



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe

Brücke, Ernst Wilhelm von

Leipzig, 1887

§. 7. Über die Entstehung der Farbenempfindungen durch das Licht.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-75809](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-75809)

§. 7. Ueber die Entstehung der Farbenempfindungen durch
das Licht.

Die Empfindung des Leuchtenden erwächst uns durch die Erregung der Fasern unserer Sehnerven. Objectives Licht ist keineswegs für ihre Entstehung nothwendig. Erregung durch Druck auf die Netzhaut, Erregung durch Elektrizität, Erregung endlich aus inneren Ursachen kann uns auch die Empfindung des Leuchtenden hervorrufen, und wir können dabei mehr oder weniger intensive Farben wahrnehmen. Hier soll aber nur die Art und Weise besprochen werden, wie die Farbenempfindungen von der Erregung durch Licht abhängig sind. Wir haben oben gesehen, dass das weisse Licht aus Wellensystemen verschiedener Schwingungsdauer besteht. Sie gehen aus von den selbstleuchtenden Körpern, wie die Schallwellen von den tönenden, sie breiten sich aus nach allen Richtungen wie die Kreise, welche sich um einen in das Wasser geworfenen Stein ziehen, und wie diese an den Wänden des Bassins reflectirt werden und als umgekehrte Kreise zurückkommen, so werden auch die Lichtwellen von den Körpern reflectirt, sie gelangen von ihnen zu unseren Augen und durchwandern die durchsichtigen Theile derselben, bis sie endlich die Endigungen der Sehnervenfasern erreichen und ihre Impulse auf sie übertragen. Da wir keine directe Kenntniss davon haben, dass in die Bildung unserer Netzhaut mehr als eine Art von Nerven

eingehet, so scheint es auf den ersten Anblick das Natürlichste zu sein, wenn wir uns alle diese Nerven als an und für sich gleich beschaffen vorstellen und annehmen, dass sie sämmtlich durch Licht von 800 bis 760 Billionen Schwingungen in der Secunde (vergl. §. 1) zur Empfindung Violett, durch Licht von 670 Billionen Schwingungen in der Secunde zur Empfindung Blau, durch Licht von 610 Billionen Schwingungen in der Secunde zu der Empfindung Grün, durch Licht von 560 Billionen Schwingungen in der Secunde zur Empfindung Gelb, durch Licht von 530 Billionen Schwingungen in der Secunde zur Empfindung Orange und endlich durch Licht von 450 bis 500 Billionen Schwingungen in der Secunde zur Empfindung Roth erregt werden: dass sie endlich Weiss empfinden, wenn die verschiedenen Lichtsorten, so wie sie im Tageslichte gemischt sind, gleichzeitig auf die Netzhaut einwirken.

Indessen stösst man bei dieser Annahme auf bedenkliche Schwierigkeiten. Zunächst fällt es in die Augen, dass es nicht nur sechs oder sieben verschiedene Farbenempfindungen giebt, sondern dass die Zahl derselben bei unserem feinen Unterscheidungsvermögen für chromatische Verschiedenheiten sehr gross ist. Wir müssten somit also auch in einer und derselben Art von Nerven eine sehr grosse Menge nicht nur dem Grade, sondern auch der Qualität nach verschiedener Zustände annehmen, deren jeder von uns als ein anderer empfunden würde. Man kann nun freilich nicht nachweisen, dass dies unmöglich sei, aber wahrscheinlich kann man es nicht finden, da die Vorgänge in anderen Nerven, so weit wir dieselben kennen, nicht zu einer solchen Annahme berechtigen. Es erwächst uns ferner die Empfindung Blau nicht dann allein, wenn Licht von 670 Billionen oder etwas mehr oder etwas weniger Schwingungen in der Secunde unsere Netzhaut trifft, sondern auch dann, wenn violettes und grünes Licht, also

Licht von kleinerer und Licht von grösserer Schwingungsdauer, gleichzeitig auf sie fällt, ja auch dann, wenn das gemischte Tageslicht sie berührt, aus dem das Gelb ganz oder theilweise herausgenommen ist. Man hat zwar versucht durch Rechnung nachzuweisen, dass die Schwingungen der einzelnen Lichtsorten sich in solchen Fällen so combiniren, dass der Effect ein ähnlicher wie der von dem gleichfarbigen monochromatischen Lichte sein müsse, aber diese Versuche haben zu keinem befriedigenden Resultate geführt.

Zwei Dinge sind es, die man hier besonders im Auge haben muss: Erstens hängt die Mischfarbe zweier einfacher Lichtsorten nicht allein von deren Schwingungsdauer ab, sondern auch von der relativen Menge, in der sie gemischt werden, und zweitens geben zwei Lichtmengen, von denen die eine in das eine, die andere in das andere Auge fällt, dieselbe Mischfarbe, wie wenn sie gleichzeitig in ein und dasselbe Auge gelangt wären. Man glaubte früher, dass dies nicht der Fall sei. Der Grund davon war ein zwiefacher. Einmal erwartete man Effecte, die nicht eintreten konnten; man erwartete die Mischfarben zu sehen, welche aus der Mischung von Pigmenten hervorgehen; man glaubte z. B., dass man Grün sehen müsse, wenn man mit dem einen Auge durch ein gelbes, mit dem anderen durch ein blaues Glas sieht. Jetzt weiss man, dass Gelb und Blau, wenn sie auf dieselbe Netzhaut fallen, sich auch nicht zu Grün vereinigen, sondern sich zu Weiss, beziehungsweise Grau neutralisiren. Man fehlte ferner vielfältig darin, dass man durch mangelhafte Fixation den Eindruck beider Augen nicht gehörig zur Vereinigung brachte. Dies ist jetzt durch die Erfindung des Stereoscops sehr erleichtert worden, und mit Hülfe desselben hat Dove zuerst nachgewiesen, dass in der That zwei Farben, von denen die eine in das eine Auge, die andere gleichzeitig in das andere Auge ein-

geht, denselben Eindruck geben, als wenn sie beide gleichzeitig in ein und dasselbe Auge eingedrungen wären. In einem solchen Falle aber, wo die eine Farbe lediglich das eine, die andere Farbe lediglich das andere Auge trifft, kann von einer Combination der Impulse des objectiven Lichtes keine Rede sein. Man muss anerkennen, dass sich hier die durch jene Impulse erzeugten Erregungszustände combinirt haben.

Eine weitere Schwierigkeit, welche uns aus der Vorstellung erwächst, dass sämmtliche Sehnervenfasern gleich beschaffen seien, liegt in Folgendem: Um sich die Entstehung so vieler verschiedener Erregungszustände in denselben Nervenfasern vorzustellen, muss man annehmen, dass Schwingungen von der Dauer von $\frac{1}{800}$ Billiontheil bis zur Dauer von $\frac{1}{450}$ Billiontheil einer Secunde, wenn auch nicht gleich gut, doch im Allgemeinen gut auf ein und dasselbe System, auf das Sehnervenfaserende, übertragen werden und darin eine grosse Anzahl von durch ihre Periode von einander unterschiedenen Bewegungen hervorrufen können, deren verschiedene Folgezustände sich dann die Faser entlang bis zum Gehirn fortpflanzen. Das kann man aber mit den allgemeinen Grundsätzen der Mechanik nicht wohl in Einklang bringen. Diese letztere Schwierigkeit veranlasste schon im Anfange dieses Jahrhunderts Thomas Young, anzunehmen, dass wir nicht eine Art, sondern drei verschiedene Arten von Sehnervenfasern besitzen, dass ferner die Erregung der einen Art die Empfindung Roth, die Erregung der zweiten Art die Empfindung Grün und die Erregung der dritten Art die Empfindung Violett verursache. Er stellte sich vor, dass alle drei Arten von Nerven von jeder Lichtsorte erregt werden könnten, und zwar von jeder qualitativ in derselben Weise, quantitativ aber sehr verschieden und zwar so, dass die rothempfindenden Fasern am stärksten

erregt würden vom Lichte grösserer Schwingungsdauer, welches wir monochromatisch rothes Licht nennen, die grünempfindenden Fasern am stärksten von dem Lichte mittlerer Schwingungsdauer, welches wir monochromatisch grünes Licht nennen, und endlich die violett empfindenden Fasern am stärksten von dem Lichte kleiner Schwingungsdauer, welches wir monochromatisch violettes Licht nennen. Die Entstehung der verschiedenen Arten des Gelb im prismatischen Farbenbilde stellt sich Thomas Young in der Weise vor, dass bei einer Schwingungsdauer des erregenden Lichtes von $\frac{1}{560}$ Billiontheil einer Secunde und etwas darüber und darunter die durch dasselbe hervorbrachte gleichzeitige Erregung der rothempfindenden und der grünempfindenden Fasern so gegen einander abgewogen ist, dass weder die eine, noch die andere selbständig zum Bewusstsein kommt, sondern ein gemischter Eindruck entsteht, den wir Gelb nennen. In derselben Weise erklärt sich Thomas Young die Entstehung des Blau aus der gleichzeitigen Erregung der grünempfindenden und der violett empfindenden Fasern.

Diese Lehre war wenig beachtet worden, bis Helmholtz in seiner physiologischen Optik wieder auf sie aufmerksam machte und zeigte, dass sie mehr als jede andere bisher über diesen Gegenstand aufgestellte im Einklange mit den Erscheinungen steht.

Zunächst ist es klar, dass es durch sie verständlich wird, wie weisses Licht, aus dem eine Farbe oder ein Theil der Farben herausgenommen ist, einen Eindruck hervorbringen kann, der so sehr mit dem von monochromatischem Lichte übereinstimmt, dass wir nicht im Stande sind den einen von dem anderen zu unterscheiden. Wenn jede Lichtsorte alle drei Arten von Nervenfasern erregt, nur eine oder zwei derselben stärker, wenn ferner alle Farbenempfindung darauf be-

ruht, dass eine oder zwei Arten von Nervenfasern stärker erregt werden; so ist es klar, dass jede Farbe, die im prismatischen Farbenbilde erscheint, auf zweierlei Art hervorgerufen werden könne, einmal durch monochromatisches Licht von bestimmter Schwingungsdauer und zweitens durch ein Lichtgemenge, dessen stärkste Reizung dieselben Nerven trifft, welche von dem monochromatischen Lichte am stärksten erregt wurden. Beide Farben werden nur durch ihren Sättigungsgrad von einander verschieden sein: da wir aber nur zwischen niederen Sättigungsgraden einigermaßen fein unterscheiden; so werden wir bei einigermaßen hohem Sättigungsgrade des Gemenges beide Farben für gleich halten. Hieraus erklärt sich weiter, warum alle Farben, auch die reinen Spectralfarben, uns weniger gesättigt erscheinen, wenn ihre Helligkeit über einen gewissen Grad hinaus wächst. Erinnern wir uns daran, dass bei wachsender Stärke des Reizes die Erregung immer langsamer und langsamer wächst und endlich ein Maximum erreicht, welches auch bei weiterem Wachsen des Reizes nicht mehr überschritten wird (§. 3). Ist nun der Reiz, den z. B. monochromatisch grünes Licht auf die rothempfindenden und auf die violett empfindenden Fasern ausübt, anfangs so gering, dass er nicht in Betracht kommt im Vergleich mit dem Reize, welchen dasselbe auf die grünempfindenden Fasern ausübt; so wird bei wachsender Helligkeit doch ein Zeitpunkt eintreten, von dem an dieser bei schwächeren Lichtstärken unbeträchtliche Reiz anfängt sich geltend zu machen, und von da an wird das Grün merklich an Sättigung verlieren. Denken wir uns seine objective Lichtstärke so weit gesteigert, dass für alle drei Arten von Nervenfasern das Maximum der Reizung erreicht ist; so wird uns dies monochromatische Grün geradezu weiss erscheinen. Es erklärt sich zugleich, weshalb die gemischten Farben bei wachsender Lichtstärke noch leichter

an Sättigung verlieren, noch leichter weisslich werden, als die monochromatischen, auch wenn sie bei geringeren Lichtstärken ebenso gesättigt erscheinen wie diese. Hier sind Lichtsorten vorhanden, welche die übrigen Nervenfasern leichter erregen: bei verhältnissmässiger Steigerung der sämmtlichen Lichtsorten werden sie also bald ihre Wirkung geltend machen.

Aus der Lehre von Thomas Young wird es ferner verständlich, wie bei der Mischung zweier Farben auf der Netzhaut die Menge der einen oder der anderen einen bestimmenden Einfluss auf die Natur der Mischfarbe, auf ihre Tinte, ausüben kann, und wie es möglich ist, aus je zwei Farben alle im Systeme zwischen ihnen liegenden Farben bloss dadurch zu mischen, dass man die Mengenverhältnisse abändert, in denen gemischt wird. Gelb ist die Empfindung, welche ich habe, wenn die rothempfindenden und die grünempfindenden Fasern beide gleich stark und stärker als die violett empfindenden erregt werden. Vermehre ich nun die Menge des grünen Lichtes, d. h. die Menge solchen Lichtes, welches die grünempfindenden Fasern stärker erregt als die übrigen, so wird die Empfindung Grün stärker werden, und das Gelb wird durch Grüngelb in Grün übergehen. Vermehre ich dagegen die Menge des rothen Lichtes, d. h. des Lichtes, welches die rothempfindenden Fasern stärker erregt, so wird die Empfindung Roth stärker werden, und das Gelb wird durch Orange in Roth übergehen. Ebenso verhält es sich bei der Mischung von Roth und Violett und Grün und Violett, welche mit einander, die einen die verschiedenen Abstufungen des Purpur, die anderen die verschiedenen Abstufungen des Blau geben.

Man kann sich die drei Grundfarben, aus denen wir unsere ganze Farbenwelt aufbauen, einzeln zur Anschauung bringen (Vergl. Brücke: Ueber einige Empfindungen im Gebiete der Sehnerven. Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissen-

schaften, Jahrg. 1878, Bd. 77, Abth. 3, S. 39—71). Es geschieht dies wenn wir beim Anschauen des prismatischen Farbenbildes den Spalt des Spectroskops immer mehr verengern. Dann verkürzt sich begreiflicher Weise das Spectrum indem die lichtschwachen Enden desselben mehr und mehr unsichtbar werden, zugleich aber schwindet das Blau und bei weiterem Verengern des Spaltes auch das Gelb, so dass nur drei Farben übrig bleiben, Roth, Grün und Violett und zwar Violettblau, eigentliches Veilchenblau. Es erklärt sich dies so, dass im lichtschwachen Spectrum nur noch die Farben zur Geltung kommen, für welche die Erregung einer Art von Fasern genügt, während diejenigen, für welche die Erregung zweier Arten von Fasern nothwendig ist, dadurch in eine der Grundfarben übergehen, dass die Erregung der zweiten Art von Nerven zu schwach ausfällt. Man kann dieselbe Erscheinung hervorrufen, indem man den Spalt, statt ihn zu verengern, durch ein Stück Briefpapier oder durch ein Paraffintäfelchen beschattet. Bedeckt man damit nur den halben Spalt, so hat man Gelegenheit, das lichtschwache Spectrum mit dem lichtstarken zu vergleichen. Man sieht dann, dass das Veilchenblau räumlich nicht dem Violett des lichtstarken Spectrums entspricht, sondern dem Indigblau. Man hat so Gelegenheit, sich in recht auffallender Weise davon zu überzeugen, dass die Farbe nicht nur von der Schwingungsdauer des erregenden Lichtes abhängt, sondern auch von der Intensität. Nach unserer Auffassung erscheint hier für dieselbe Wellenlänge einmal Blau, weil das Licht stark genug ist, um die grünempfindenden Fasern mit zu erregen, das andere Mal Violett, weil dies nicht der Fall ist.

Es muss übrigens bemerkt werden, dass nur der mittlere Theil der Netzhaut das volle Unterscheidungsvermögen für

Farben besitzt, dass es den Seitentheilen abgeht, bemerken wir nicht, weil wir mit ihnen überhaupt schlechter sehen und deshalb wenig auf die von ihnen kommenden Eindrücke achten. Wenn man ein kleines prismatisches Farbenbild mehr und mehr gegen den Rand der Netzhaut hinrückt, so wird zuerst das Roth orange, dann das Grün weisslich, am längsten hält sich noch das Blau. Ein solches Spectrum hat, abgesehen davon, dass die Farben blässer sind, eine gewisse Aehnlichkeit mit einem Spectrum, das man dadurch verdorben hat, dass man den Spalt auf zwei Millimeter oder darüber öffnete. Einige geben an, dass sie auf dem Randtheile der Netzhaut geradezu rothblind seien.

Rothblindheit im ganzen Sehfelde ist eine häufige Form der Farbenblindheit. Farbenblind nennt man im Allgemeinen Diejenigen, welche leicht unterscheidbare Farben verwechseln, beziehungsweise sich mit ihren Mitmenschen nicht über die Benennung der Farben einigen können. Sie sehen eben die Farben anders als ihre Mitmenschen, und das muss immer der Fall sein, wenn die Erregbarkeit ihrer verschiedenen Arten von Sehnervenfasern in anderer Weise als gewöhnlich von der Wellenlänge abhängig ist. Farbenblind im strengen Sinne des Wortes sind nur Solche, welche gar keine Farben sehen, welche die Welt sehen wie einen Kupferstich. Es scheinen dies meist Solche zu sein, bei denen das Maximum der Erregbarkeit für alle drei Arten von Fasern in eine und dieselbe Wellenlänge fällt, seltner solche, bei denen überhaupt nur eine Art von Fasern functionirt. Ich sage dies im Sinne der Young'schen Theorie, welche eine solche Unterscheidung machen lässt. Dass Farbenblinde nicht geeignet sind, Maler und Decorateure zu werden, wusste man längst, aber erst später hat man erfahren, wie verhängnissvoll ein solcher

Fehler bei Eisenbahnbeamten werden kann, indem sie verschiedenfarbige Signale verwechseln. Seitdem sind es namentlich die Studien und Erfindungen des schwedischen Physiologen Frithjof Holmgren gewesen, welche gelehrt haben hier Vorsorge zu treffen.