wenn ein hinreichend starker Eindruck gemacht ist, ein positives gleichgefärbtes Nachbild auf, dann wechseln negatives complementär gefärbtes und positives gleichgefärbtes Nachbild mehrmals mit einander ab, um so häufiger, je stärker der Eindruck gewesen ist, und endlich steht das negative complementär gefärbte Nachbild noch eine Weile, und die Retina kommt dann wieder zur Ruhe. Wenn der Eindruck nicht von monochromatischem Lichte gemacht wurde, sondern von weissem, gemischtem Lichte, hat man keineswegs immer weisse oder schwarze Nachbilder, sondern bei stärkeren Lichteindrücken hat man farbige Nachbilder, bei denen eine Farbe die andere verdrängt. Das beruht darauf, dass die Nachbilder der verschiedenen Farben zeitlich auseinanderfallen und deshalb auch nicht miteinander Weiss geben können, sondern verschiedene Farben nacheinander zum Vorschein kommen. Man hat dies mit dem Namen des Abklingens des Nachbildes durch verschiedene Farben bezeichnet. Es ist dabei merkwürdig, dass, wenn man ein positives Nachbild von einer bestimmten Farbe bei geschlossenen und bedeckten Augen hat, und man das Auge öffnet und auf einen hellen Grund sieht, auf dem hellen Grunde das negative complementär gefärbte Nachbild auftritt. Das Auge ist also objectiv unterempfindlich gegen die Farbe, die es eben subjectiv empfunden. Wenn nun kein Nachbild mehr vorhanden ist, so ist doch nach den Lichteindrücken das Auge nicht ganz in seinem Normalzustande, in ähnlicher Weise, wie wir gesehen haben, dass ein Nerv, durch den ein Strom hindurchgegangen ist, noch nicht ganz in seinem Normalzustande ist, wenn auch kein Oeffnungstetanus mehr vorhanden ist. Dies zeigt sich an einer Verstimmung der Retina, in welcher die Farben anders wahrgenommen werden als sonst, und das gibt Veranlassung zu einer neuen Art von Contrastwirkungen. Durch den dauernden Eindruck einer Farbe ist die Retina unterempfindlich geworden gegen dieselbe Farbe, und man sieht daher die complementäre Farbe subjectiv verstärkt. Wenn wir eine Zeit lang auf einen rothen Gegenstand gesehen haben, und sehen von demselben weg auf einen grauen Gegenstand, so erscheint uns dieser grünlich, und umgekehrt, wenn längere Zeit hindurch grünes Licht auf unser Auge eingewirkt, so erscheint uns ein grauer Gegenstand, auf den wir sehen, röthlich u. s. w.

Thomas Young's Theorie.

Es handelt sich nun darum, wie sollen wir uns alle diese Farbenerscheinungen erklären, wie sollen wir uns überhaupt eine Vorstellung davon machen, dass es möglich sei, dass wir so viele Arten von Farben unterscheiden? Unterscheiden wir sie, weil in ein und derselben Art von Nerven durch sie verschiedene Erregungszustände hervorgerufen werden, oder unterscheiden wir sie dadurch, dass wir verschiedene Arten von Nervenfasern im N. opticus haben, die jede, sie mögen von was immer für Licht erregt werden, wenn sie einmal erregt, uns immer eine bestimmte Farbenempfindung verursachen? Wenn ich sage, verschiedene Arten von Nervenfasern, so meine ich hier, wie anderswo, nicht dass die Nervenfasern als solche verschieden sein müssen, sondern nur, dass sie mit verschiedenartigen Centralgebilden, Nervenzellen des Centralorgans, verbunden sind, und dass uns qualitativ verschiedene Empfindungen erwachsen, je

nachdem die eine oder die andere Art von Centralgebilden erregt wird. Die erstere Vorstellung, die, dass die verschiedenen Farben je nach ihrer Wellenlänge verschiedene Erregungszustände im N. opticus hervorriefen, war bis vor verhältnissmässig kurzer Zeit die herrschende. Aber Thomas Young hatte schon im Anfange dieses Jahrhunderts eingesehen, dass man mit dieser Art der Erklärung nicht auskommen könne, und er stellte deshalb eine andere Theorie auf, die ganz in Vergessenheit gerathen war, bis Helmholtz sie von Neuem auseinandergesetzt und mit neuen Beweismitteln gestützt hat. Die Young-Helmholtz'sche Theorie von der Perception der Farben sagt aus, dass sich im Sehnerven dreierlei Arten von Nervenfasern befinden, von denen die einen, wenn sie erregt werden, uns die Empfindung Roth verursachen, die anderen die Empfindung Grün und die dritten die Empfindung Violett hervorrufen. Alle drei Arten von Nervenfasern können zwar erregt werden durch alle Strahlen, die uns überhaupt leuchtend erscheinen, aber diejenigen, welche uns die Empfindung Roth verursachen, werden am stärksten von den langwelligen Strahlen erregt, die Nervenfasern, welche uns die Empfindung Violett verursachen, werden am stärksten durch die kurzwelligen Strahlen des Spectrums erregt, und diejenigen Nervenfasern, welche uns die Empfindung Grün verursachen, werden am stärksten erregt durch die Strahlen von einer mittleren Wellenlänge, durch die Strahlen, die dem spectralen Grün an Wellenlänge entsprechen. Fällt nun auf unser Auge monochromatisch rothes Licht, so wird dies alle Nervenfasern erregen, aber die rothempfindenden am stärksten, wir werden also Roth sehen. Fällt grünes Licht in unser Auge, so wird es alle Arten von Nervenfasern erregen, aber die grünempfindenden am stärksten, wir werden also Grün sehen. Wenn violettes monochromatisches Licht in unser Auge fällt, wird es alle Arten von Nervenfasern erregen, aber die violettempfindenden am stärksten, wir werden also Violett sehen. Wenn monochromatisch gelbes Licht in unser Auge fällt, so wird es sowohl die rothempfindenden, als auch die grünempfindenden Fasern relativ stark erregen, und dadurch wird für uns ein gemischter Eindruck entstehen, den wir Gelb nennen. Ist die Wellenlänge grösser, wird das Roth vorherrschend, und wir werden Orange sehen. Ist die Wellenlänge etwas geringer, so wird die Erregung der grünempfindenden Fasern vorherrschend, und wir werden Gelbgrün sehen. Wirkt monochromatisch blaues Licht auf unsere Netzhaut, so werden sowohl die grün- als die violettempfindenden Fasern erregt, dadurch wird ein gemischter Eindruck entstehen, welchen wir Blau nennen. Ist die Wellenlänge der Strahlen etwas grösser, so wird der Eindruck zum Grün hinziehen, indem die grünempfindenden Fasern stärker erregt werden. Wird dagegen die Wellenlänge kürzer, wird er mehr zu Ultramarin und Indigo ziehen, weil nun die violettempfindenden Fasern stärker erregt werden.

Da jede Art von Licht nach dieser Theorie alle drei Arten von Nerven erregt, so sind nach ihr auch die reinen Spectralfarben im physiologischen Sinne nicht absolut gesättigt, und in der That hat Helmholtz gezeigt, dass man ihre Sättigung dadurch noch erhöhen kann, dass man das Auge vorher gegen die Complementärfarbe abstumpft.

Wir haben gesehen, dass ganz ähnliche Eindrücke, wie sie die einzelnen Spectralfarben hervorbringen, auch hervorgebracht werden können durch gemischte Farben, dass z. B. Roth und Grün, welches wir auf dem

Farbenkreisel miteinander mischen, Gelb geben, dass Grün und Violett miteinander Blau hervorbringen können u. s. w. An der Erklärung dieser Erscheinung ist man früher, ehe die Young'sche Theorie wieder in Aufnahme kam, immer gescheitert. Man hat sie erklären wollen aus der Wellentheorie nach dem Principe der Interferenz. Aber man ist hiebei niemals zu Resultaten gelangt, die mit der Wirklichkeit übereinstimmen, und es lässt sich auch leicht zeigen, dass überhaupt nach dem Principe der Interferenz diese Erscheinungen nicht erklärt werden können. Denn erstens kommt es nicht nur darauf an, welche Farben wir miteinander mischen, sondern auch darauf, in welcher Menge wir dieselben miteinander mischen. Ich kann aus einem bestimmten Roth und einem bestimmten Grün alle dazwischen liegenden Arten Gelb mischen, einfach dadurch, dass ich einmal mehr die Intensität des Grün, und das andere Mal mehr die Intensität des Roth wachsen lasse: zweitens aber, und das ist ein absolutes Hinderniss für jede Erklärung aus der Undulationstheorie, ich kann die Farben für mein Gesicht in der Weise mischen, dass die eine Farbe nur in das eine Auge und die andere Farbe nur in das andere Auge hineinkommt. Wenn ich dem einen Auge Roth und dem andern Blau darbiete und fixire einen bestimmten Punkt, so sehe ich, wie wir später erfahren werden, Violett. Hiemit ist jede Art von physikalischer Erklärung solcher Farbenmischung ausgeschlossen. Die Young'sche physiologische Theorie gibt aber eine sehr einfache Erklärung. Sie sagt nämlich: Wenn gemischtes oder monochromatisch rothes Licht auf meine Augen wirkt, so erregt es alle Fasern, aber die rothempfindenden am stärksten, und wenn grünes Licht, gemischtes oder monochromatisches, auf meine Augen einwirkt, so erregt es alle Fasern, aber die grünempfindenden am stärksten. Beide gleichzeitig geben also einen gemischten Eindruck, der Gelb ist, weil er analog ist demjenigen Eindrucke, den das gelbe Licht hervorbrachte, das auch alle Fasern erregte, aber die roth- und grünempfindenden Fasern stärker als die violettempfindenden. Mit dieser Erklärung ergibt sich auch sehr leicht, warum man alle Nuancen zwischen Grün und Roth hervorbringen kann, je nachdem man die Intensität der einen oder der andern Strahlen steigert. Man bringt nämlich durch Steigern der Intensität des rothen Lichtes dasselbe hervor, was man bei Versuchen mit monochromatischem Lichte dadurch hervorbringt, dass man von Gelb weiter gegen Roth hin geht. Wenn ich aber bei gemischtem Lichte die Intensität des Grün steigere, wird die Erregung der grünempfindenden Fasern grösser, ich bringe also dasselbe hervor, als wenn ich mich bei Versuchen mit monochromatischem Lichte gegen die Seite des Grün hin begebe.

Es sind nicht Alle einig darüber, welche die Grundfarben seien, da es ja möglich sein würde, auch aus anderen Farben als aus Roth, Grün, Violett die übrigen zu mischen. Man hat in früherer Zeit Roth, Gelb und Blau allgemein als die Grundfarben aufgestellt. Dies rührte daher, dass man aus Pigmenten zwar Grün und Violett, aber nicht Gelb und Blau mischen konnte. Aber das ist hier durchaus nicht massgebend, weil bei den Pigmenten, wie wir früher gesehen haben, durch Subtraction gemischt wird, und auf der Netzhaut, in unserer Empfindung, durch Addition, durch gleichzeitige Erregung mehrerer Arten von Nervenfasern. Darin, dass zwei der Grundfarben Roth und Grün seien, sind alle Anhänger der Young-Helmholtz'schen Theorie einig. Es handelt sich nur noch um die dritte.

Während Helmholtz Violett für die dritte Grundfarbe hielt, sind Maxwell und Exner der Meinung, dass es nicht das eigentliche Violett sei, sondern die als Indigo bezeichnete Zone, die zwischen dem eigentlichen Violett und dem Blau liegt. Exner sagt: Die Grundfarben erregen zwar alle Fasern, aber immer eine am stärksten. Da aber andererseits die gemischten Farben immer zwei Arten von Nervenfasern stärker erregen, so muss man die gemischten Farben mehr als die Grundfarben verändert finden, wenn man das Auge gegen eine Art von Licht abstumpft und dann die betreffende Spectralfarbe ansieht. Diejenigen Farben, welche sich so untersucht am unveränderlichsten zeigen, das müssen die Grundfarben sein. Er ist auf diese Weise zu dem Resultate gekommen, dass Roth und Grün zwei der Grundfarben seien; er fand aber, dass Violett veränderlicher ist als jene Zone des Indigo. Wenn er sein Auge gegen Roth abstumpfte, so erschien ihm spectrales Violett mehr Blau, wenn er dagegen sein Auge durch intensives blaues Licht abstumpfte, dann erschien ihm das Violett auffällig röther als im gewöhnlichen Zustande.

Ich betrachte, um mir die Grundfarben zur Anschauung zu bringen, ein reines, aber sehr lichtschwaches Spectrum, damit die Schwingungen jeder Dauer möglichst nur eine Art von Nervenfasern wirksam erregen, diejenigen, welche sie am stärksten erregen, und nicht auch eine zweite oder dritte, welche sie erst in zweiter oder dritter Reihe zu erregen geeignet sind. Dann bleiben bei abnehmender Lichtstärke drei Farben übrig, Roth, Grün und Violettblau. Dieses Violettblau ist wahres Veilchenblau und gleicht nicht ganz dem äussersten Violett des lichtstarken Spectrums. Es liegt auch nicht an dessen Stelle, sondern da, wo im lichtstarken Spectrum Indigoblau liegt. Die Zone, die im lichtstarken Spectrum das eigentliche Violett darstellt, ist schon durch ihre Lichtschwäche unsichtbar geworden. Aus dem Gesagten geht zugleich hervor, dass die Farbe auch des physikalisch einfachen Lichtes nicht allein von seiner Schwingungsdauer abhängt, sondern auch die Amplitude unter Umständen einen wesentlichen Einfluss ausübt. Da, wo man im lichtschwachen Spectrum Veilchenblau sieht, sieht man im lichtstarken wahres Blau, nach der Theorie, in Folge von Miterregung der grünempfindenden Fasern.

Farbenblindheit.

Farbenblind nennt man solche Menschen, welche verschiedene Farben verwechseln oder sich mit den Normalsichtigen über die Benennungen der Farben nicht einigen können. Es ist dabei keineswegs vorausgesetzt, dass sie überhaupt keine Farben empfinden. Wo Letzteres der Fall ist, müsste man dies als absolute Farbenblindheit oder als Farbenblindheit im engeren Sinne des Wortes bezeichnen.

Denken Sie sich, Sie könnten für das prismatische Farbenbild eine Curve entwerfen, welche durch die Höhe ihrer Ordinaten die Grösse der Wirkung angibt, welche jede einzelne schmale Zone des Spectrums, jede einzelne Farbe auf den Normalsichtigen ausübt, und nun denken Sie sich ein Auge, für welches diese Curve wesentlich anders ausfällt, so wird dieses Auge im gewöhnlichen Sinne farbenblind sein, denn es sieht die Farben der Dinge, die ja in der Regel zusammengesetzte, gemischte sind, anders als die Normalsichtigen.