©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Über
die Farben ungefärbter Körper.

Von

Dr. Anton Lampa,
Universitätsprofessor.

Vortrag, gehalten den 9. Dezember 1908.

(Mit Experimenten.)

Mit 2 Abbildungen im Texte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Unser Urteil über die Farbe eines Körpers bezieht sich gewöhnlich auf sein Aussehen im Tageslicht. Es ist eine alltägliche Erfahrung, daß im künstlichen Lichte die Körperfarben oft verändert erscheinen. Gemälde, die doch immer im Tageslicht gemalt sind, müssen wir im Tageslicht betrachten, wenn wir den Farbeneindruck erhalten wollen, den der Maler in seinem Bilde festhalten wollte; Stoffe zeigen im künstlichen Lichte oft eine ganz andere Farbe als im Tageslicht. Diese Erfahrungen des täglichen Lebens erweisen bereits die Tatsache, daß das, was wir die Farbe eines Körpers nennen, etwas Veränderliches ist, daß es mitbestimmt wird durch die Eigenschaften des Lichtes, in welchem wir den Körper betrachten. Unsere künstliche Beleuchtung hat die Aufgabe, den Tag zu verlängern; naturgemäß verwenden wir zur künstlichen Beleuchtung Lichtquellen, deren Licht sich von dem Tageslicht nicht allzusehr unterscheidet. Das Licht eines brennenden Kienspans, das Licht einer Kerze, einer Petroleumlampe, einer elektrischen Glühlampe und das Bogenlicht haben eine ausreichende Ähnlichkeit mit dem Tageslicht. Das Auerlicht erscheint uns schon weniger natürlich und nur die große Billigkeit dieses Beleuchtungssystems hat seine ausgedehnte Ver-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

wendung zur Folge gehabt. Immerhin gibt es aber eine Grenze für ein solches Kompromiß zwischen dem Unbehagen, das uns eine größere Abweichung vom Tageslicht macht, und dem Behagen an ökonomischem Vorteil. Bengalisches Feuer würde niemand, und wäre es noch so billig, zur Beleuchtung verwenden, und ebensowenig vermag die billigste Lichtquelle, die wir derzeit kennen, die Quecksilberdampflampe, sich Eingang als Beleuchtungsmittel von Straße und Wohnraum zu verschaffen. Das liegt eben daran, daß die Veränderungen, welche die Körperfarben in ihrem Lichte erfahren, so außerordentliche sind, daß unser ganzes gewohntes Sehen gewissermaßen auf den Kopf gestellt wird. Solche Lichtquellen, deren Licht sich von dem natürlichen Tageslicht beträchtlich unterscheidet, sind aber sehr wertvoll, wenn wir uns die Tatsache zum Bewußtsein bringen wollen, daß die Farben der Körper durch die Natur des Lichtes, in welchem wir sie sehen, mitbestimmt werden. Betrachten wir z. B. einige farbige Papiere zuerst im Lichte einer Bogenlampe und dann im Lichte der Quecksilberdampflampe. Welch starke Unterschiede treten bei manchen dieser Papiere auf! Ein Papier, das im Lichte der Bogenlampe intensiv rot ist, erscheint im Lichte der Dampflampe ganz schwarz u. ä.

Überlegen wir uns die Bedeutung dieser so einfachen Beobachtungen, so zeigen sie uns, daß die Definition der Eigenfarbe eines Körpers keine so einfache Sache ist, wie es zunächst erscheinen mag. Aber wir erhalten einen Hinweis auf den Weg, den wir zur Auf-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

suchung einer zulänglichen Definition gehen müssen, aus eben diesen Beobachtungen. Seit Newton wissen wir, daß das Tageslicht ein aus verschiedenen Lichtarten zusammengesetztes Licht ist; diese Bestandteile des Tageslichtes kann man durch ein einfaches Instrument, das Prisma, voneinander sondern. Wir entwerfen zunächst mittels einer Linse das Bild einer vom elektrischen Bogenlicht erleuchteten Spalte auf einem weißen Schirme. Stellen wir nun ein sogenanntes geradsichtiges Prisma (Prisma à vision directe) in den Gang der Strahlen, so sehen wir an Stelle des schmalen weißen Spaltbildes ein Farbenband auftreten, welches man als Spektrum bezeichnet. Durch das Prisma erfahren die einzelnen farbigen Bestandteile des weißen Lichtes eine Abänderung ihrer Bahn, so daß nun die einzelnen farbigen Bilder der Spalte nicht mehr zusammenfallen, sondern nebeneinander zu liegen kommen. Das Spektrum ist also nichts anderes als der Komplex der nebeneinandergelagerten verschiedenfarbigen Bilder der Spalte.

Betrachten wir unser auf dem weißen Schirme entworfenes Spektrum genauer, so sehen wir, daß es lückenlos ist, daß die Farbennuancen von Rot bis Violett ohne Unterbrechung verlaufen. Daraus dürfen wir schließen, erstens daß das Licht der Bogenlampe alle Farbennuancen zwischen Rot und Violett enthält, zweitens aber auch, daß der weiße Schirm keine einzige dieser Farbennuancen absorbiert, sondern sie alle in gleicher Weise zu reflektieren vermag. Daraus folgt weiter, daß das auf einem weißen Schirme objektiv ent-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

worfene Spektrum irgendeiner Lichtquelle identisch ist mit dem subjektiv beobachtbaren Spektrum dieser Lichtquelle, welches wir beobachten, wenn wir eine von dieser Lichtquelle beleuchtete Spalte durch ein Prisma betrachten. Wir sind nun schon in der Lage, die weiße Farbe zu definieren. Wenn wir einen Teil des Schirmes rot sehen, so heißt dies, daß von diesem Teile des Schirmes rotes Licht ausgeht. Der weiße Schirm hat also die Fähigkeit, das auffallende rote Licht zurückzuwerfen. Desgleichen vermag er aber auch das gelbe, grüne, blaue Licht, kurz alle Farbennuancen, die im Spektrum des Tageslichtes enthalten sind, zu reflektieren. Ein Körper ist also weiß, wenn er alle Farben, die im Tageslicht (d. i. Sonnenlicht) vertreten sind, zurückzuwerfen vermag. Ein solcher Körper muß demgemäß immer die Farbe desjenigen Lichtes zeigen, in welchem wir ihn betrachten; er wird im roten Lichte rot, im grünen grün usf. erscheinen.

In ähnlicher Weise werden wir zu der Definition einer anderen, nicht weißen Körperfarbe gelangen, wenn wir das Spektrum des Tageslichtes (oder des ihm ähnlichen Bogenlichtes) auf dem Körper entwerfen, oder, wenn seine Ausdehnung zu gering ist, den Körper durch das Spektrum hindurchführen. Wir werden finden, daß der Körper auswählende Reflexion zeigt. In jenen Farbengebieten des Spektrums, die der Körper nicht zu reflektieren vermag, erscheint er schwarz. Im allgemeinen ist die auswählende Reflexion, welche die Körperfarbe bedingt, nicht auf einen einzigen schmalen Spektralbezirk

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

beschränkt. Die Körperfarben sind daher im allgemeinen Mischfarben aus allen von dem Körper reflektierten Farbennuancen. Wir verstehen nun, wie sich die Farbe eines Körpers mit der Beleuchtung ändern muß. Fehlt in dem beleuchtenden Lichte auch nur eine der Farbennuancen, welche der Körper zu reflektieren vermag, so fehlt dann diese Farbennuance auch in dem von dem Körper reflektierten Lichte, seine Farbe ist somit geändert. Die Änderung wird bedeutend und auffallend, sobald in der Beleuchtung jene Lichtart fehlt, welche den Hauptbestandteil in der Farbe des Körpers ausmacht. Aber nicht bloß das vollständige Fehlen einer bestimmten Lichtsorte, sondern schon eine größere Abweichung in der Intensitätsverteilung der einzelnen Lichtarten der Beleuchtung gegenüber der Intensitätsverteilung im Tageslicht kann beträchtliche Farbenänderungen herbeiführen, indem dann in dem reflektierten Lichte gerade die Hauptnuance bloß sehr schwach und eine Nebennuance sehr stark vertreten sein und damit der Charakter der Mischfarbe total verändert erscheinen kann.

Wir haben bis jetzt nur undurchsichtige Körper im Auge gehabt, können uns aber in bezug auf durchsichtige ganz kurz fassen. Die Farbe ist hier durch auswählende Absorption bedingt: ein rotes Glas läßt, wie Sie sehen, in der Hauptsache bloß den roten Teil des Spektrums durch, ein blaues den blauen usf. Ein Körper, welcher alle Lichtsorten hindurchläßt, ist farblos, ein Körper, welcher alle Lichtsorten reflektiert, ist weiß, ein Körper, der alle Lichtsorten absorbiert, ist schwarz. Ob es sich

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nun um die Farbe im reflektierten oder im durchfallenden Lichte handelt, es ist immer das eigentümliche Verhalten des Körpers gegen bestimmte Lichtsorten, auswählende Reflexion oder Absorption, durch welches die Farbe des Körpers bestimmt erscheint.

Welcher Art nun die Umstände sind, durch welche dieses eigentümliche Verhalten der Körper bedingt ist, ist eine interessante und wichtige Frage. Einen Hinweis, in welcher Richtung die Lösung derselben zu suchen ist, erhalten wir durch Beobachtungen, welche das Auftreten von Farben an farblosen Körpern betreffen. Das erste hierhergehörige Beispiel sind die Farben der Seifenblasen. Ich projiziere das Bild einer Seifenblase, die ich zum Schutze gegen Luftströmungen und gegen zu schnelle Verdampfung ihres Wassers in einem Glaskolben erzeuge, der ein wenig Wasser enthält, auf den Schirm. Sie sehen das Auftreten von Farben, sobald die Blase etwas größer wird. Die Erklärung dieser Farben, die man als Farben dünner Plättchen bezeichnet, ist auf Grund der Wellentheorie des Lichtes zuerst von Young gegeben worden. Wir wollen zunächst das Verhalten einer sehr dünnen Luftplatte untersuchen, die wir durch zwei planparallele, zu einander parallele Glasplatten abgrenzen. In Fig. 1 sind nur die Begrenzungsebenen des Luftplättchens gezeichnet. Ein Strahl AB falle senkrecht zu der Luftplatte ein. Nun wird ein Teil des Lichtes in der Richtung BA zurückgeworfen, der andere Teil dringt in das Luftplättchen ein, gelangt nach C, wo er zum Teil nach B reflektiert wird, zum Teil nach D weitergeht. Der nach B ge-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

langte Anteil wird wieder zum Teil reflektiert, während ein Teil desselben in der Richtung BA weitergeht. In dem von B nach A gehenden Lichte haben wir also solches, welches direkt in B reflektiert wurde, dann solches, welches den Weg $BC + CB = 2\,BC$, ferner solches,

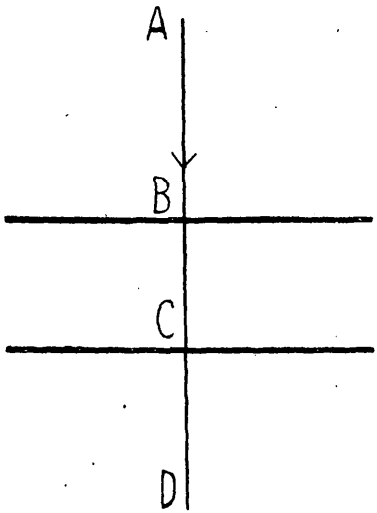

Fig. 1.

welches den Weg $BC + CB + BC + CB = 4\,BC$ usf. zurückgelegt hat. In dem in der Richtung CD durchgelassenen Lichte haben wir solches, welches direkt von B über C nach D weiterging, dann solches, welches außerdem noch infolge von Reflexionen an den Begrenzungsflächen des Luftplättchens die Wege $2\,BC$, $4\,BC$

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

usf. zurückgelegt hat. Wir sehen: sowohl in der Richtung *BA* als auch in der Richtung *CD* wirkt eine unendliche Anzahl von Strahlen zusammen, die gegen einander Unterschiede in der Weglänge, Gangunterschiede, aufweisen. Da alle diese Strahlen von demselben Strahle *AB* herstammen, läßt sich das Resultat ihres Zusammenwirkens leicht bestimmen. Wir wollen die vollständige Berechnung nicht durchführen; da die Lichtstärke der wiederholt reflektierten Strahlen zufolge des Umstandes, daß bei jeder Reflexion ein Teil des Lichtes immer durch die reflektierende Ebene hindurchtritt, gering ist, so ist das Resultat, welches die vollständige Berechnung liefert, nicht wesentlich verschieden von demjenigen, welches man bei Beachtung des direkten und des ersten reflektierten Strahles allein erhält. Betrachten wir zunächst das Verhalten des Plättchens im reflektierten Lichte, so erscheinen somit für dasselbe maßgebend der in *B* reflektierte Strahl *BA* und der Strahl, welcher von *B* nach *C* gelangte, dort reflektiert wurde und dann wieder bei *B* austretend in der Richtung *BA* weitergeht. Setzen wir die Plättchendicke $BC = d$, so ist der Wegunterschied dieser beiden Strahlen $2\,d$. Diese Größe gibt aber noch nicht den gesamten Gangunterschied der beiden Strahlen an. Wir müssen beachten, daß der erste Strahl in *B*, an dem dünneren Medium, der Luft, der zweite in *C*, an dem dichteren Medium, dem Glas, reflektiert wurde. Nun unterscheiden sich aber diese beiden Arten von Reflexionen von einander, indem nämlich bei der Reflexion am dünneren Medium ein Wellenberg als Wellental, bei

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

der Reflexion am dichteren Medium ein Wellenberg aber als Wellenberg zurückgeworfen wird. Die Reflexion am dichteren Medium wirkt infolgedessen so, als ob die Welle noch einen um eine halbe Wellenlänge größeren Weg zurückgelegt hätte. Bezeichnen wir die Wellenlänge des verwendeten Lichtes mit l, so beträgt demnach der Gangunterschied unserer beiden Strahlen $2\,d + \frac{l}{2}$. Ist dieser Gangunterschied gleich einer geraden Anzahl halber Wellenlängen, so verstärken sich die beiden Strahlen, ist er gleich einer ungeraden Anzahl halber Wellenlängen, so vernichten sie sich: im ersteren Falle muß das Plättchen im reflektierten Lichte hell, im zweiten hingegen dunkel erscheinen.

Die verschiedenen Farben des Spektrums unterscheiden sich durch ihre Wellenlänge, und zwar umfaßt das Spektrum alle Wellenlängen von etwa 680 (äußerstes Rot) bis etwa 410 Milliontel Millimeter (äußerstes Violett). Man ersieht hieraus, daß, wenn ein Plättchen bei Beleuchtung mit einer bestimmten Wellenlänge l dunkel erscheint, es bei Beleuchtung mit einer anderen Wellenlänge l' im allgemeinen nicht mehr dunkel erscheinen wird, da ja $2\,d + \frac{l'}{2}$ im allgemeinen nicht ein ungerades Vielfaches von $\frac{l'}{2}$ sein muß, wenn $2\,d + \frac{l}{2}$ ein ungerades Vielfaches von $\frac{l}{2}$ ist. Nur in einem Falle wird das Plättchen bei Beleuchtung mit jeder beliebigen Wellenlänge

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

dunkel erscheinen, nämlich wenn seine Dicke d unendlich klein ist. Dann reduziert sich der Ausdruck für den Gangunterschied auf $\frac{l}{2}$, d. h. der Gangunterschied beträgt für jede beliebige Wellenlänge stets eine halbe Wellenlänge, womit die Bedingung für die Auslöschung für jede beliebige Farbe erfüllt ist.

Beleuchtet man nun ein dünnes Luftplättchen von der Dicke d mit weißem Lichte, so erscheint das Plättchen im reflektierten Lichte in kräftigen Farben. Die Erklärung hierfür ergibt sich aus den vorhergehenden Überlegungen. Beträgt z. B. die Dicke des Plättchens 325 Milliontel Millimeter, so ist das rote Licht von der Wellenlänge 650 Milliontel Millimeter im reflektierten Lichte vollständig ausgelöscht, indem der Gangunterschied für die beiden ersten Strahlen dieser Lichtart im reflektierten Lichte $2 \times 325 + \frac{650}{2} = 3 \times \frac{650}{2}$, also drei halbe Wellenlängen dieser Lichtart beträgt. Auch für Wellenlängen, die von 650 Milliontel Millimetern nicht weit abliegen, wird sich die Größe $2\,d + \frac{l}{2}$ nicht viel von drei halben Wellenlängen unterscheiden; es werden daher auch diese Lichtarten im reflektierten Lichte nur sehr schwach vertreten sein, d. h. im reflektierten Lichte wird das ganze rote Licht merklich fehlen. Kann noch eine zweite Lichtart fehlen? Diese müßte eine Wellenlänge von solcher Größe haben, daß zwei halbe Wellenlängen gleich der Dicke des Plättchens sind; dann

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

würde der Gangunterschied $2d + \frac{l}{2}$ fünf halbe Wellenlängen dieser Lichtart ausmachen. Diese Wellenlänge wäre 325 Milliontel Millimeter, aber diese Wellenlänge kommt im Spektrum nicht mehr vor. Unser Plättchen verlöscht also im reflektierten Lichte bloß das rote Licht, es muß daher in einer Mischfarbe erscheinen, die aus den übrigbleibenden Farben zusammengesetzt ist. Unter diesen herrscht diejenige vor, für welche der Gangunterschied $2d + \frac{l}{2}$ ein gerades Vielfaches der halben Wellenlänge ist. Wir finden im Bereiche des weißen Lichtes für die gewählte Plättchendicke nur eine derartige Wellenlänge, nämlich die von 433 Milliontel Millimetern, welche einer blauen Farbe entspricht. Die Mischfarbe, in welcher das Plättchen im reflektierten Lichte erscheint, ist himmelblau. — Analog wäre die Betrachtung für das durchgelassene Licht durchzuführen. Es genügt mitzuteilen, daß die Erscheinungen im durchgelassenen Lichte komplementär sind zu jenen im reflektierten, d. h. daß sich die durchgelassenen Farben mit den reflektierten zu Weiß ergänzen.

Wir haben gesehen, daß unser Plättchen von 325 Milliontel Millimeter Dicke im reflektierten Lichte im wesentlichen nur eine Lichtsorte, das Rot, verlöscht. Durch Überlegungen, welche den durchgeführten ganz gleichartig sind, findet man, daß bei größerer Plättchendicke die Zahl der ausgelöschten Farbentöne größer ist, während die Auslöschung sich immer nur auf einen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

kleinen Bezirk erstreckt. So verlöscht z. B. ein Plättchen von 32500 Milliontel Millimeter Dicke die Farbentöne, welche durch die Wellenlängen $l = \frac{32500}{n}$ charakterisiert sind, wobei n eine ganze Zahl ist. Von diesen Wellenlängen liegen im Bereiche des sichtbaren Spektrums diejenigen, welche wir nach der angegebenen Formel mit $n = 48$ bis $n = 79$ berechnen; es sind dies: für $n = 48 : l = 677$, $n = 49 : l = 663$, $n = 50 : l = 650$ usf. bis $n = 79 : l = 411$ Milliontel Millimeter. Die nächsten Nachbarfarben der ausgelöschten Farben sind hier aber schon sehr kräftig. So ist z. B. der Gangunterschied im reflektierten Lichte für die Wellenlänge

$$650 = 32500 + \frac{650}{2} = \frac{65000 + 650}{2} = 101 \,.\, \frac{650}{2},$$

also eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen; diese Farbe wird ausgelöscht. Für die sehr benachbarte Farbe mit der Wellenlänge 644 Milliontel Millimeter ist der Gangunterschied $32500 + \frac{644}{2}$ nahe gleich $102 \,.\, \frac{644}{2}$, also eine gerade Anzahl halber Wellenlängen; diese Farbe wird daher kräftig reflektiert. Beleuchtet man mit weißem Lichte, so fehlen also im reflektierten Lichte eine große Anzahl von Farbentönen, aber die Auslöschung betrifft immer nur einen sehr schmalen Bezirk. Die Folge davon ist, daß die Mischfarbe der übrigbleibenden Farben sich nicht merklich von Weiß unterscheidet. Diese Überlegungen zeigen uns, warum im Vergleiche zur Wellen-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

länge dicke Platten keine Farbenerscheinungen wie dünne Plättchen zeigen.

Eine einfache Vorrichtung, mittels welcher man die Erscheinungen in ihrer Ahängigkeit von der Dicke des Plättchens übersehen kann, ist das Newtonsche Farbenglas. Ehe ich dieses zeige, will ich erst zur Illustrierung des zuletzt Gesagten das Spektrum von Licht entwerfen, das durch ein Didymglas hindurchgegangen ist. Sie sehen in diesem Spektrum ziemlich scharf aus-

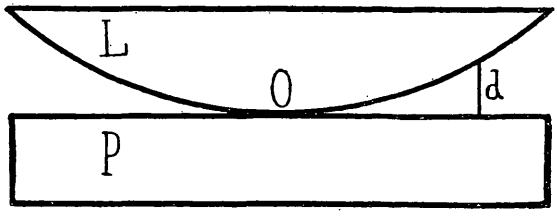

Fig. 2.

geprägte, schmale Absorptionslinien; trotzdem erscheint das Didymglas wasserhell, die durchgelassenen Lichter geben in ihrer Gesamtheit ein Licht, das sich von dem einfallenden Lichte nicht merklich unterscheidet, da die Absorption nur sehr schmale Gebiete betrifft. Das Newtonsche Farbenglas (Fig. 2) besteht aus einer planparallelen Glasplatte *P* und einer plankonvexen Linse *L* von schwacher Krümmung, welche mit der gekrümmten Fläche auf die Platte aufgesetzt ist. Die Luftschicht zwischen Linse und Platte gibt Anlaß zu Interferenzerscheinungen. Diese sind symmetrisch um den Punkt *O*

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

und bestehen in einem System konzentrischer Ringe. In *O* und dessen nächster Umgebung herrscht im reflektierten Lichte Dunkelheit, da hier die Dicke der Luftplatte den Wert Null hat. Im übrigen herrscht im reflektierten Lichte Dunkelheit, wo die doppelte Dicke der Luftschicht $2d$ gleich einem geraden Vielfachen, Helligkeit, wo sie gleich einem ungeraden Vielfachen der halben Wellenlänge der zur Beleuchtung verwendeten Lichtart ist. Da die Wellenlängen des roten Lichtes größer sind als die des blauen, so ist der Abstand der Ringe im roten Lichte größer als im blauen. Verwendet man zur Beleuchtung weißes Licht, so überdecken sich die Interferenzerscheinungen der einzelnen Farben teilweise. Die Zahl der sichtbaren Ringe ist jetzt geringer als bei Verwendung von homogenem, einfarbigem Lichte, da, gemäß den Ausführungen über dicke Plättchen, bei Verwendung von weißem Lichte zur Beleuchtung das reflektierte Licht bei größerer Plättchendicke, also gegen den Rand des Farbenglases hin, weiß ist.

Die Farben von Seifenblasen, von dünnen Flüssigkeitshäutchen, wie sie bei Ausbreitung eines Tropfens einer Flüssigkeit auf einer anderen entstehen, die Anlauffarben bei Metallen, die durch eine dünne Oxydschicht bedingt sind, sind Farben dünner Plättchen.

Die Farbenerscheinungen dünner Plättchen lehren uns, wie durch Verringerung einer Dimension eines Körpers dieser die Fähigkeit erhält, eine gewisse Aussonderung unter den ihm zufließenden Lichtsorten, sowohl bei der Reflexion als auch bei der Absorption, zu treffen, und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

demgemäß in Farben zu erscheinen, die er von Haus aus nicht besitzt. Das legt den Gedanken nahe, ob bei dem ganzen Phänomen des Farbigseins nicht ähnliche Verhältnisse eine Rolle spielen. Im Hinblick auf diese Frage ist es wichtig, das optische Verhalten von Körpern zu studieren, die nicht nur in einer Richtung sehr geringe Ausdehnung besitzen, sondern deren Größe als Ganzes mit der Wellenlänge des Lichtes vergleichbar ist. Schon frühzeitig war man auf die Farbenerscheinungen der trüben Medien aufmerksam geworden. In Goethes Farbenlehre spielen sie die Hauptrolle, die wissenschaftliche Forschung brachte ihnen großes Interesse entgegen, weil sie in der Natur häufig auftreten; so ist ja z. B. die blaue Farbe des Himmels eine solche Farbe trüber Medien, hervorgerufen durch die überaus feinen Tröpfchen Wassers, welche in der Atmosphäre suspendiert schweben. Von hervorragenden Forschern, welche sich mit dem Problem der trüben Medien beschäftigt haben, sind zu nennen Clausius, Brücke und Rayleigh. Die quantitative experimentelle Untersuchung des Verhaltens der trüben Medien hat gezeigt, daß die Theorie des letztgenannten Physikers mit den Tatsachen in voller Übereinstimmung steht. Es ist nicht möglich, die Theorie Rayleighs mit Ausschluß mathematischer Deduktionen wiederzugeben, denn die Aufgabe, welche hier zu lösen war, ist einfach ein Problem der mathematischen Analysis. Es handelt sich um die Frage, welche Störung durch ein kleines Körperchen, z. B. eine Kugel, oder durch eine große Anzahl von solchen Kugeln in einem

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

gegebenen Wellenzug hervorgerufen wird. Man übersieht folgendes: Ist die Kugel sehr groß gegen die Wellenlänge, so treten, wenn der Wellenzug die Kugel erreicht, die gewöhnlichen Erscheinungen der Reflexion auf. Ist die Kugel klein, so werden Erscheinungen deutlich, welche man als Beugungserscheinungen bezeichnet; diese haben ihren Ursprung darin, daß jeder Punkt der Kugel in dem Moment, wo er von der Wellenbewegung erreicht wird, seinerseits Ausgangspunkt einer Wellenbewegung wird. Das Zusammenwirken aller dieser so hervorgebrachten Wellenbewegungen ergibt die Beugungserscheinungen. Damit diese deutlich hervortreten, ist es notwendig, daß die Kugel nicht groß ist, denn nur unter dieser Voraussetzung werden die einzelnen Punkte der Kugeloberfläche von verschiedenartigen Stadien der einfallenden Welle betroffen. Ist nun aber endlich die Kugel klein gegen die Wellenlänge, so ist der Bewegungszustand der einfallenden Welle an der ganzen Kugeloberfläche nahezu der gleiche und demzufolge äußert sich auch die Wirkung auf die einfallende Welle in anderer Form als beim vorhergehenden Falle. Es tritt nun eine sogenannte Zerstreuung der Welle ein; der Hauptteil der Welle schreitet in seiner ursprünglichen Richtung fort, außerdem geht nun von der Kugel eine neue Welle nach allen Richtungen des Raumes aus. Diese Zerstreuungswellen sind es, durch welche uns im verfinsterten Zimmer die Staubteilchen in der Luft sichtbar werden, welche von Sonnenstrahlen getroffen werden, die durch eine Öffnung im Fensterladen eintreten; diese Zerstreu-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ungswellen sind es, durch welche im Ultramikroskop das Vorhandensein von Teilchen nachgewiesen werden kann, die unterhalb der mikroskopischen Sichtbarkeitsgrenze liegen. Hat man nun einen Raum, in welchem sich eine große Menge solcher kleiner Kügelchen befindet, so wird eine durch diesen Raum hindurchziehende Welle geschwächt, da ja die Zerstreuungswellen, welche an jeder Kugel entstehen, ihre Energie aus dem Energievorrat der durchziehenden Welle entnehmen. Rayleigh hat die Abhängigkeit der Stärke der Absorption von der Wellenlänge berechnet.

Es ist von vorneherein klar, daß die Störung, welche eine Kugel in einer Welle hervorruft, um so geringer sein wird, je größer die Wellenlänge ist. Je größer die Wellenlänge, desto größer ist die Zeitdauer, die zwischen dem Anbranden je zweier Wellenberge verfließt, desto kleiner ist weiters die Zahl der Impulse in der Zeiteinheit, welche die Zerstreuungswelle erzeugen, desto geringer infolgedessen die Energiemenge, welche der vorüberziehenden Welle entnommen wird. Die mathematische Analyse zeigt genauer, wie die Größe des Energieverlustes der durchziehenden Welle von der Wellenlänge derselben abhängt; sie ergibt, daß die Absorption umgekehrt proportional ist der vierten Potenz der Wellenlänge. Wir nennen ein Medium, in welchem kleine Körperchen, deren Ausdehnung klein ist gegen die kleinste Wellenlänge des Lichtes, suspendiert sind, ein trübes Medium. Ein solches Medium muß nach den vorstehenden Erörterungen langwelliges Licht, also das rote Ende des

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Spektrums, viel stärker hindurchlassen als das blaue Ende; ein solches Medium erscheint demgemäß im reflektierten Lichte, wenn wir es im Tageslicht oder einem diesem gleichartigen Lichte betrachten, bläulich gefärbt. Blickt man durch ein solches Medium gegen die Lichtquelle, so erscheint diese rötlich. Hierher gehört die bekannte Tatsache, daß die Sonne rot erscheint, wenn sie hinter einer dickeren Nebelschicht steht, vorausgesetzt, daß der Nebel aus sehr feinen Wassertröpfchen besteht. Sind die Tröpfchen größer, so daß sie nicht mehr klein gegen die Wellenlänge des blauen Lichtes sind, so ist die Absorption in den verschiedenen Spektralbereichen nicht mehr so ungleich, wir erhalten dann eine gleichmäßige Schwächung der Farben im durchgehenden und eine gleichmäßige Reflexion des auffallenden Lichtes; ein solcher Nebel erscheint weiß.

So erklärt sich die blaue Farbe des Himmels. Ist der Himmel klar, so enthält die Atmosphäre nur sehr kleine Wassertröpfchen; diese reflektieren von dem von der Erdoberfläche zurückgeworfenen Lichte bloß die kurzwelligen Strahlen, der Himmel erscheint demzufolge blau. Ich erinnere ferner an die blaue Farbe des Rauches, die bläuliche Farbe der Milch, des Opals; auch dies sind Farben trüber Medien. Ein künstliches trübes Medium können wir in einfacher Weise herstellen, indem wir einige Tropfen einer alkoholischen Harzlösung (z. B. Mastixlösung) in eine größere Menge Wassers eintragen. Wir erhalten aus diesen beiden klaren Flüssigkeiten ein trübes Medium, an welchem wir die charakteristischen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Eigenschaften solcher Medien gut beobachten können.

In neuerer Zeit haben die Suspensionen sehr kleiner Metallteilchen in Wasser, sogenannte kolloidale Lösungen oder Hydrosolen, die Aufmerksamkeit der Chemiker und Physiker auf sich gezogen. Ich zeige Ihnen hier einige solche Hydrosolen von Gold, Silber, Platin und die erst ganz kürzlich von Herrn Ehrenhaft[1]) hergestellte Quecksilberhydrosole. Man erhält diese Hydrosolen durch Zerstäubung des Metalls unter Wasser, indem man zwischen Elektroden aus dem betreffenden Metall unter Wasser einen Lichtbogen erzeugt, wobei die Kathode zerstäubt. (Die Quecksilberhydrosole erhält man, indem man einen dünnen Quecksilberstrahl als Kathode, einen Eisendraht als Anode benützt.) Diese Hydrosolen zeigen Farben, die von der Eigenfarbe des betreffenden Metalles verschieden sind; auch hier haben wir es mit Farben zu tun, die in ähnlicher Weise zustande kommen wie die Farben trüber Medien. Denn auch hier sind die Teilchen, welche die Absorption des durchgehenden Lichtes hervorrufen, sehr klein gegen die kleinste Wellenlänge des einfallenden Lichtes. Daher die so ausgesprochen reinen Farben, ähnlich wie das Blau des Himmels eine ausgesprochen reine Farbe ist. Aber wir sehen hier auch ohne spektrale Untersuchung, daß das Rayleighsche Gesetz der trüben Medien nicht gilt. Die Goldhydrosole erscheint z. B. im durchfallenden Lichte rubinrot, die

---

[1]) Anzeiger der k. Akademie der Wissenschaften in Wien, Nr. XXV, 1908.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Quecksilberhydrosole tiefbraun usf., während nach der Theorie der trüben Medien alle Metallhydrosolen gleichartig aussehen müßten. Die Erklärung ergibt sich aus der elektromagnetischen Theorie des Lichtes. Wir haben bisher stillschweigend die Wellenbewegung des Lichtes als eine mechanische aufgefaßt. Nach der elektromagnetischen Theorie des Lichtes (Maxwell) besteht das Licht aus Schwingungen des elektrischen und magnetischen Zustandes an jeder Stelle des lichtdurchflossenen Körpers. Bringen wir nun in den Gang einer Lichtwelle eine kleine Kugel, so werden in dieser elektrische Schwingungen hervorgerufen, indem an ihr positive und negative elektrische Ladungen auftreten, deren Wert sich nach dem Gesetze einer schwingenden Bewegung ändert. Es ist nun klar, daß jetzt die elektrischen Eigenschaften der Kugel für den Ablauf der Erscheinungen maßgebend sein müssen. Ist die Kugel ein Nichtleiter, so hängen die Veränderungen der auftretenden Ladungen bloß von den elektrischen Kräften der Umgebung ab, durch die sie hervorgerufen wurden. Ist die Kugel aber ein Leiter, so haben die auftretenden Ladungen die Möglichkeit, sich durch das Material der Kugel hindurch auszugleichen, wodurch natürlich der Ablauf der Veränderungen des elektrischen Zustandes der Kugel beeinflußt werden muß. So muß denn die Farbe einer Metallhydrosole von der Leitfähigkeit des Metalles abhängig sein, wie es ja in der Tat der Fall ist. Aber auch hier sehen wir, wie die Verringerung der Größe Farbenerscheinungen hervorruft, die wir an dem gleichen Körper von großer Ausdehnung

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nicht wahrnehmen: fein verteiltes Gold, um auf diesen Fall zurückzukommen, färbt Wasser oder Glas (echtes Rubinglas) rot, wärend das Gold im reflektierten Lichte eine charakteristische gelbe Farbe (goldgelb) hat, im durchfallenden Lichte aber, wie man dies an dünnen Goldschichten sehen kann, grün ist.

Wir sind nun der Lösung des eingangs erwähnten Problems bedeutend näher gekommen, wir sahen, wie auch farblose Körper bei sehr geringer Ausdehnung Farben zeigen, indem sie kraft ihrer geringen Ausdehnung die Eigenschaft haben, eine auswählende Absorption und Reflexion auszuüben. Und so werden wir zu der Vermutung geführt, daß es die Struktur der gefärbten Körper ist, der sie ihre bestimmte charakteristische Farbe verdanken, eine Vermutung, die sich unter Hinzuziehung weiterer Hilfsvorstellungen, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann, in der Tat als eine fruchtbare Auffassung erwiesen hat.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 49

Autor(en)/Author(s): Lampa Anton

Artikel/Article: Über die Farben ungefärbter Körper. 59-81