

## Die Verwandtschaft der Töne und Farben.

Von

W. Preyer.

Ein unbefangenes Auge unterscheidet im vollkommen reinen Spectrum der Sonne mittlerer Intensität nicht mehr und nicht weniger als acht von einander wesentlich verschiedene Farben — Braun, Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, Lavendelgrau — welche durch sprachlich zwar ungenügend bezeichnete, aber deutlich empfindbare Uebergänge miteinander zu einem continuirlichen hellen Streifen verbunden sind. Die Zahl dieser Uebergangsfarben ist eine endliche, denn es entspricht nicht jede beliebige noch so kleine Aenderung der Schwingungszahl eines farbigen Lichtstrahls einer Aenderung der Farbenempfindung. Vielmehr benöthigt die geringste Aenderung dieser eine sehr erhebliche Aenderung jener. Eine wie grosse Veränderung — Vermehrung oder Verminderung — der Schwingungszahlen in der Zeiteinheit erforderlich ist, um eine eben merkbare Veränderung der Farbenqualitätsempfindung zu bewirken, dieser Grenzwert ist nicht ohne Einschränkungen bestimmbar, schon weil er für verschiedene Stellen des Spectrum verschieden ausfällt. Ein anderes ist die Bestimmung der sieben Intervalle des spectralen Farbenfeldes oder die Ermittlung, um wieviel die Oscillationszahlen verändert werden müssen, damit an die Stelle einer Hauptfarbenempfindung eine andere Hauptfarbenempfindung ohne jedweden Uebergang tritt. Diese Intervalle können entweder sämmtlich gleich oder sämmtlich verschieden oder für einige der acht Farben gleich, für andere ungleich sein.

Ich habe gefunden, dass letzteres der Fall ist.

Um die Farbenintervalle zu bestimmen, versuchte ich zunächst durch Schätzungen diejenigen Stellen eines continuirlichen Spectrum zu finden, welche dem reinsten Roth, dem reinsten Gelb, Grün u. s. w. entsprechen. Es dienten dazu zwei KIRCHHOFF-BUNSEN'sche Spectralapparate, ein kleiner mit einem Prisma und ein grosser mit zwei Prismen

aus der Werkstatt von STEINHEIL. Lichtquellen waren mir die Sonne, verbrennendes Magnesium, elektrisches Kohlenlicht (mit elektromagnetischem Regulator von BROWNING) und Petroleumflammen. Eine verstellbare photographirte Scala und die FRAUNHOFER'schen Linien gaben das Maass ab beim Einstellen des Fadenkreuzes.

Dieses Verfahren lieferte jedoch keine befriedigenden Resultate, weil die Schätzungsfehler zu gross ausfielen. Brauchbar wird die Methode erst, wenn man die der abzuschätzenden Farbe benachbarten Theile des Spectrum abblendet. Man bewerkstelligt dies am einfachsten durch Einfügung von zwei verticalen schwarzen, als Diaphragma wirkenden Schiebern in das Lumen des Fernrohrs. Durch Annäherung oder Entfernung derselben kann man beliebige Theile des Spectrum abblenden und so die einzelnen Hauptfarben isoliren. Eine solche Vorrichtung ersann schon vor längerer Zeit MAX SCHULTZE, an dessen Spectroskop ich sie kennen lernte. So sehr auf diese Weise die Farbenbestimmung erleichtert wird, so bleibt doch die Ermittlung der Breite des isolirten Farbenstreifens, d. h. seiner Ränder, in Wellenlängen bei continuirlichen Spectren immer dann umständlich oder ungenau, wenn anderes als Sonnenlicht, welches mitunter tagelang nicht zur Verfügung steht, verwendet wird; denn im Sonnenspectrum ist sowohl die Schätzung durch die FRAUNHOFER'schen Linien sicherer, als auch die Auffindung der gesuchten Wellenlängen sehr bequem durch ÅNGSTRÖM's grosse Tafeln (*Spectre normal du soleil*. Atlas. Upsal 1868) gegeben. In anderen continuirlichen Spectra aber ist weder das eine noch das andere genau zu erreichen, weil es an Anhaltspunkten beim Schätzen fehlt und man sich ausschliesslich auf die Theilstriche der Scala verlassen muss, eine directe Bestimmung der Wellenlängen also hier, wo es sich überdies um hundertfältig zu wiederholende Beobachtungen handelt, die Mühe nicht lohnen würde.

Um genau die Orte der einzelnen Hauptfarben und ihre Begrenzung — ausgedrückt in Wellenlängen — zu finden, verwendete ich daher ein anderes Mittel. Discontinuirliche Spectra in grosser Anzahl wurden theils für sich untersucht, theils untereinander und mit den genannten continuirlichen Spectren verglichen und diejenigen hellen Linien oder von dunklen Linien begrenzten farbigen Stellen, welche das durch den Aufenthalt im Dunkeln geschärfte Auge als am reinsten roth, am reinsten gelb, grün, blau u. s. w. erkannte, oder welche die entsprechenden Stellen des continuirlichen Spectrum begrenzten, gaben die gesuchten Werthe. Dieses Verfahren ist deshalb sehr viel genauer als das ersterwähnte, weil die allmählichen Uebergänge der einen Farbe in die andere nicht störend einwirken, sondern schwarze Zwischen-

räume oder Linien mannichfaltige Abstufungen gewähren, an denen das gleichsam tastende Auge sich ausruhen und halten kann.

Den Absorptionsspectra farbiger Flüssigkeiten und Gläser kommt hierbei wegen der Breite und meist schlechten Begrenzung der hellen Räume nur eine untergeordnete Bedeutung zu; ich habe sie in sehr grosser Auswahl verglichen und nur zur anfänglichen Orientirung nützlich gefunden. Anders die Absorptionsspectra farbiger Dämpfe. Hier bieten die zahlreichen oft in gleichen Abständen nebeneinander liegenden dunklen Linien ein treffliches Hilfsmittel, besonders Joddampf und Untersalpetersäure sind in dieser Hinsicht ausgezeichnet. Das Hauptmaterial lieferten aber die aus hellen Linien bestehenden Spectra der in der BUNSEN'schen Flamme sich verflüchtigenden Metalle und der in GEISSLER'schen Röhren durch den Inductionsfunken erglühenden Gase. Ich verwendete namentlich die Spectra vom Kalium, Natrium, Lithium, Rubidium, Caesium, Thallium, Indium, Calcium, Magnesium, Baryum, Strontium, Kupfer, Quecksilber, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Selen, Jod, Brom, Chlor, Fluorkiesel und Fluorbor, welche zusammen eine genügende Anzahl von reinen gesättigten und intensiven Farben liefern. Man muss nur für einen so vollständigen Ausschluss fremden Lichtes Sorge tragen, dass der Rand des Gesichtsfeldes, wo es schwarz ist, sich nicht mehr erkennen lässt, was bei dem Spectralapparat in seiner jetzigen Gestalt nicht allzuschwer erreicht werden kann.

Schwieriger und ebenso wichtig ist es, die Intensität der Farben weder zu tief sinken noch zu hoch steigen zu lassen, da nur bei einer mittleren Lichtstärke die Farbenunterscheidung genau ist. Ich habe diese Fehlerquelle nicht ganz beseitigen können, glaube aber nicht, dass sie auch nur eine Bestimmung illusorisch macht, da meine Beobachtungen äusserst zahlreich sind und sehr gut untereinander übereinstimmen, ausserdem bei der BUNSEN'schen Flamme und den GEISSLER'schen Röhren zu grosse Intensitäten nicht leicht vorkommen, zu geringe an sich schon unbrauchbar sind.

Ich fand es zweckmässig bei Metall- und Gasspectren die Lichtquelle — BUNSEN'sche Flamme oder GEISSLER'sche Röhre — zwischen die beiden Spalte meiner zwei Spectroskope zu stellen, um einen Ueberblick des ganzen Spectrum durch den kleineren, eine genauere Analyse durch den grösseren fast gleichzeitig zu ermöglichen. Es würde wenig Interesse bieten, alle meine Bestimmungen einzeln anzuführen, zumal sie leicht wiederholt werden können, wenn man möglichst viele Spectren combinirt — übereinander und aufeinander entwirft. Ich theile daher nur die Ergebnisse der Einzelbestimmungen nebst einigen Beispielen zur Controle mit, indem ich die Wellenlängenbestimmungen von

ÅNGSTRÖM, MASCART, THALEN, DITSCHNER, wie sie ÅNGSTRÖM (Recherches sur le spectre solaire. Upsal 1868. 4<sup>o</sup>) zusammengestellt hat, zu Grunde lege und wo diese nicht ausreichen, KIRCHHOFF'S Tafeln zu Hülfe nehme (Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chem. Elemente. 2 Thle. 1862 und 1863. 4<sup>o</sup>). Es sind in letzteren mehrere Elemente aufgenommen, welche bei ÅNGSTRÖM fehlen, aber man kann deren Linien leicht eintragen und so ihre Wellenlänge finden.

Meine Beobachtungen haben nun zu folgenden Ergebnissen geführt.  $\lambda$  bedeutet Wellenlänge in Milliontel Millimeter.

Das reinste **Braun** liegt in der Nähe der braunen Kaliumlinie  $Ka\alpha$ , deren Wellenlänge nach LECOQ (Comptes rendus 6. Sept. 1869) 768 beträgt. Die beiden erheblich weniger brechbaren, übrigens sehr ungleich intensiven Rubidiumlinien sind gleichfalls braun. Beim Abblenden des ganzen Spectrum der Mittagssonne von  $A$  an aber sah ich eine mit der Wellenlängenzunahme schnell dunkeler werdende braune Stelle, etwa so breit wie  $A$  bis  $\alpha$ , welche da, wo die Rubidiumlinien auftreten, schon schwarzbraun ist; innerhalb dieser ultrarothern Strecke und zwar zwischen  $\lambda = 760$  und  $770$  liegt die Stelle des von Roth ebenso wie von Schwarz — dem Dunkel am Spectrumende — gänzlich freien Braun. Diese Bestimmung ist mir, wegen der Lichtschwäche des Spectrumendes, wegen der Veränderlichkeit seiner Farbe je nach der Intensität, und weil es mir ausser den Rubidium- und Kaliumlinien an braunen Linien fehlte, die schwierigste von allen gewesen.

Das reinste **Roth** liegt zwischen der Lithiumlinie  $Li\alpha$  und  $B$ , aber näher bei letzterer als ersterer, wie man beim gleichzeitigen Entwerfen des Lithium- und eines hellen continuirlichen Spectrums erkennt. Gross ist der Unterschied allerdings nicht. Aber ebenso deutlich wie die mit  $C$  zusammenfallende Wasserstofflinie  $H\alpha$  neben  $Li\alpha$  orangeroth erscheint, wird das Roth über  $B$  hinaus schon bräunlich und die Stelle des von Braun und von Orange gänzlich freien Roth liegt nach allen meinen Schätzungen zwischen  $\lambda = 678$  und  $686$ . Linie  $B$  hat  $686,7$  und  $678$  bezeichnet die Mitte zwischen  $B$  und  $Li\alpha$ .

Das reinste **Orange** liegt im prismatischen Spectrum nahe der Mitte von  $C$  und  $D$ , näher bei  $D$  als  $C$ . Die Calciumlinie  $Ca\alpha$  liefert sehr reines Orange. Die wenig intensive Lithiumlinie  $Li\beta$  ist hingegen gelblich orange. Ihre Wellenlänge beträgt  $640,45$  (MASCART). Die schon dem Roth zuneigende Mitte des Raumes zwischen  $C$  und  $D$  hat  $\lambda = 622,7$ . Das von Roth und von Gelb möglichst freie Orange liegt zweifellos zwischen  $\lambda = 610$  und  $620$ .

Das reinste **Gelb** ist leicht zu finden, weil es nur einen sehr schmalen Streifen zwischen der doppelten goldgelben Natriumlinie  $Na\alpha$  und

den lichtschwachen grünlich gelben Baryumlinien einnimmt, welche auf der *D*-Seite von *Ba*  $\gamma$  liegen. Eine in diesen Raum fallende intensive zweifache Quecksilberlinie (No. 1076 KIRCHHOFF) ist vollkommen rein gelb. Ihre Wellenlänge ergibt sich durch Eintragen in die Tafel von ANGSTROM zu 576,8. Ueber  $\lambda = 572$  hinaus wird das Gelb schon merklich grünlich, über 578 hinaus goldgelb (orange gelb). Das von Grün und von Orange vollkommen freie Gelb liegt demnach zwischen  $\lambda = 572$  und 578.

Das reinste **Grün** fällt in die Nähe der höchst intensiven Magnesiumlinie, welche mit  $b_4$  von FRAUNHOFER'S Gruppe *b* coincidirt, und zwar liegt es auf der *F*-Seite von  $b_4$ . Die Baryumlinie *Ba*  $\alpha$  ist für mein Auge schon deutlich gelblichgrün, *Ba*  $\beta$  neigt zum Bläulichgrün. Also muss das reinste Grün zwischen beide, d. h. in die Nähe von *b* fallen. Es liegt in dem Raum zwischen  $\lambda = 540$  und 546. Dieses ist die genaueste von allen Bestimmungen, weil ich hierbei über die grösste Anzahl von hellen und dunkeln Linien verfügen konnte. Schon früher fand ich ausserdem durch die Untersuchung von zwei Grünblinden<sup>1</sup> für das reinste Grün  $\lambda = 540$  als Minimum. Linie  $b_4$  hat  $\lambda = 546,688$ .

Das reinste **Blau** ist im prismatischen Spectrum wegen der grossen Breite des blauen Feldes schwerer zu bestimmen. Doch bin ich zu dem sicheren Ergebniss gelangt, dass die gesuchte Stelle sehr nahe der in dem continuirlichen Spectrum brennenden Magnesiumdrahtes scharf abgegrenzten blauen Linie liegen muss, deren Wellenlänge = 458,6. Genauere wiederholte Betrachtung lehrt ferner, dass das reinste Blau nur sehr wenig nach der *F*-Seite dieser Linie liegt, weil weiterhin eine Hinneigung zum Grünlichblau ebenso wie unmittelbar auf der *G*-Seite eine solche nach dem Violettblau merkbar wird. Die indigoblaue Indiumlinie hat  $\lambda = 455$  (JOH. MÜLLER in Freiburg). Die hellen grünblauen Magnesiumlinien, deren ich 9 zähle, unterstützen als feste Ausgangspunkte wesentlich das Schätzen. Vollkommen rein blau ist ferner die Strontiumlinie *Sr*  $\delta$ , bei der  $\lambda = 460,7$  (MASCART), ebenso die doppelte Caesiumlinie *Cs*  $\alpha$  und *Cs*  $\beta$ . Diese ist, wie man sich leicht durch gleichzeitiges Entwerfen des Strontium- und Caesium-Spectrums überzeugen kann, nur wenig (weniger als ihr eigenes Intervall in meinem Apparat) stärker gebrochen als *Sr*  $\delta$ . Im Sonnenspectrum verlegte ich (l. c. S. 327) im Blau von  $F\frac{1}{4} G$  bis  $F\frac{3}{4} G$  die Stelle, welche sowohl von grüner wie von violetter Beimischung gänzlich frei ist und zugleich die grösste Lichtstärke hat, auf ungefähr  $F\frac{1}{3} G$ , was  $\lambda = 467$  entspricht. Aus diesen Bestimmungen geht hervor, dass das reinste Blau zwischen  $\lambda = 458$  und 468 liegt. Es ist sehr bemerkenswerth, dass MAXWELL

<sup>1</sup>) In PFLÜGER'S Archiv f. d. ges. Physiologie 1868, S. 316.

(Philos. Transact. 1860) ein Blau von 463,8 (uncorrigirt) als Grundfarbe auf ganz anderem Wege fand.

Das reinste **Violett** liegt in dem stark dispergirten Spectrum meines Apparates ungefähr in der Mitte zwischen *G* und *H*. Betrachtet man möglichst gleichzeitig die Linien des Rubidium  $Rb\beta$  ( $\lambda = 421,7$  LECOQ) und  $Rb\alpha$  ( $\lambda = 420,3$  id.), die des Kalium  $Ka\beta$  ( $\lambda = 405,0$  id.), des Calcium und des Wasserstoffs  $H\gamma$  ( $\lambda = 410,1$  ÅNGSTRÖM), welche sämtlich zwischen *G* und *H*, liegen, so findet man von allen stets die Wasserstofflinie am reinsten violett, sowohl die Rubidium- wie die Calciumlinie erscheinen daneben merklich bläulichviolett und  $Ka\beta$  wie etwas verschleiert, mit Grau gemischt. Im Sonnenspectrum ist die Aufsuchung des reinen Violett unthunlich wegen der grossen Abhängigkeit dieser Farbe von der Lichtintensität, in Kupferspectrum leichter. Im Magnesiumlicht und elektrischen Kohlenlicht hingegen fehlt es in dem breiten gleichmässig violetten Felde an Anhaltspunkten zum Schätzen. Ich kann daher nur die Gegend zwischen  $\lambda = 405$  ( $Ka\beta$ ) und 415 oder die Umgebung der FRAUNHOFER'schen Linie *h* ( $\lambda = 410$ ) als die Stelle des reinsten Violetts angeben.

Versuchen wir nun, die Intervalle aus den erhaltenen Zahlen zu ermitteln, so zeigt sich, dass die sieben Farben nicht durch gleiche Intervalle von einander getrennt sind. Setzt man für die sieben erhaltenen Werthe der Schwingungszahlen  $n$

	$\lambda$ Milliontel Millim.	$n$ Billionen in $1^s$
Braun	760 — 770	392 — 387
Roth	678 — 686	440 — 435
Orange	610 — 620	489 — 481
Gelb	572 — 578	521 — 516
Grün	510 — 516	585 — 578
Blau	458 — 468	651 — 637
Violett	405 — 415	736 — 719

die abgerundeten Mittel und vergleicht diese miteinander, so findet man, dass zwar Braun, Roth, Orange, Grün und Violett ziemlich befriedigend in eine arithmetische Reihe mit dem Intervall von etwa  $48 \cdot 10^{12}$  Schwingungen in  $1^s$  passen, nicht aber Gelb und Blau, und zwar weichen diese beiden Farben so stark ab, dass Beobachtungsfehler mit Sicherheit auszuschliessen sind. Setzt man die Schwingungszahl von Braun  $\equiv 1$ , so ist die der anderen Farben aus den runden Mitteln berechnet:

Braun	Roth	Orange	Gelb	Grün	Blau	Violett
1	1,423	1,246	1,334	1,493	1,655	1,868

Diese Schwingungsverhältnisse kommen denen der Töne der diatonischen Durtonleiter von *c* ausserordentlich nahe. In der That kann man, ohne den Spielraum der direct gegebenen Werthe in einem einzigen Falle zu überschreiten, die Tonintervalle

1    1,125    1,25    1,333    1,5    1,666    1,875

den Farbenintervallen substituiren und die 7 ganzen Töne der *c*-Durtonleiter vollkommen den 7 Hauptfarben der spectralen Farbenoctave parallelisiren, wie folgende Tabelle zeigt:

Töne	Schwingungen		Farben	Wellenlänge in Milliont. Millim.	FRAUNHOFER'S Linien, Wellenlänge n. ÅNGSTRÖM.
	Intervalle	Billion in 1'			
<i>c</i>	1	388,2	braun	768,6	A 760,4
<i>d</i>	$\frac{9}{8}$	436,7	roth	683,2	B 686,7
<i>e</i>	$\frac{5}{4}$	485,2	orange	614,9	C 656,2
<i>f</i>	$\frac{4}{3}$	517,6	gelb	576,4	D 589,2
<i>g</i>	$\frac{3}{2}$	582,3	grün	512,4	E 526,9
<i>a</i>	$\frac{5}{3}$	647,0	blau	461,1	F 486,0
<i>h</i>	$\frac{15}{8}$	727,9	violett	409,9	G 430,7
<i>c'</i>	2	776,4	grau	384,3	H <sub>2</sub> 393,3

Diese Zusammenstellung verdient ein besonderes Vertrauen durch den Umstand, dass nicht weniger als sechs von den acht Bestimmungen der zweiten beziehlich der vierten Columne, ganz abgesehen von ihrem vollkommenen Einklang mit meinen sämtlichen bis zur Erschöpfung des Auges immer wieder und wieder angestellten spectroscopischen Beobachtungen, einer Arbeit entnommen sind, welche die unleugbare Verwandtschaft der Töne und Farben zwar im Allgemeinen nicht bestreitet, aber die Identität der Ton- und Farbenintervalle geradezu für nicht vorhanden erklärt. Diese Arbeit ist die von LISTING über die Grenzen der Farben im Spectrum im 131. Bande von POGGENDORFF'S Annalen der Physik und Chemie veröffentlichte. LISTING kommt zu dem Ergebniss, dass die Farben des Spectrum eine arithmetische Reihe bilden mit der Differenz von  $48524 \cdot 10^9$  (vorbehaltlich späterer genauerer Bestimmung) oder dem halben Farbenintervall  $c = 24,262$  Billionen, wobei die einzelnen Farben in 363,9 bis 800,9 Billionen Schwingungen per Zeitsecunde ausgedrückt werden. Es wäre nach dieser Reihe das braune Spectrumende =  $15c$ , die Mitte des Braun =  $16c$ , die Braun-Roth Grenze =  $17c$ , die Mitte des Roth =  $18c$ , die Orange-Roth Grenze =  $19c$ , die Mitte des Orange =  $20c$  u. s. f. bis Mitte des Lavendel =  $32c$  und die Lavendelgrenze des Spectrum =  $33c$ , zusammen 19 Glieder. Gelingt es nun nachzuweisen, dass nur eines von diesen Gliedern erheblich von dem verlangten Werthe abweicht,

so ist das ganze Gesetz falsch. Ich bin im Stande, die Unrichtigkeit von mehr als einem der 19 Glieder zu beweisen.

Die Mitte des Gelb fällt nach LISTING auf  $22c$  oder  $\lambda = 559,0$ . Es müsste also Licht von dieser Brechbarkeit für sich im Dunkeln betrachtet vollkommen rein gelb, weder goldgelb noch grünlichgelb erscheinen. Nun zeigt es sich, dass die bekannte helle Calciumlinie  $Ca\beta$  genau die gewünschte Brechbarkeit (Mitte  $559,3$ ) besitzt. Sie erscheint aber jedem gesunden Auge grüngelb, ebenso die helle Baryumlinie  $Ba\gamma$ , welche in dieselbe Gegend des Spectrum zu liegen kommt. Es muss also das reine, das von Grün freie Gelb bedeutend weiter nach  $D$  zu liegen, als LISTING's berechneter Werth verlangt. Statt auf  $\lambda = 559,0$  zu fallen, fällt es in Wirklichkeit, wie ich gefunden habe, auf  $572 - 578$ . Der Fehler beruht darauf, dass LISTING die hellste Stelle im Gelb für die Stelle des reinsten Gelb hielt, während sie grünlichgelb ist. Ferner soll die Grenze von Gelb und Grün =  $23c$  oder  $\lambda = 534,7$  sein. Glücklicherweise hat nach MASCART's Bestimmungen die helle Thalliumlinie  $Tl\alpha$  eben diese Wellenlänge, nämlich  $534,88$ . Jedermann nennt die Farbe derselben grün oder gelbgrün, hat das Element doch von dieser grünen Farbe seinen Namen erhalten. Wenigstens wird Niemand sie für einen beiden Farben gerecht werdenden Uebergang halten, sondern jeder normale Beobachter das erhebliche Ueberwiegen des Grün über das Gelb constatiren. Es muss also auch die wahre Grenze von Gelb und Grün bedeutend näher bei  $D$  liegen, als LISTING's berechnete Farbenscala verlangt. In Bezug auf das Blau lässt sich in ähnlicher Weise zeigen, dass die Berechnungen nicht genau mit der Beobachtung stimmen. Vor allem kann nach meinem Dafürhalten neben Cyanblau nicht Indigoblau als gleich berechnete Hauptfarbe des Spectrum mit den anderen figuriren. Indigoblau ist nicht so verschieden von Cyanblau wie Grün von Gelb, wie Orange von Gelb, wie Roth von Braun oder wie irgend zwei andere Hauptfarben des Spectrum. Man kann nur ein Blau gleichwerthig neben diese setzen, welches weder cyanblau noch indigoblau, sondern rein blau ist, und durch cyanblau, grünlichblau, grünblau, blaugrün in grün einerseits, durch indigoblau, violettlichblau, violettblau, blauviolett, andererseits in violett übergeht. Aber allein durch den Nachweis, dass LISTING's Mitte des Gelb in Wirklichkeit grüngelb ist, fällt sein Gesetz. Die Farben des Spectrum bilden keine arithmetische Reihe.

Es folgt natürlich aus der Unrichtigkeit zweier Hauptfarbenbestimmungen, des Gelb und des Blau, nichts gegen die Richtigkeit der übrigen sechs. Ich finde sie im Gegentheil so vollkommen mit meinen eigenen Beobachtungen im Einklang, nur Lavendel getraute ich mich

der Lichtschwäche wegen nicht zu bestimmen), dass ich sie ohne Aenderung als Ausdruck meiner Versuche hinstellen konnte, und ich bin überzeugt, dass jeder, welcher sorgfältig und unbefangen prüft, hierin zu denselben Resultaten kommen wird. Uebrigens hat LISTING von den 19 Gliedern seiner Reihe nur 8 direct geschätzt und die übrigen daraus berechnet, annehmend, es komme (in dem idealen Spectrum) jeder Farbe dieselbe Breite in Schwingungszahlen ausgedrückt zu, was unzulässig, weil willkürlich, ist.

Eine weitere mächtige Stütze erhält die mitgetheilte Zusammenstellung der Hauptfarben und ganzen Töne durch Fortsetzung derselben auf die Uebergangsfarben und halben Töne. Ohne den geringsten Zwang fügen sich diese wie jene dem Gesetz.

Töne	Schwingungen		Farben	Wellenlänge in Milliont. Millim.	Beispiele zur Controle
	Intervalle	in 1 <sup>o</sup> Billionen			
<i>c</i>	1	388,2	<b>braun</b>	768,6	<i>Ka</i> α 768. Linie A 760,4.
<i>cis</i>	$\frac{25}{24}$	404,4	rothbraun	737,7	
<i>des</i>	$\frac{27}{25}$	419,2	braunroth	711,7	
<i>d</i>	$\frac{9}{8}$	436,7	<b>roth</b>	683,2	Linie B 686,7.
<i>dis</i>	$\frac{75}{64}$	454,9	orangeroth	655,9	Linie C 656,2 <i>H</i> α.
<i>es</i>	$\frac{6}{5}$	465,8	rothorange	640,5	<i>Fe</i> 639,9 stark.
<i>e</i>	$\frac{5}{4}$	485,2	<b>orange</b>	614,9	
<i>fes</i>	$\frac{32}{25}$	496,9	gelborange	600,4	
<i>cis</i>	$\frac{125}{96}$	505,4	orange gelb	590,3	Linie D 589,2 <i>Na</i> α.
<i>f</i>	$\frac{4}{3}$	517,6	<b>gelb</b>	576,4	<i>Hg</i> 576,8. <i>Fe</i> 576,2.
<i>fis</i>	$\frac{45}{32}$	545,9	grüngelb	546,5	<i>Fe</i> 545,4 stark.
<i>ges</i>	$\frac{36}{25}$	559,0	gelbgrün	533,7	<i>Tl</i> α 534,8.
<i>g</i>	$\frac{3}{2}$	582,3	<b>grün</b>	512,4	Linie <i>b</i> <sub>4</sub> 516,6 <i>Mg</i> .
<i>gis</i>	$\frac{25}{16}$	606,6	blaugrün	491,9	<i>Fe</i> 491,9.
<i>as</i>	$\frac{8}{5}$	611,1	grünblau	488,2	Linie F 486,0 <i>H</i> β.
<i>a</i>	$\frac{5}{3}$	647,0	<b>blau</b>	461,1	<i>Sr</i> δ 460,6 <i>Cs</i> .
<i>ais</i>	$\frac{125}{72}$	673,9	violettblau	442,7	
<i>b</i>	$\frac{9}{5}$	698,7	blauviolett	427,2	<i>Fe</i> 427,1 stark.
<i>h</i>	$\frac{15}{8}$	727,9	<b>violett</b>	409,9	<i>Hγ</i> 410,1.
<i>ces</i>	$\frac{18}{25}$	745,3	grauviolett	400,3	<i>Fe</i> 400,4.
<i>his</i>	$\frac{125}{64}$	758,2	violettgrau	393,5	Linie <i>H</i> <sub>2</sub> 393,3 <i>Ca</i> .
<i>c,</i>	2	776,4	<b>lavendelgrau</b>	384,3	

Von den Folgerungen, welche aus dieser Parallele der Sinnes-Physiologie erwachsen, will ich hier nur eine andeuten: die Gültigkeit des FECHNER'schen Gesetzes für Farben in ihrer Abhängigkeit von den Schwingungszahlen. Bisher hat man allgemein behauptet, das psychophysische Gesetz gelte für Farben nur bezüglich der Amplitude der erregenden Schwingungen, resp. der Intensität der davon abhängigen Empfindung, nicht aber bezüglich der von der Oscillationszahl ab-

hängigen Farbenqualität. Man konnte sich nicht einmal darüber Rechenschaft geben, inwiefern das ganze Gesetz durch eine solche Ausnahme in Frage gestellt würde, zumal es für Tonhöhen bedingungslos gilt. Durch die vorliegende Untersuchung fällt die Ausnahme fort, das WEBER-FECHNER'sche Gesetz hat eine neue Anwendung gefunden.

Von den in ästhetischer Hinsicht wichtigen Consequenzen der Tabelle sei gleichfalls nur eine hier angeführt. Wenn auch nicht alle musikalischen Consonanzen angenehme Farbenzusammenstellungen geben — dies war nicht zu erwarten — und selbst umgekehrt nicht alle angenehmen Farbenzusammenstellungen musikalische Consonanzen liefern, so ist doch im Allgemeinen, wenn es sich um nur zwei Farben handelt, Schönheit und Hässlichkeit an dieselben Zahlen gebunden wie Wohlklang und Missklang zweier Töne. Die consonirenden Intervalle innerhalb einer Octave sind (HELMHOLTZ, Tonempfindungen 1863, S. 294, 321):

- die Quinte  $\frac{3}{2}$
- die Quarte  $\frac{4}{3}$
- die grosse Sexte  $\frac{5}{3}$
- die grosse Terz  $\frac{5}{4}$
- die kleine Terz  $\frac{6}{5}$
- (die kleine Sexte  $\frac{8}{5}$ )
- (die natürliche Septime  $\frac{7}{4}$ )

Alle anderen Intervalle innerhalb einer Octave sind dissonirende und schon die beiden letzten (eingeklammerten) sehr unvollkommen. Ebenso sind nun alle Farbenintervalle  $\frac{3}{2}$ ,  $\frac{4}{3}$ ,  $\frac{5}{3}$ ,  $\frac{5}{4}$ ,  $\frac{6}{5}$ , ( $\frac{8}{5}$ ), ( $\frac{7}{4}$ ) angenehm oder zum Wenigsten in malerischem Sinne erträglich, es sind aber nicht alle anderen unschön, z. B. blaugrün und braun. Sehr schöne Quinten sind Roth und Grün ( $\frac{d}{g}$ ), Violett und Orange ( $\frac{h}{e}$ ), Grün und Braun ( $\frac{g}{c}$ ), Orange und Blau ( $\frac{e}{a}$ ); Quartan: Grün und Roth ( $\frac{g}{d}$ ), Blau und Orange ( $\frac{a}{e}$ ), Braun und Grün ( $\frac{c}{g}$ ), Violett und Grüngelb ( $\frac{h}{fis}$ ), Orange und Violett ( $\frac{e}{h}$ ). Grosse Sexten sind namentlich: Blau und Braun ( $\frac{a}{c}$ ), Orange und Grün ( $\frac{e}{g}$ ). Grosse Terzen: Grün und Rothorange ( $\frac{g}{es}$ ), Violett und Grün ( $\frac{h}{g}$ ); kleine Terzen: Grün und Orange ( $\frac{g}{e}$ ), Grünblau und Gelb ( $\frac{as}{f}$ ) u. s. f. So geben alle Quinten, Quartan, Sexten und Terzen angenehme oder erträgliche Farbenpaare. Aber es ist diese Uebereinstimmung wahrscheinlich nur zufällig, da auch andere Intervalle nicht immer das Auge beleidigen und im Allgemeinen zwei Farben um so besser zusammenpassen, je weniger ihr Schwingungsverhältniss von dem Schwingungsverhältniss zweier complementärer Farben abweicht. Nun liegen die Schwingungsverhältnisse aller einfachen complementären Farben innerhalb der Octave zwischen

1,2 und 1,6<sup>1</sup> umfassen also die Quinte, die Quarte, die grosse und die kleine Terz, die kleine Sexte. Die natürlichste Erklärung des Wohlgefallens an Farbenpaaren dieser Intervalle scheint mir die Annahme zu sein, dass durch je zwei Farben, welche zusammen Weiss geben, die nach YOUNG und HELMHOLTZ vorausgesetzten dreierlei farbenempfindenden Nervenfasern in Summa nahezu oder ganz gleich stark erregt werden, während beim Anblick schreiender Farbencombinationen eine Nervenart, sei es nun die rothempfindende, die grünempfindende oder die blauempfindende, weit stärker als die beiden anderen erregt würde.

Wie es sich mit den Farbenaccorden verhält, ist gleichfalls noch zu ermitteln. Ich habe diese Untersuchung in Gemeinschaft mit meinem Bruder ERNEST PREYER in Rom erst angefangen. Eine Thatsache aber glauben wir bereits feststellen zu können. Sie betrifft die dreistimmigen Accorde. Wir fanden, dass nicht jeder Stammaccord ohne weiteres in Farben übersetzt werden kann, sondern meistens einer Umlagerung bedarf, wenn die den drei Tönen entsprechenden Farben nicht verletzen sollen, und zwar ergab sich, dass es für die Duraccorde vorwiegend der Quartsextenaccord ist, welcher malerisch am meisten befriedigt oder die malerisch einzig zulässige, beziehlich erträgliche Reihenfolge der drei Farben liefert. Die Mollaccorde bedürfen hingegen weniger der Umlagerung. Uebrigens ist es beachtenswerth, dass gerade die schönsten Farbenaccorde auch den wohlklingendsten musikalischen Dreiklängen entsprechen; z. B. die berühmte Zusammenstellung der italienischen Maler:

Roth Grün Violett	entspricht	<i>d g h</i>	(G-dur).	Ferner
Orange Grün Braun	„	<i>e g c,</i>	(C-dur)	
Orange Blaugrün Rothbraun	entspricht	<i>e gis cis,</i>	(Cis-moll)	
Rothorange Grünblau Braun	„	<i>es as c,</i>	(As-dur).	

Ich will die Parallele hier nicht weiter ziehen, und beschränke mich auf die wenigen, aus einer sehr grossen Anzahl beliebig ausgewählten Beispiele, um zunächst die Aufmerksamkeit anderer auf den Gegenstand zu lenken. Denn es kann auf diesem Gebiete nur durch

<sup>1</sup>) Ich habe wiederholt das negative Nachbild des Ultraroth, besonders des Braun der Rubidiumdoppellinie (*Rb δ* hat  $\lambda = ca 790,9$  und *Rb γ* = 779 LECOQ) durch längeres Fixiren auf schwarzem Grunde mir entworfen und es stets blaugrün mit etwas überwiegendem Grün gefunden. Also selbst an dem Spectrumende würden noch alle drei farbenpercipirenden Nervenfasern gleichzeitig erregt werden. Die Thatsache, dass Blaugrün das negative Nachbild von Braun (auch von *Kαα*) ist, macht eine Schlussfolgerung BRÜCKE's (Pogg. Ann. 74, S. 461, 462, 584) sehr zweifelhaft, der zufolge Lavendelgrau das Complement von Braun wäre. Bei allen anderen Farben sind die Complementärfarben und negativen Nachbilder auf Schwarz identisch.

Zusammenwirken Vieler und zwar durch gemeinschaftliche Thätigkeit der Physiologen, der Maler und der Musiker etwas erreicht werden.

Zum Schlusse dieser Mittheilung, welche nur als eine vorläufige anzusehen ist, sei eine andere bisher übersehene, aber physiologisch sehr berücksichtigenswerthe Analogie der Farben- und Tonperception einerseits, der Wahrnehmung von Licht und Geräuschen andererseits erwähnt.

Es ist eine durch MAX SCHULTZE's glänzende Entdeckungen sicher festgestellte Thatsache, dass von den Endorganen des Sehnerven in der Netzhaut, die Zapfen allein die Farbenperception vermitteln, die Stäbchen nur Hell und Dunkel unterscheiden. Es geht dies schon daraus hervor, dass in der Nacht und Dämmerung thätige, bei Tage ruhende Thiere, z. B. die Fledermäuse, Igel, Mäuse, Maulwürfe, Eulen nur sehr wenige oder keine Zapfen haben, hingegen den sonnige Flächen liebenden Eidechsen die Stäbchen gänzlich fehlen und die Retina der Tagvögel äusserst zapfenreich ist. Ferner besitzen in der Vogelretina nur die Zapfen farbige Kugeln, welche das Licht, ehe es in Empfindung umgesetzt worden, passiren muss. Die Stäbchen sind sämmtlich farblos. Endlich enthält unsere Macula lutea, die Stelle, mit welcher wir Farben am besten wahrnehmen, nur Zapfen. Die Sonderung der Zapfen und Stäbchen nach ihrer physiologischen Function, wie sie MAX SCHULTZE aufgestellt hat, ist in der That vollkommen begründet. (Arch. f. mikr. Anat. II, S. 253. 1866.)

Im Ohre ist eine Sonderung der peripherischen Endorgane des Hörnerven in zwei Formen gleichfalls nachgewiesen. Während der Schneckennerv im Connex mit den CORTI'schen Bögen und der Membrana basilaris die Empfindung der reinen Töne vermittelt, kann der Vorhofsast mit den von MAX SCHULTZE entdeckten Hörhärchen und den Otolithen nicht dazu dienen, Musik als solche empfinden zu lassen, er vermittelt höchstwahrscheinlich nur die Empfindung von Geräuschen (HELMHOLTZ, Tonempfindungen 1863. S. 218. 219.)

Wie nun reine Töne auf gleichmässigen periodischen Schwingungen, Geräusche auf einem Wechsel solcher einfachen periodischen Schwingungen beruhen, so kann man auch von reinen Farben sagen, sie beruhen auf gleichmässigen periodischen Schwingungen, weisses Licht aber auf einem fortwährenden Wechsel solcher einfachen, es zusammensetzenden regelmässigen Schwingungen. Man erkennt auch die Zusammensetzung in beiden Fällen, das Ohr mit dem Resonator, das Auge mit dem Prisma. Jenes zerlegt die Geräusche in Töne, dieses das Licht in Farben.

Ebenso wie wir durch Töne künstlich Geräusche zusammensetzen können, sind wir im Stande, durch Mischen der Farben farbloses Licht

zu erzeugen und ebenso wie bei der Perception dieses Lichtes die farbenpercipirenden Elemente (die Zapfen) mitwirken müssen, weil sie die einfachen Bestandtheile desselben percipiren, so muss auch bei jedem Geräusche die abgestimmte Membrana basilaris<sup>1</sup> mitschwingen, weil die Geräusche aus Tönen zusammengesetzt sind. Aber das Umgekehrte findet nach dieser Anschauung sowohl im Auge, wie im Ohre in viel geringerem Grade oder gar nicht statt. Wird eine isolirte reine Farbe empfunden, so sind nur die Zapfen thätig, die Stäbchen ruhen; wird ein einzelner reiner Ton gehört, so werden nur die Endigungen des Schneckenastes unseres Hörnerven erregt, die des Vorhofsastes ruhen.

Der Vergleich ist so wahrscheinlich, dass ich ihn trotz mangelnder experimenteller Begründung — welche vorläufig unausführbar ist — wenigstens andeuten durfte.

1) Neuerdings hat HELMHOLTZ den wichtigen Nachweis geliefert, dass die primär mitschwingenden Theile im Ohre nicht, wie er früher für möglich hielt, die CORNŪ'schen Bögen sein können, da diese nach C. HASSE den Vögeln fehlen, vielmehr die sehr verschieden dicke und zum Mitschwingen trefflich geeignete Membrana basilaris der Schnecke jene Rolle übernehmen kann (Heidelberger naturhistor. Verein 25. Juni 1869), wie es HENSEN zuerst aussprach.