

bei dieser Gelegenheit noch hervorzuheben, daß der von anderer Seite herstammende Parallel-Ausdruck der *Calores-cenz*, wie er sprachlich einen Barbarismus bildet und obwohl mit *Fluorescenz* gleich *klingend*, nichtsdestoweniger etymologisch von jenem Worte antilog geformt ist, so auch anderseits nur als ein usurpatorischer Name für ein geistiges Plagiat sich vordrängt.

December 24, 1866.

---

#### V. *Ueber die Gränzen der Farben im Spectrum; von Professor Listing in Göttingen.*

---

Bei der Zerlegung des weißen Sonnenlichts auf dem Wege der Dispersion mittelst des Prismas, oder auf dem Wege der Diffraction mittelst des Gitters von zahlreichen gleichen Intervallen, hat man meistens das Hauptaugenmerk auf die für Spectraluntersuchungen so wichtigen Fraunhofer'schen Linien gerichtet, und neben der allgemeinen Thatsache, daß die farbigen Bestandtheile, aus deren Juxtaposition die Spectra der erwähnten Art bestehen, vom rothen bis zum violetten Extrem durch die Farben Orange, Gelb, Grün, Hell- und Dunkelblau verlaufen, die Feststellung der Regionen, welche die genannten Farben einnehmen, allzu sehr außer Acht gelassen. Der Grund liegt ohne Zweifel hier, wie bei manchen anderen Vorkommnissen äblicher Art, in der Continuität des Ueberganges zwischen je zwei Nachbarfarben. So entschieden nämlich auch gewisse leicht nachweisbare Stellen des Spectrums bestimmten Farben angehören, so schwierig ist die Angabe irgend einer Gränze zwischen zwei Farben, weil eigentlich jedem Platze im Spectrum eine eigenthümliche Farbe ebenso zukommt, wie jeder Stelle im Intervall einer Octave ein eigenthümlicher Ton, so daß theoretisch betrachtet hier wie dort die Anzahl der Abstufungen unendlich ist. Der oftmals mit übermäßiger

Vorliebe verfolgten Analogie zwischen Tönen und Farben, welche allerdings eine unbestreitbare physikalische Grundlage besitzt, stehen manche meistens noch zu wenig gewürdigte Discongruenzen gegenüber, deren Basis mehr auf der physiologischen und psychologischen als der physikalischen Seite liegen. Es lassen sich leicht zwei einfache Farben angeben, deren Schwingungsdauern im Verhältnisse 3 : 2 stehen (z. B. roth und blau), daß aber das Auge bei ihrer gleichzeitigen Wahrnehmung einen ähnlichen Eindruck empfinde, wie das Ohr beim Erklingen einer Quinte, dürfte bei einem mit dem physikalischen Connex unbekannten Beobachter mindestens zweifelhaft seyn. Andererseits steht den qualitativ verschiedenen Farben-Eindrücken des Spectrums nichts Analoges in der Reihe der Töne (als solcher und abgesehen von der z. B. verschiedenen Instrumenten zukommenden Verschiedenheit der sogenannten Klangfarbe) zur Seite, wo die Abstufung zwischen Hoch und Tief lediglich als quantitativ oder numerisch erscheint. Gelb, physiologisch genommen, dürfte, wenn man gewisse Anomalien chromatischer Wahrnehmung bei Seite setzt, einer bestimmten keiner Veränderlichkeit unterworfenen und von jeder Uebereinkunft unabhängigen Art von Farbeneindruck entsprechen, der Ton *a* in der Musik dagegen ist das Ergebniß einer im Laufe der Zeit nicht unerheblichen Verschiebungen ausgesetzt gewesenen Convention. Ton und Farbe besitzen beide in der Schwingungsdauer ihr physikalisches Characteristicum, ihre physiologischen Effecte aber stehen mit demselben in sehr verschiedenem Zusammenhange. Im akustischen Falle sind es mehr die Verhältnisse als der absolute Werth der Schwingungsdauern der Töne, im optischen mehr der absolute Werth als die Verhältnisse der Schwingungsdauern der Farben, welche die Eindrücke kennzeichnen. Aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, muß es auffallen, daß während jene Verhältnisse Gegenstand eines seit langer Zeit ausgebildeten Zweiges der Akustik sind, die absoluten Werthe in dem chromatologischen Theil der Optik noch so wenig Erörterung gefunden haben. Wie vage

es mit der chromatischen Bestimmung des Spectrums steht, wird man recht inne, wenn man die seit Fraunhofer von verschiedenen Physikern gemachten Angaben der Farben vergleicht, in welchen die mit *A* bis *H* bezeichneten dunkelen Linien ihren Platz finden. Wenn auch über das Roth bei *B* und über das Blau (Indigo) bei *G* kaum eine Meinungsverschiedenheit vorkommen mag, so sind es doch auffallenderweise die dem helleren Theil des Spectrums angehörigen Linien, namentlich *D*, *E* und *F*, über deren Farben die verschiedensten Angaben vorkommen. Freilich liegt *D* der Gränze zwischen Orange und Gelb, *E* der Gränze zwischen Gelb und Grün, *F* der Gränze zwischen Grün und Blau, sowie *C* der Gränze zwischen Roth und Orange nicht fern, daß aber *F*, während es schon von Fraunhofer und so von den meisten anderen Autoren als im Anfang des Hellblau befindlich bezeichnet wird, nach Lamé z. B. in der Mitte des Grün stehen soll, zeigt hinreichend, wie weit wir seither von einer sicheren Feststellung der chromatischen Regionen des Spectrums entfernt waren. Die einfachen Farben im Spectrum bilden die Grundlage für viele der wichtigsten chromatischen Thatsachen der physischen Optik, wie die Interferenzen des unpolarisirten und des polarisirten Lichts, so daß der Versuch einer genaueren Abgränzung der Spectralfarben trotz der schon erwähnten Unbestimmtheit in den Uebergangsregionen kein müßiger scheinen dürfte.

Zur Ausführung dieser Idee muß ich vorerst der beiden Endfarben des Spectrums erwähnen, welche wegen der daselbst herrschenden sehr geringen Intensität gemeiniglich der gewohnten Reihe von Roth bis Violett nicht beigelegt werden. Es ist von Brücke<sup>1)</sup> auf die *braune* Farbe am äußersten rothen Ende, so wie das dem Braun complementäre

1) E. Brücke: Ueber das Wesen der braunen Farbe. Pogg. Ann. Bd. LXXIV, S. 461. *Inst. Nr.* 875 p. 21. *Phil. Mag. t.* XXXIII, p. 281. Vergl. auch den Aufsatz von Brücke: Ueber die Aufeinanderfolge der Farben in den Newton'schen Ringen. Pogg. Ann. Bd. LXXIV, S. 582.

*Lavendelgrau* am äußersten violetten Ende aufmerksam gemacht, und die Existenz dieser Farben in der Reihe der einfachen Bestandtheile des weißen Lichtes durch Versuche mittelst der chromatischen Polarisation an dünnen doppeltbrechenden Krystallblättchen (Glimmer) nachgewiesen worden. Ich werde ferner die große im allgemeinen blaue Region zwischen Grün und Violett nicht in Hellblau und Dunkelblau abtheilen, sondern wie es bereits von einigen Physikern geschehen, in *Cyan* und *Indigo*, so daß die Betrachtung sich mit der Farbenreihe: *Braun, Roth, Orange, Gelb, Grün, Cyan, Indigo, Lavendel* wird zu beschäftigen haben.

Bekanntlich erscheinen die Glieder dieser Farbenreihe in den beiden schon anfänglich erwähnten Arten des Spectrums, obwohl stets in derselben Aufeinanderfolge, doch in sehr verschiedener Ausdehnung. Im dispersiven (prismatischen) Spectrum (Fig. 1, Taf. V) ordnen sich die Farben nach den ihnen zukommenden Ablenkungen, welche selbst in Folge der Irrationalität der Dispersion von dem dispergirenden Mittel abhängen, im Ganzen aber vom rothen nach dem violetten Theil des Spectrums den Gliedern der Farbenreihe wachsende Ausdehnung geben, so daß Roth und Orange kurz, Blau und Violett gedehnt erscheinen. Im Diffractionsspectrum (Fig. 3) dagegen ist die Anordnung der Farbenräume eine constante, bloß von der Wellenlänge abhängige<sup>1)</sup>, weshalb man dieses Spectrum passend das *normale* genannt hat. In ihm erscheinen umgekehrt die tiefen Farben (Roth, Orange etc.) gedehnt, die hohen wie Cyan, Indigo etc. verkürzt. Die von Fraunhofer getroffene Auswahl der von ihm mit *A* bis *H* bezeichneten Streifen im Spectrum des Sonnenlichts ist unverkennbar auf möglichste Gleichförmigkeit der Stellung in diesem Normalspectrum mehr als in dem prismatischen gerichtet gewesen. Auch

1) Diese constante Vertheilung der Farbenräume im Normalspectrum ist indeß nur für den Gränzfall gültig und auf ihn zu beziehen, wo die Diffractionswinkel so klein sind, daß ihre Vertauschung gegen ihre Sinus statthaft ist,

fällt die Stelle der größten Helligkeit (im Gelb zwischen *D* und *E*) im prismatischen Spectrum entschieden dem rothen Ende näher als dem violetten, etwa  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{4}$  der ganzen Länge vom rothen Ende ab, im Normalspectrum dagegen fast in die Mitte. Der Abfall der Intensitäts-Curve erscheint daher im prismatischen Spectrum ungleichförmig, nach der rothen Seite steil, nach der violetten flach, im Normalspectrum nach beiden Seiten fast gleich und symmetrisch, wobei aber die eine Seite von Roth, Orange und der Hälfte des Gelb, die andere Seite von der zweiten Hälfte des Gelb, von Grün, Cyan, Indigo und Violett eingenommen wird.

Ich habe seit geraumer Zeit bei öfteren Gelegenheiten nicht nur nach eigenen Schätzungen, sondern auch nach denen Anderer sowohl im prismatischen als im normalen Spectrum die plausibelsten Oerter des Uebergangs einer Farbe in die andere, sowie die den einzelnen Farbengliedern zukommende Mitte zu bestimmen gesucht. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß hierbei die Fraunhofer'schen Linien als die sicheren Vergleichsorte gebraucht werden. Diese Bestimmungen nun, zunächst in Werthen der Wellenlänge evaluiert, führten mit einer durch Wiederholung wachsenden Approximation zu dem unerwarteten Resultat, daß die Reciproca der Schwingungsdauer, oder die Tonzahlen im akustischen Sinne des Wortes, für die Farbenscala eine arithmetische Progression bilden. Während Roth in etwa 440 Billion Oscillationen pro Zeitsecunde besteht, kommt dem darauf folgenden Farben eine um je etwa 48 Billionen größere Anzahl zu. Es darf als ein physiologisch-chromatisches Gesetz betrachtet werden, daß die Differenz (vorbehaltlich der weiterhin vorzunehmenden genaueren, numerischen Bestimmung) von etwa 48 Billionen in der Schwingungsfrequenz für unser Sinnesorgan einen Uebergang von einer Farbe zur Nachbarfarbe der vorerwähnten Farbenreihe bedingt. Zugleich ergibt sich für die beiden äußersten Endfarben Braun und Lavendel, wenn wir das eben gefundene Gesetz auf sie anwenden, mit großer Annäherung das

*Verhältniß der Octave, oder Frequenzzahlen im Verhältniß 1:2.*

Das gewonnene Princip zur Feststellung der einfachen Farben läßt sich also so aussprechen.

„Die Farbeureihe Braun, Roth, Orange, Gelb, Grün, Cyan, Indigo, Lavendel findet ihren physischen Ausdruck in einer die Schwingungsfrequenz darstellenden arithmetischen Reihe von 8 Zahlen, wo die letzte das Zweifache der ersten ist.“

Gehen wir nun an die numerische Ausführung, so ist klar, daß es sich unter Zugrundelegung der Reihe 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, wo 16 Braun, 18 Roth, 20 Orange, 22 Gelb, 24 Grün, 26 Cyan, 28 Indigo, 30 Violett, 32 Lavendel entspricht, die Grenzen zwischen zwei Farben durch die entsprechende zwischenfallende ungrade Zahl, so wie die äußersten Extreme von Braun einerseits und Lavendel andererseits resp. durch 15 und 33 ausgedrückt werden, nur um die absolute Geltung der Differenz der Glieder dieser arithmetischen Progression, d. h. um die Ermittlung des constanten Factors handelt, mit welchem die Zahlen von 15 bis 33 multiplicirt die absoluten Frequenzzahlen aller einzelnen Stellen im Spectrum ergeben.

Setzen wir nach den neuesten Ermittlungen von Airy die Sonnenparallaxe  $= 8'' 943$ , den Halbmesser des Erdäquators  $= 3962,822$  engl. Meilen, die halbe große Axe der Erdbahn  $= 91\,400\,000$  engl. Meilen und die Zeit, welche das Licht im Vacuum gebraucht, diese letztere Entfernung zurückzulegen,  $= 493$  Secunden, so ergibt sich die Geschwindigkeit  $\omega$  des Lichts im Vacuum  $= 298\,360\,000$  Meter. Die Oscillationsfrequenz  $n$  für jede Lichtsorte im Spectrum aber hängt mit ihrer Wellenlänge  $\lambda$  durch die einfache Relation  $n\lambda = \omega$  zusammen, wonach man die Frequenz- oder Tonzahl  $n$  eines gegebenen farbigen Strahles aus einer gemessenen Wellenlänge  $\lambda$  findet mittelst Division der Zahl  $298,360,000$  durch die in Metern ausgedrückte Wellenlänge  $\lambda$ ,

Aus den neuesten Messungen Ångström's<sup>1)</sup> der Werthe von  $\lambda$  für die Fraunhofer'schen Linien erhalten wir, nach vorgängiger Reduction des Hundertmilliontel des Pariser Zolles auf Milliontel des Millimeters, sowie durch Reduction auf das Vacuum und durch Hinzuziehung einiger Werthe aus den Bestimmungen von Helmholtz und Esselbach<sup>2)</sup> folgende Zahlen, wo  $\lambda$  in Milliontheilen des Millimeters und  $n$  in Billionen (pro Zeitsecunde) ausgedrückt ist.

	$\lambda$	$n$
Extrem	812	367
A	761,5	391,8
a	722,2	413,1
B	687,7	333,9
C	657,0	454,1
D	589,9	505,8
E	527,5	565,6
F	486,7	613,1
G	431,2	692,0
H	397,3	751,0
H'	393,7	757,9
M	365,8	815,6
R	309,2	964,9

Bei  $\lambda = 812$  setzt Helmholtz das äußerste durch sorgfältige Vorkehrungen sichtbare Extrem der rothen Seite des Spectrums. Die Region von *M* bis *R* am andern Ende, welche ganz aufserhalb des direct sichtbaren Spectrums fällt und hier nicht weiter in Betracht kommt, ist nur auf dem Wege der Fluorescenz nachweisbar und hier zur vollständigeren Uebersicht hinzugefügt.

Zur Ermittlung des halben Farbenintervalls *c*, welches der Einheit in der obigen Reihe von 16 bis 32 entspricht, stellen wir nun in Form von Bedingungen folgende Anforderungen an die Vertheilung der Farbenregionen und ihrer Gränzen im Spectrum.

1) *Phil. Mag.* 1865, Jun. Suppl. No. 199.

2) *Berliner Monatsber.* 1855, Dec., S. 757.

- 1) Braun fällt nahezu auf *A*,
- 2) Roth fällt nahezu auf *B*,
- 3) Orange fällt nahezu mitten zwischen *C* und *D*,
- 4) die rothe Gränze von Orange und die grüne Gränze von Gelb liegen symmetrisch gegen *C* und *E*,
- 5) Gelb, hellste Stelle, -fällt zwischen  $\lambda = 555$  und 560,
- 6) die braune Gränze von Roth und die Lavendelgränze von Violett liegen symmetrisch gegen *a* und *H'*,
- 7) die Gränze zwischen Cyan und Indigo fällt nahezu mitten zwischen *F* und *G*,
- 8) die Lavendelgränze von Violett fällt zwischen *H* und *H'*.

Diese Bedingungen sind nicht unmittelbare Ergebnisse von Beobachtungen, sondern Feststellungen, in welchen sich zahlreiche vorausgegangene Schätzungen, deren vorhin erwähnt worden, mit möglichster Annäherung darstellen lassen. Die Effectuirung dieser 8 Bedingungen führt auf folgende Bestimmungen von *c*:

1.  $c = \frac{1}{16} \cdot 391,8 = 24,487 + 0,225$
2.  $c = \frac{1}{18} \cdot 433,9 = 24,106 - 0,156$
3.  $c = \frac{1}{20} \cdot 480 = 24,000 - 0,262$
4.  $c = \frac{1}{21} \cdot 509,9 = 24,281 + 0,019$
5.  $c = \frac{1}{22} \cdot 535,2 = 24,327 + 0,065$
6.  $c = \frac{1}{24} \cdot 585,5 = 24,386 + 0,124$
7.  $c = \frac{1}{27} \cdot 652,6 = 24,170 - 0,092$
8.  $c = \frac{1}{31} \cdot 754,5 = 24,339 + 0,077$

Das Mittel aus diesen acht Werthen für *c* giebt

$$c = 24,262$$

oder das Farbenintervall  $2c = 48$  Billionen 524000 Millionen Schwingungen pro Zeitsecunde. In der letzten Columne ist die Abweichung  $\epsilon$  der einzelnen Werthe von dem Mittel angegeben. Die mittlere Abweichung — nach der Vorschrift

$$\sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{7}}$$

berechnet — ergibt sich  $= \pm 0,159$  für eine einzelne der obigen acht Feststellungen. Die *mittlere* zu befürchtende



Unsicherheit des Resultates 24,262 als Werthes für die halbe Farbenstufe ergibt sich  $= \pm 0,056$  und somit die *wahrscheinliche* Unsicherheit  $= \pm 0,038$ . Die Einheit bedeutet hierbei Billionen und trotzdem daß diese wahrscheinliche Unsicherheit 38000 Millionen beträgt, so ist dieselbe doch überraschend klein, d. h. die Sicherheit eine unerwartet große, wenn man erwägt, daß z. B. für die beiden dunkeln, einander sehr nahe liegenden Linien, woraus *D* im Spectrum besteht, der Unterschied in der Oscillationszahl 0,6 Billionen beträgt. Die wahrscheinliche Unsicherheit im Betrag der ganzen Farbenstufe  $2c = 48,524$  beträgt also weniger als den siebenten Theil des kleinen Intervalls der beiden Linien von *D*.

Durch Vervielfachung von *c* mittelst der Zahlen 15, 16, 17 usw. bis 33 und Berechnung der den so erhaltenen Werthen von *n* entsprechenden Wellenlängen  $\lambda$  erhalten wir nun folgende

berechnete Farbenscala des Spectrums.

	$\lambda$	$n$
Gränze . . . . .	819,8	363,9
Braun . . . . .	768,6	388,2
Gränze . . . . .	723,4	412,5
Roth . . . . .	683,2	436,7
Gränze . . . . .	647,2	461,0
Orange . . . . .	614,9	485,2
Gränze . . . . .	585,6	509,5
Gelb . . . . .	559,0	533,8
Gränze . . . . .	534,7	558,0
Grün . . . . .	512,4	582,3
Gränze . . . . .	491,9	606,6
Cyan . . . . .	473,0	630,8
Gränze . . . . .	455,5	655,1
Indigo . . . . .	439,2	679,3
Gränze . . . . .	424,0	703,6
Violett . . . . .	409,9	727,9
Gränze . . . . .	396,7	752,1
Lavendel . . . . .	384,3	776,4
Gränze . . . . .	372,6	800,6

Die Verification unserer acht Bedingungen wird uns nun einen Blick auf die Sicherheit in der Feststellung der Farben und ihrer Gränzen im Spectrum gestatten. Man findet nämlich:

1. Braun fällt auf 388,2,  $A$  auf 391,8, also Differenz  $d = + 3,7$ .

2. Roth fällt auf 436,7,  $B$  auf 433,9, also  $d = - 2,8$ .

3. Orange liegt bei 485,2, die Mitte zwischen  $C$  und  $D$  bei 480, also  $d = - 5,2$ .

4. Die rothe Gränze von Orange fällt auf 461,0, die grüne Gränze von Gelb auf 558,0.  $C$  liegt bei 454,1,  $E$  bei 565,6, also  $d = 509,9 - 509,5 = + 0,4$ .

5. Die Mitte von Gelb liegt bei 533,8, die Mitte von  $\lambda = 555$ , und  $= 560$  fällt auf 557,5, welchem Werthe von  $\lambda$  der Werth  $n = 535,2$  entspricht. Also  $d = + 1,4$ .

6. Die braune Gränze von Roth liegt bei 412,5, die Lavendelgränze von Violett bei 752,1. Die Fraunhofer'sche Gruppe  $a$  liegt bei 413,1,  $H'$  bei 757,9. Also  $d = 585,5 - 582,3 = + 3,2$ .

7. Die Gränze zwischen Cyan und Indigo liegt bei 655,1, die Mitte zwischen  $F$  und  $G$  bei 652,6, also  $d = - 2,5$ .

8. Die Lavendelgränze von Violett fällt auf 752,1, die Mitte zwischen  $H$  und  $H'$  auf 754,5, also  $d = + 2,4$ .

Die gefundenen Abweichungen von  $d$  sind also:

1.  $+ 3,7$

2.  $- 2,8$

3.  $- 5,2$

4.  $+ 0,4$

5.  $+ 1,4$

6.  $+ 3,2$

7.  $- 2,5$

8.  $+ 2,4$ .

Die Quadratwurzel aus der durch 8 dividirten Summe der Quadrate dieser Abweichungen ergibt die mittlere Unsicherheit für die einzelnen der acht Feststellungen  $= \pm 3,020$  und die mittlere Unsicherheit in der Fixirung der Farben

und ihrer Gränzen durch die Gesammtheit aller 8 Bedingungen  $= \pm 1,068$ , und somit also die *wahrscheinliche Unsicherheit* in den Werthen von  $n$  unserer Farbenscala  $= \pm 0,751$ , etwa  $1\frac{1}{4}$  mal so groß als das Intervall der beiden Linien  $D$ .

Das Gesetz der neun-Zahlen 8, 9, 10 bis 16 für die Oscillationsfrequenzen der einfachen Farben im weißen Lichte, wo der Einheit der absolute Werth  $48524 \cdot 10^9$  zukommt, mag im Vorstehenden seine hinreichende Begründung gefunden haben.

Es könnte überflüssig erscheinen, zumal nach der verdienstlichen Kritik von Drobisch<sup>1)</sup>, bei dieser Gelegenheit noch einmal auf die Newton'sche Formel zur Abgränzung der Farben im Spectrum zurückzukommen, welche, obschon besonders von Biot noch geraume Zeit vor der Vergessenheit geschützt, gegenwärtig so gut wie keine Beachtung mehr findet. Wohl aber muß des aus der Untersuchung von Drobisch hervorgegangenen Resultates hier Erwähnung geschehen, daß die von Fresnel herrührenden, in zahlreichen Schriften wiederholten Angaben über die Vertheilung der Farben im Spectrum nicht, wie es meistens geglaubt worden ist, Ergebnisse eigener vollständiger Messungen unter Anwendung des nach ihm benannten Interferenzversuches, sondern wesentlich nur Rechnungsergebnisse sind, denen eben die Newton'sche Formel zum Grunde liegt. Zu einer Zeit, ehe die Fraunhofer'schen Linien und das Normalspectrum bekannt waren, wurde bekanntlich von Newton auf Grund mehrfacher Schätzungen eines Andern<sup>2)</sup> das, was wir heute die Wellenlänge nennen, für die Gränzen der sieben einfachen Farben des prismatischen Spectrums den Cubikwurzeln aus den Quadraten einer Reihe von Zahlen proportional gesetzt, welche einer Art diatonischer Moll-Tonleiter entsprechen. Die Tonleiter entspringt aus der

1) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII, S. 519.

2) Newton sagt: "*whilst an Assistant, whose Eyes for distinguishing Colours, were more critical than mine.*" Clarke übersetzt: "*juvans ut amicus qui interfuit et cujus oculi coloribus discernendis acriores quam mei essent, notaret*" cet. *Optice Lib. I. Pars II, Propos. III, Exp. VII.*

natürlichen Dur-Scala durch Verschiebung des dritten und siebenten Tons mittelst Vertauschung ihrer Nachbarintervalle, und heisst

$$1, \frac{8}{9}, \frac{5}{6}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{9}{16}, \frac{1}{2}.$$

Die aus der Potenzirung mit dem Exponenten  $\frac{2}{3}$  entspringenden Werthe stellt Newton in den Zahlen

10000, 9243, 8855, 8255, 6631, 7114, 6814, 6300

dar<sup>1)</sup> und diese sind es, aus welchen durch Hinzunahme der Newton'schen Messung der Länge einer Anwandlung (Viertelwellenlänge) für Licht von der Gränze zwischen Orange und Gelb von Biot die Anwandlungen für die sämtlichen Gränzstellen der Farbenscala berechnet worden sind. Diese in englischen Zollen gegebenen Werthe von Biot aber geben durch Reduction auf Millimeter genau die bekannten Fresnel'schen Zahlen. Unter Beibehaltung der von Newton zum Grunde gelegten musikalischen Intervalle würden sich, wie Drobisch gezeigt hat, die auffallendsten Unzuträglichkeiten dieser Newton-Fresnel'schen Zahlen, nämlich das *B* und *C* ausserhalb der rothen, *H* ausserhalb der violetten Gränze des Spectrums und *G* in die violette Region fallen, durch Anwendung des Exponenten  $\frac{2}{7}$  statt des  $\frac{2}{3}$  beseitigen lassen, ohne jedoch eine leidliche Annäherung an die von uns ermittelten Werthe zu erzielen, wodurch eben die Unhaltbarkeit der Newton'schen Regel evident wird.

Die Zusammenstellung der drei Zahlenreihen, der Newton-Fresnel'schen (N. F.), der verbesserten von Drobisch (D.) und der unsrigen (L.) in Werthen von  $\lambda$  wird die Vergleichung erleichtern.

	(N. F.)	(D.)	(L.)
Aeusserstes Roth . . . . .	645	688,1	723,4
Gränze von Roth und Orange . . .	596	622,0	647,2
Gränze von Orange und Gelb . . .	571	588,6	585,6
Gränze von Gelb und Grün . . .	532	537,7	534,7
Gränze von Grün und Blau . . .	492	486,1	491,9
Gränze von Blau und Indigo . . .	459	446,2	455,5
Gränze von Indigo und Violett . .	439	420,1	424,1
Aeusserstes Violett . . . . .	406	379,8	396,7

1) von denen die zweite 9245 heissen müßte.

Die Zahlen Herschel's<sup>1)</sup> sind von Young<sup>2)</sup> entnommen, der dieselben gleichfalls aus Newton's Angaben ableitet, durch einen Fehler in der Ableitungsrechnung aber zu Werthen für die Farbengrößen gelangt, die von den Fresnel'schen verschieden, nicht mindere Widersprüche mit den Plätzen der Fraunhofer'schen Linien enthalten.

Es mag noch erwähnt werden, daß die von Newton gegebene Tafel für die Dicke farbengebender Schichten von Luft, Wasser und Glas, auf demselben Algorithmus beruht, und somit die Farben der sogenannten Newton'schen Scala, welche bei allen Interferenzerscheinungen eine so wichtige Rolle spielt, einer neuen Berechnung bedürfen, was jedoch einer andern Gelegenheit vorbehalten bleiben muß.

Zum Schlusse mögen noch einige allgemeinere Bemerkungen hier Platz finden, zu welchen das oben aufgestellte chromatische Gesetz Veranlassung giebt.

Die Reihe der Spectralfarben von Braun durch Roth, Orange usw. bis Violett und Lavendelgrau, bildet mit ihren Frequenzahlen  $n$  eine arithmetische Reihe, deren constante Differenz = 48,524 ist. Eine Reihe von Tönen, deren Frequenzahlen eine arithmetische Reihe bilden, würde zum großen Theil dissonirende, in keiner musikalischen Scala aufzufindbare Glieder enthalten. Eine Reihe von Tönen durch gleiche Stufen fortschreitend ist nur durch eine geometrische Progression ihrer Frequenzahlen, wo also nicht die Differenz, sondern das Verhältniß der Nachbarglieder constant ist, darstellbar. Da nun aber die Schwingungsdauer, sowie die Wellenlänge dem Reciprok der Frequenzahl  $n$  proportional ist, so bildet in der Tonscala  $\lambda$  sowohl als  $n$  eine geometrische Reihe, in der Farbenscala dagegen  $n$  eine arithmetische,  $\lambda$  eine sogenannte *harmonische* Reihe, welche Benennung indess keinen unmittelbaren Zusammenhang mit akustischen Verhältnissen involvirt, sondern sich nur auf eine Folge von Zahlen bezieht, deren Reciproca eine arithmetische Progression bilden. Diese, wie mir scheint, sehr vitale Dis-

1) *On light* pag. 453 — in Schmidt's Uebersetzung S. 307.

2) *Phil. Tr.* 1802.

congruenz zwischen Ton- und Farbenscala läßt sich kurz so ausdrücken: *in der (chromatischen gleichschwebenden) Tonleiter schreiten die Logarithmen der Töne, in der Farbenscala die Farben selbst arithmetisch fort.*

Im prismatischen Spectrum erscheinen die Farbenräume von Roth bis Violett wachsend, im normalen abnehmend. Der Gedanke liegt nahe ein Spectrum mit *gleichen* Farbenräumen darzustellen, welches also seinem geometrischen Habitus nach zwischen dem dispersiven und dem normalen stehen würde. In diesem *idealen* Spectrum bilden die Frequenzahlen  $n$  den Mafsstab, während die Wellenlängen  $\lambda$  in harmonischer Progression abnehmen. Im Normalspectrum bilden die arithmetisch abnehmenden Wellenlängen  $\lambda$  den Mafsstab.

In der angefügten Taf. V stellt Fig. 1 das *dispersive* Spectrum (nach Fraunhofer's Zeichnung), Fig. 2 das *ideale* gleichstufige und Fig. 3 das *normale* Spectrum mit gleichförmig abnehmenden Wellenlängen und harmonisch zunehmenden Frequenzahlen dar. Ueber jedem Spectrum ist die Intensitätscurve in punktirter Linie angegeben.

## VI. Ueber die Fortpflanzung der Elektricität in elastischen Flüssigkeiten, besonders über die Schichtung des Lichts bei dieser Fortpflanzung; von A. de la Rive.

(Schluß von S. 463).

3. Eigenthümliche Erscheinungen, welche die verschiedenen Theile der geschichteten elektrischen Entladung darbieten.

Die von der Elektricität durchflossene Gassäule besteht, wie schon gesagt, wenn sie auf einen gewissen Grad von Verdünnung gebracht worden, aus abwechselnd verdünnten und verdichteten Schichten mit einem verdünnten dunklen Raum in der Nähe der negativen Elektrode. Diejenigen

