erwiesen ist, daß das Weiß einen stärkeren Eindruck als alle andere Farben macht, so folgt, daß die Hauptfarben, was die Stärke ihrer Eindrücke betrifft, in nachstehende Reihe zu bringen sind:

Weiß, Gelb, Roth, Blau;

eine Reihe, welche mit der zusammenfällt, welche wir, aus andern Beobachtungen abgeleitet, schon S. 309. aufstellten.

Die Stelle, welche das Roth hier einnimmt, stimmt nicht mit der allgemein angenommenen Meinung, daß diese Farbe die Augen am meisten angreife; allein es bedarf, wie mir scheint, nur der Bemerkung, daß man die Ermüdung des Auges nicht nothwendig als abhängig von dem Stärkegrad der Empfindung betrachten dürfe: sind doch die stärksten Töne nicht immer die, welche das Ohr am meisten angreifen.

Die Ordnung, in welche hier die Farben gestellt sind, ist ausdrücklich von Newton angegeben (*Opt. Lib. I. pt. 1. prop. 7.*); er führt keinen Versuch an, leitete aber ohne Zweifel die Stärke der Wirkungen der Farben aus dem Anblick des Sonnenspectrums ab. Man

sieht, und es werden sich noch neue Beweise dafür darbieten, daß seine Meinung vollkommen von der Erfahrung bestätigt wird.

Buffon, in seiner Abhandlung über die zufälligen Farben (*Mém. de l'Acad. des sciences* 1743), sagt, daß das bläuliche Bild, welches durch das Gelb in seinem Auge hervorgebracht werde, ihm schwieriger zu erlöschen scheine als das vom Roth erzeugte grüne Bild. *Dies scheint zu beweisen*, setzt er hinzu, *was Newton vermuthet hat, daß das Gelb von allen Farben die ist, welche unsere Augen am meisten angreift*. Er bemerkt überdies, daß die zufällige Farbe, welche vom Blau entsteht, bei weitem nicht so lange anhalte als die beiden vorhergenannten.

Endlich habe ich noch andere Versuche angestellt, welche, aufser daß sie die vorhergehenden Resultate bestätigen, mir nicht ohne eigenthümliches Interesse zu seyn scheinen, und vielleicht sonstige Anwendungen finden können.

Ich versuchte, unter welchem Gesichtswinkel jeder vier Farben, Weiß, Gelb, Roth, Blau, aufhöre für meine Augen sichtbar zu seyn. Zu dem Ende bemalte ich kleine Papierscheiben von einem Centimeter mit den genannten Farben, befestigte sie an einer geschwärzten Tafel, die senkrecht im Freien aufgestellt war, und entfernte mich langsam so weit, bis der farbige Gegenstand mir nur als eine kleine, kaum wahrnehmbare Wolke mehr erschien, und einige Schritte weiter vollständig verschwand. Ich bezeichnete den Ort, wo ich mich alsdann befand, und maß hierauf die Entfernung desselben von dem Gegenstande. Durch Rechnung fand ich dann den Winkel zwischen den Gesichtsstrahlen, die von meinem Auge zu den beiden Enden des Durchmessers der Scheibe gingen.

Ich habe wohl nicht nöthig zu bemerken, daß, wenn eine Farbe unter einem kleineren Gesichtswinkel als eine andere sichtbar ist, oder, was dasselbe sagt, wenn ein

mit der ersteren Farbe bemalter Gegenstand in größerer Entfernung als ein gleicher mit der anderen bemalter Gegenstand gesehen werden kann, dieß davon abzuleiten ist, daß die Netzhaut stärker von der ersten als von der letzten Farbe angegriffen wird. Beiläufig bemerkt, haben diese Versuche den Vorzug, daß sie eine Vergleichung des Weißen mit den übrigen Farben gestatten. Die Resultate in zwei Fällen waren folgende:

| | Im Schatten. | Im Sonnenschein. |
|------|--------------|------------------|
| Weiß | 18" | 12" |
| Gelb | 19 | 13 |
| Roth | 31 | 23 |
| Blau | 42 | 26 |

Man sieht, daß die Farben auch hier die bereits gefundene Ordnung befolgen. Das Weiß ist unter dem kleinsten Gesichtswinkel sichtbar, d. h. wirkt am mächtigsten auf die Netzhaut; dann kommt das Gelb, darauf das Roth und endlich das Blau. Man sieht auch, was man erwarten konnte, daß die Gesichtswinkel im Sonnenschein kleiner als im Schatten sind.

Die bisher aus einander gesetzten Resultate, verbunden mit den übrigen vorhin beigebrachten Beweisen, stellen die Ordnung der vier Hauptfarben, was die Stärke ihrer Wirkung auf die Netzhaut betrifft, auf eine, wie mir scheint, unzweifelhafte Weise fest. Ich bedaure nur, bis jetzt nicht auch die übrigen Farben des Sonnenspectrums denselben Proben haben unterwerfen zu können.

Gehen wir jetzt zur gegenseitigen Wirkung der Eindrücke über. Wie bekannt, brachte Newton Weiß hervor, indem er die Eindrücke der verschiedenen Farben, welche das Prisma liefert, schnell auf einander folgen ließ (*Opt. libr. 1. part. 2. prop. 5.*); man weiß aber auch, daß das Weiß, welches man beim schnellen

Rotiren einer mit den sieben Farben des Sonnenspectrums bemalten Scheibe erhält, sehr unvollkommen, d. h. immer mehr oder weniger grau ist.

Zu diesen bekannten Thatsachen werde ich eine Reihe von Beobachtungen hinzufügen, welche ich bei Gelegenheit meiner Versuche über die relative Stärke der Eindrücke gemacht habe, und welche mir nicht ohne Interesse scheint. Man wird sehen, daß die Wirkung der Eindrücke auf einander einige ziemlich sonderbare Erscheinungen hervorbringt, ganz andere, als man scheint erwarten zu dürfen.

Versetzt man eine Scheibe, die in Sectore von zwei verschiedenen Farben getheilt ist, in eine Drehung, die noch nicht so groß ist, um einen gleichförmigen Farbenton hervorzubringen, so gewahrt man bald, inmitten des aus der Folge der Eindrücke entstehenden Flimmerns, sehr lebhaftere Farben, die verschieden sind von den auf der Scheibe befindlichen Farben und von deren Mischung. Sind z. B. Gelb und Blau die in Bewegung gesetzten Farben, so unterscheidet man sehr hervortretende Nüancen von lebhaftem Weiß und von Orange; sind es dagegen Gelb und Roth, so ist die fremde Nüance ein sehr schönes Grün. Zum völligen Gelingen dieser Versuche sind mehrere Umstände erforderlich. Erstlich ist die Geschwindigkeit nicht gleichgültig; man erhält die zweckmäßigste, wenn man sie anfangs sehr klein nimmt, und dann stufenweise vergrößert. Dann muß das Auge sich vor dem Mittelpunkt der Scheibe befinden. Endlich müssen die Farben mehr oder weniger gesättigt seyn, je nach dem fremden Farbenton, welchen man hervorbringen will. Sollen z. B. Blau und Gelb ein schönes Weiß geben, muß das Blau sehr intensiv seyn, und die Breite der mit ihm bemalten Sectore 5 bis 6 Mal größer als die der gelben Sectore; sollen sie dagegen ein schönes Orange geben, muß das Gelb intensiver und das Blau ein wenig blaß seyn. Gelb und Roth geben nur dann eine schöne grüne Farbe,

wenn sie beide intensiv sind u. s. w. Das sonderbarste bei diesen Erscheinungen ist aber die Entstehung des Weißens; denn dieses Weiß ähneln durchaus nicht dem graulichen Weiß, welches man durch schnelle Umdrehung einer mit den sieben Hauptfarben bemalten Scheibe bekommt; es ist vielmehr sehr lebhaft.

Um die genannten Erscheinungen hervorzurufen, haben wir unseren Scheiben nur eine geringe Geschwindigkeit gegeben; drehen wir sie jetzt so rasch, daß sie einen gleichförmigen Farbenton liefern. Nun zeigt sich eine andere Thatsache, nämlich die, daß die hiedurch bewirkte Combination der Eindrücke beider Farben bei weitem nicht immer denselben Farbenton hervorbringt, wie das materielle Gemenge der beiden angewandten Farben. Macht man in zweckmäßigem Verhältniß ein Gemenge von Gummigutt und Berlinerblau, und bemalt damit ein weißes Papier, so bekommt man ein schönes Grün. Theilt man aber eine Scheibe in Sectoren, und bemalt die einen mit Gummigutt, die anderen mit Berlinerblau, trägt beide Farben recht stark auf, und giebt den Sectoren ein solches Breitenverhältniß, daß in der resultirenden Farbe weder das Blau noch das Gelb vorherrschen würde, so wird die gleichförmige Farbe, welche bei schneller Umdrehung der Scheibe entsteht, vollkommen grau seyn, ohne den mindesten Stich in's Grüne. Nur bei Anwendung eines blasen Blauen gelingt es, diesem Grau einen schwachen Stich in's Grüne zu geben, und ohne Zweifel ist es ein solches Blau gewesen, dessen sich d'Arcy bediente, als er suchte, was das Resultat der Umdrehung einer gelb und blau bemalten Scheibe seyn würde; denn er behauptet Grün bekommen zu haben. Die Combination der Eindrücke des Gelben und Rothen, oder des Rothen und Blauen bietet keine analogen Erscheinungen dar, d. h. sie giebt beinahe dieselbe Farbe wie das materielle Gemenge der beiden Pigmente. So erhält man im ersten Fall Orange, und im zweiten Violett, und dieß letztere ist

sogar lebhafter als das, welches ein mit dem Gemenge von Roth und Blau bemaltes Papier darbietet.

Als ich suchte, welchen Einfluß der Grad der Dunkelheit einer Farbe auf die Stärke des von ihr gemachten Eindrucks haben könnte, wurde ich zu der Beobachtung einer dritten Thatsache geführt, zu der, daß es für die meisten Farben eine gewisse Abstufung zwischen dem Dunklen und Blassen giebt, bei welcher sie, in dem Gemenge von Eindrücken, das Maximum des Einflusses ausüben. Gesetzt man habe eine Scheibe in rothe und blaue Sectore getheilt, auf die Weise, wie es Fig. 17. Taf. III. zeigt, d. h. den rothen Sectoren eine gleichförmige Farbe gegeben, den blauen aber eine von dem Mittelpunkt aus gegen den Umfang hin stufenweise immer dunkler werdende *). Wenn man diese Scheibe mit einer hinreichenden Schnelligkeit dreht, erblickt das Auge nur concentrische violette Zonen; allein von der Mitte aus sieht man den Einfluß des Blau immer größer und größer werden, bis zu einer gewissen Zone, von welcher ab derselbe wieder nach dem Umfang hin abnimmt. Wenn demnach diese mittlere Zone ein reines Violett darbietet, zeigen alle übrigen, sowohl nach der Mitte, wie nach dem Umfange hin, ein sich immer mehr und mehr in's Rothe ziehende Violett. Die blaue Farbe, welche dieser mittleren Zone entspricht, erzeugt also einen Eindruck, welcher, bei seiner Combination mit dem des Rothens, einen größeren Einfluß hat als die blässereren oder dunkleren Farben. Sonderbar ist es, daß gerade dieß Blau zu den blassen gehört; es ist die Farbe des Himmels an seinen dunkelsten Stellen.

Das Roth zeigt eine durchaus ähnliche Erscheinung, und seine *Maximum-Tinte* ist verhältnißmäßig eben so blaß wie die des Blau. Das Gelb scheint eine Ausnahme

*) Die Querlinien in den blauen Sectoren der genannten Figur scheiden die verschiedenen Abstufungen des Blau's, welche durch die Buchstaben *a, b, c, d, e, f, g* bezeichnet sind; *a* ist das blässeste, *g* das dunkelste Blau.

zu machen; es wirkt um so stärker auf die anderen Eindrücke als es intensiver ist.

Ich habe nur das Gelb, Roth und Blau diesen Versuchen unterworfen; es ist aber wahrscheinlich, daß alle übrigen Farben, die aus der Vermengung dieser entstehen können, analoge Resultate geben. Auch glaube ich, daß das Grün eine *Maximum-Tinte* habe, da man es aus Gelb und Blau zusammensetzen kann, und das Blau eine solche Tinte besitzt.

Sobald eine Farbe ihre *Maximum-Tinte* in Bezug auf eine andere Farbe erreicht hat, so behält diese Farbe das Maximum ihres Einflusses, wie dunkel auch die andere Farbe sey; wenigstens hat mir dieses die geringe Zahl von Versuchen gezeigt, die ich hierüber angestellt habe. So behält dasjenige Blau, welches das Maximum in Bezug auf ein gewisses Roth besitzt, dieses Uebergewicht gegen jedes dunklere oder hellere Roth. Dieß ist leicht nachzuweisen, wenn man, für jedes Farbenpaar, mehrere Scheiben auf ähnliche Weise wie Fig. 17. bemalt, jedoch so, daß man die abgestuften Sektoren auf allen Scheiben einander völlig gleich macht, die Sektoren aber, welche, wie in der erwähnten Figur die rothen, einen gleichförmigen Farbenton erhalten, auf jeder Scheibe hinsichtlich der Intensität der Farbe verschieden. Setzt man diese Scheiben in Bewegung, so sieht man, daß die Zone, welche dem Maximum entspricht, auf jeder Scheibe denselben Platz einnimmt.

Endlich hätte ich noch zu untersuchen, ob die Maximum-Tinte einer Farbe in Bezug auf eine andere immer dieselbe bleibe, von welcher Natur auch letztere sey, z. B., ob die Tinte des Rothens, welche das Maximum gegen das Blau besitzt, auch gegen das Gelb, Grün u. s. w. am kräftigsten wirke. Soviel kann ich wenigstens sagen, daß das Blau diese Eigenschaft gegen das Roth und gegen das Gelb besitzt.