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

Lichtmeßkunde und Lichteinheiten.

Von

Prof. H. Strache.

Vortrag, gehalten den 13. Dezember 1916.

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

Das Licht ist eine subjektive, durch eine Reizung der Nerven unserer Netzhaut hervorgerufene Empfindung, die wie alle unsere Empfindungen: Geruch, Geschmack, Gehör, Gefühl, nicht direkt meßbar ist. Die Lichtmeßkunde muß sich daher darauf beschränken, die Gesetze festzustellen, nach welchen aus physikalischen Gründen die Verstärkung oder Abnahme der Beleuchtung einer Fläche stattfindet, und dann die Beleuchtungsstärke zweier von verschiedenen Lichtquellen beleuchteten Flächen so lange zu ändern, bis das Auge beide Flächen gleich hell sieht.

Das einfachste Gesetz, nach welchem die Abnahme der Beleuchtungsstärke meßbar verfolgt werden kann, ist das sogenannte Entfernungsgesetz. Eine Fläche, welche sich nahe bei einer Lichtquelle befindet, ist naturgemäß stärker beleuchtet als eine solche, die sich in einer größeren Entfernung befindet. Bedenken wir nun, daß von einer punktförmigen Lichtquelle die Strahlen nach allen Richtungen des Raumes hinausgehen, so finden wir, daß alle diese Strahlen eine Kugelfläche, die man sich um die Lichtquelle gelegt denkt, treffen, einerlei, ob diese Kugelfläche einen kleineren oder größeren Durchmesser besitzt. Die Beleuchtung, welche die Strahlen auf dieser Fläche hervorrufen, ist aber stärker, wenn sich die Fläche nahe an der Lichtquelle befindet, d. h., wenn der Halbmesser der Kugel klein ist, weil dann die Dichte der Strahlen

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

eine größere ist, als wenn die Kugel einen größeren Halbmesser besitzt. Die Kugelfläche nimmt aber proportional dem Quadrate des Halbmessers zu. Fällt daher auf die gesamte Kugelfläche die gleiche Lichtmenge, so wird auf einen Quadratzentimeter der Kugeloberfläche von z. B. 2 m Durchmesser nur der vierte Teil der Strahlen gegenüber einer Kugel von 1 m Durchmesser fallen. Die Beleuchtungsstärke wird also umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Fläche von der Lichtquelle abnehmen.

Wir können dieses Gesetz durch eine einfache Beobachtung bestätigen. Stellen wir eine Kerze in der Entfernung von 1 m von zwei weißen Flächen auf und rücken nun die eine dieser beiden Flächen auf die Entfernung von 2 m, so nimmt die Beleuchtungsstärke ab, ohne daß unser Auge sagen könnte, um wieviel. Beleuchten wir aber diese Fläche mit vier Kerzen in demselben Abstande von 2 m, so erhält das Auge die gleiche Lichtempfindung wie von der ersten Fläche, die im Abstande von 1 m mit einer Kerze beleuchtet ist. Nun ist es klar, daß vier Kerzen viermal soviel Licht geben als eine Kerze. Infolge dessen war die vierfache Lichtstärke erforderlich, um in der doppelten Entfernung die gleiche Helligkeit hervorzurufen.

Da wir nun dieses Gesetz der Lichtabnahme mit der Entfernung kennen, ist es leicht, eine Vergleichsvorrichtung herzustellen, welche die Lichtstärke einer beliebigen Lichtquelle zu messen gestattet. Stellen

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

wir eine als Einheit gewählte Lichtquelle — etwa eine Kerze — in der Entfernung von 1 m vor einer weißen Fläche auf und bringen neben diese unter sonst gleichen Umständen eine zweite Fläche, welche nicht von der genannten Lichtquelle, wohl aber von der zu untersuchenden Lichtquelle beleuchtet ist, etwa indem wir einen weißen Karton rechtwinkelig zusammenbiegen und ihn mit lotrechter Kante zwischen die zwei Lichtquellen stellen, so können wir die Entfernung der zu messenden Lichtquelle von der zweiten Fläche des Kartons so lange vergrößern, bis das vor der Kante des Kartons sich befindende Auge beide Flächen gleichmäßig erleuchtet findet. Nach dem abgeleiteten Entfernungsgesetz ist dann die zu messende Lichtquelle viermal so stark als die gewählte Einheit, wenn die Entfernung doppelt so groß ist, oder die Lichtstärke ist proportional dem Quadrate der gemessenen Entfernung.

Eine ganze Reihe von Bauarten der Photometer ist auf das Entfernungsgesetz gegründet. Wir wollen nur einige davon kennen lernen, die man früher beinahe ausschließlich und auch jetzt noch in manchen Fällen zur Messung der Lichtstärke verwendet. Stellen wir einen Stab vor einer weißen Fläche auf, so wirft dieser, wenn er von einer Lichtquelle beleuchtet wird, einen Schatten auf den Schirm. Eine etwas seitlich davon aufgestellte zweite Lichtquelle wirft ebenfalls einen Schatten und wir können die Stellung der beiden Lichtquellen so regeln, daß die beiden Schatten mit ihrer

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

Kante sich knapp nebeneinander befinden. Der Schatten zeigt uns aber jene Stelle des Schirmes, die von der betreffenden Lichtquelle nicht beleuchtet ist. Nach dieser Anordnung wird aber die Stelle des Schirmes, die von der einen Lichtquelle nicht beleuchtet ist, also der Schatten der einen Lichtquelle von der andern beleuchtet und umgekehrt. Wir können also jetzt in Anwendung des Entfernungsgesetzes die Entfernung der beiden Lichtquellen von dem Schirme so regeln, daß die nebeneinander befindlichen Schatten gleich dunkel erscheinen. Dann wissen wir, daß der Schirm von der einen Lichtquelle ebenso stark beleuchtet wird wie von der andern und daß sich die Lichtstärken der beiden Lichtquellen wieder verhalten wie die Quadrate ihrer Entfernungen von dem Schirm. Eine derartige Messung der Lichtstärke läßt sich überall leicht ausführen und liefert für Messungen in der Praxis, die auf keine große Genauigkeit Anspruch machen, ganz befriedigende Ergebnisse. Sie kann mit den einfachsten Mitteln überall ausgeführt werden. Andere Vergleichsvorrichtungen, welche alle den gleichen Grundsatz, die Beleuchtung zweier Flächen miteinander zu vergleichen, verfolgen, sind nur ausgeführt worden, um das Auge vor der zu stark beleuchteten Umgebung der zu vergleichenden Flächen zu schützen und dadurch genauere Ergebnisse zu erzielen. Hieher gehört z. B. das sogenannte Fettfleckphotometer von Bunsen. Ein weißes Papier wird bekanntlich durchscheinend, wenn man einen Tropfen Fett daraufbringt. Hält man

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

einen solchen Fettfleck vor das Licht, so erscheint er hell auf dunklem Grunde, weil das Licht durch die fette Stelle leichter hindurchdringt als durch das Papier. Hält man dagegen diesen Fettfleck vor einen dunklen Hintergrund und beleuchtet ihn von vorne, so geht ein Teil des auffallenden Lichtes durch den Fettfleck hindurch, während seine Umgebung das Licht zurückwirft. Dadurch erscheint der Fleck dunkel auf hellem Grunde. Bringen wir einen solchen Schirm zwischen zwei Lichtquellen und sorgen dafür, daß durch Veränderung der Entfernung seine beiden Seiten gleich stark beleuchtet sind, so geht von der einen Seite her ebenso viel Licht durch den Fettfleck hindurch als von der andern Seite und er wird daher weder hell auf dunklem Grunde, noch dunkel auf hellem Grunde erscheinen, somit dem Auge überhaupt nicht mehr wahrnehmbar sein. Der Fettfleck verschwindet also scheinbar. An Stelle des Fettfleckes kann man auch einen Schirm aus starkem Papier anwenden der ein kreisrundes Loch besitzt, das mit einem dünnen Papier überklebt ist. Diese Vergleichsvorrichtung hat jedoch den Nachteil, daß der Fettfleck einen Teil des Lichtes absorbiert und infolge dessen bei gleichmäßiger Beleuchtung von beiden Seiten niemals ganz verschwindet, sondern immer schwach dunkel auf hellem Grunde erscheint. Die Regelung der Entfernung von den beiden Lichtquellen muß dann derart erfolgen, daß der Fleck auf beiden Seiten gleich stark sichtbar wird. Es handelt sich deshalb darum, die beiden Seiten des Schirmes

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

gleichzeitig beobachten zu können. Dies erzielt man dadurch, daß man an beiden Seiten des Schirmes schräggestellte Spiegel anbringt, die bei der Ansicht von vorne beide Seiten des Schirmes gleichzeitig zu beobachten gestatten, und wir sehen dann in den Spiegeln perspektivisch gesehen den kreisrunden Ausschnitt in Form von zwei Ellipsen.

Um den Fehler zu beseitigen, der durch die Absorption des Lichtes im Fettfleck hervorgerufen wird, haben Lummer und Brodhun einen Vergleichsapparat hergestellt, bei dem zwei Glasprismen derart zusammengekittet sind, daß ein abgeschliffener Teil einer Fläche des zweiten Prismas mit dem ersten so eng vereinigt ist, daß sich keine Luft dazwischen befindet, während im übrigen die beiden Flächen etwas voneinander abstehen. Eine solche Vorrichtung vertritt die Stelle eines Fettfleckes. Das Licht, welches von einer Seite auf diese Vorrichtung fällt, wird nämlich in der Umgebung dieses kreisrunden Schliffes wegen der Luftschichte, die sich zwischen den beiden Glasflächen befindet, vollständig zurückgeworfen, während es durch die aufeinandergekitteten Stellen, so sich keine Luft zwischen den zwei Glasflächen befindet, ungehindert hindurchgeht. Wir haben also hier die Bedingungen in vollkommener Weise erfüllt, die wir von einem Fettfleck verlangt haben, und ein solcher Vergleichsapparat läßt sehr genaue Messungen zu.

Es ist nicht immer angenehm, die beiden Lichtquellen zu verschieben, um die richtige Entfernung

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

vom Schirm einzustellen. Zweckmäßiger bringt man sie an den Enden der sogenannten Photometerbank an und verschiebt den Schirm, den sogenannten Photometerkopf, auf einem mit Rollen versehenen Schlitten zwischen den beiden Lichtquellen solange, bis der Vergleichsapparat die gleichmäßige Erhellung des Schirmes von beiden Seiten anzeigt. Auf der Photometerbank kann dann eine Skala angebracht sein, welche unter Berücksichtigung des Entfernungsgesetzes unmittelbar abzulesen gestattet, um wievielmal die eine Lichtquelle stärker leuchtet als die andere.

Die in der Praxis verwendeten Lichtquellen senden das Licht nach den verschiedenen Richtungen des Raumes durchaus nicht gleichmäßig aus und es ist für die Praxis von großer Bedeutung zu wissen, wie sich die Lichtaussendung nach den einzelnen Winkeln des Raumes verhält. Die Vorrichtungen, die ich Ihnen bisher vorgeführt habe, sind zu diesen Messungen nicht ohne weiteres geeignet. Das zweckmäßigste Mittel, solche Messungen durchzuführen, ist ein Spiegelapparat, welcher die nach verschiedenen Richtungen hinausgehenden Strahlen in horizontale Richtung ablenkt, so daß dann die gewöhnliche Photometerbank angewendet werden kann. Natürlich muß man den Verlust berücksichtigen, welchen das Licht bei der Spiegelung erleidet, denn jeder Spiegel absorbiert einen Teil des Lichtes. Es ist jedoch durch eine einmalige Kontrollmessung leicht festzustellen, wie groß der Absorptionskoeffizient ist.

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

Um ein Bild über die Lichtausstrahlung nach den verschiedenen Richtungen zu erhalten, benutzt man am besten eine graphische Methode. Man trägt um einen Punkt, der an Stelle der Lichtquelle gedacht ist, die in den einzelnen Winkeln gemessenen Lichtstärken in Längenmaßen auf und verbindet die erhaltenen Punkte, welche dann eine die Lichtquelle umgebende krumme Linie, die sogenannte Polarkurve, darstellt.

In den meisten Fällen ist es nicht notwendig und auch gar nicht zweckmäßig, die Lichtstärke in Rechnung zu stellen, welche in horizontaler Richtung oder in vertikaler Richtung nach abwärts oder nach irgendeiner Richtung ausgestrahlt wird, sondern man wünscht häufig nur die mittlere Lichtstärke kennen zu lernen, welche in den ganzen Raum oder in den halben Raum nur nach abwärts oder nach aufwärts ausgesendet wird. Man spricht dann von der „mittleren räumlichen (sphärischen)“ oder der „mittleren halbräumlichen (hemisphärischen)“ Lichtstärke. Man sollte nun meinen, daß sich die mittlere sphärische oder hemisphärische Lichtstärke aus dem arithmetischen Mittel der einzelnen Winkelbeobachtungen ergebe. Dies ist aber nicht richtig, denn wenn wir uns wieder vorstellen, daß die Lichtquelle von einer Kugelfläche umgeben ist, und wenn wir diese Kugelfläche in einzelne kleine Flächen (Flächenelemente) zerlegen, so bekommen wir die mittlere sphärische Beleuchtungsstärke, wenn wir ein arithmetisches Mittel der Beleuchtungsstärke aller einzelnen Kugelflächenelemente bilden. Die Flächenelemente,

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

welche sich im Äquator dieser Kugel befinden, sind aber viel zahlreicher als die Flächenelemente in der Nähe der beiden Pole und an den Polen selbst, wo man sich die Achse der Lichtquelle durch die Kugel hindurch tretend denken muß, befindet sich nur ein einziges Flächenelement. Dies muß also bei der Berechnung der mittleren sphärischen Lichtstärke berücksichtigt werden, und da sich die Zahl der Elemente verhält wie die Sinusse der Winkel, welche die betreffenden Lichtstrahlen mit der Achse der Lichtquelle einschließen, so muß man, ehe man das arithmetische Mittel nimmt, die in einzelnen Richtungen gemessenen Lichtstärken jeweils mit dem Sinus ihres Neigungswinkels multiplizieren. Um diese etwas umständliche Rechnung überflüssig zu machen, habe ich ein Verfahren angegeben, nach welchem eine größere Anzahl von Messungen in der Nähe des Äquators und eine geringere Anzahl in der Nähe der Pole gemacht wird, so daß das einfache arithmetische Mittel dieser Messungen sofort die mittlere sphärische Lichtstärke ergibt. Die Winkel, in denen die Messung dann vorgenommen werden muß, sind aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich:

$\alpha =$	$\alpha =$
2·8°	33·3°
8·6°	40·5°
14·5°	48·6°
20·5°	58·2°
26·7°	71·8°

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

Jüllig hat eine bisher noch nicht veröffentlichte Methode angegeben, welche in ähnlicher Weise durch 10 Messungen in voraus bestimmten Winkeln die hemisphärische oder durch 20 Messungen die sphärische Lichtstärke ermittelt.

Es sind auch Vorrichtungen konstruiert worden, welche durch eine einzige Messung die mittlere sphärische oder hemisphärische Lichtstärke zu messen gestatten, so z. B. das Ulbrichtsche Kugelphotometer. Bei diesem hängt die Lichtquelle in einer innen weiß gestrichenen Halbkugel und das gesamte von dieser reflektierte Licht wird auf ein Milchglasfenster geworfen, dessen Helligkeit dann gemessen wird. Krüß hat eine Vorrichtung angegeben, bei welcher eine große Zahl von Spiegeln im Halbkreise um die Lichtquelle aufgestellt sind, die alle das nach verschiedenen Richtungen ausgehende Licht nach einer Milchglasplatte werfen, aber bei dieser Vorrichtung müssen wieder die in der Richtung der Pole ausgehenden Lichtstrahlen entsprechend dem Sinus des Neigungswinkels geschwächt werden. Auch sind mit dieser Vorrichtung nur kleinere Lichtquellen meßbar, denn jeder der vielen Spiegel muß die Größe der ganzen Lichtquelle besitzen. Sahulka hat dagegen in allerletzter Zeit eine Vorrichtung angegeben, welche auch große Lichtquellen in einfacher Weise mit einer Messung zu messen gestattet. An Stelle der Spiegel, die von Krüß angewendet wurden, bringt Sahulka kleine weiße Flächen (Gipsplatten) im Halbkreise um die

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

Lichtquelle an, und er ordnet die einzelnen Gipsplatten in den Winkeln an, welche ich oben für die Erzielung eines richtigen arithmetischen Mittels angegeben habe. Das von diesen Gipsplatten zerstreut zurückgeworfene Licht wird nach dem Photometerschirm geworfen und kann dort mit dem gewöhnlichen Photometer gemessen werden.

Die Praxis stellt an die Lichtmeßkunde nicht nur die Forderung, die Lichtstärke der Lichtquellen zu messen, sondern sie wünscht auch die Beleuchtungsstärke kennen zu lernen, welche eine Fläche durch irgendeine Beleuchtung erfährt. Wir haben ja schon gehört, daß die Beleuchtung einer Fläche mit der Entfernung von der Lichtquelle sehr rasch abnimmt, und es ist also notwendig, bei einer Beleuchtungsanlage die Lichtquellen so anzuordnen, daß die Beleuchtungsstärke der Flächen, welche beleuchtet werden sollen, eine möglichst große ist. Dabei muß auch noch auf die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung Rücksicht genommen werden, denn es ist sehr nachteilig für das Auge, wenn es an einer Stelle durch übermäßige Beleuchtung geblendet wird und an einer andern Stelle wieder ungenügende Beleuchtung vorfindet.

Zur Messung der Beleuchtungsstärken sind nun eigene Meßvorrichtungen geschaffen worden. Der erste, welcher sich damit in ausführlicher Weise befaßte, war Weber. Seine Vorrichtung besteht aus zwei senkrecht aufeinander stehenden Rohren, von denen eines auf die zu messende Fläche gerichtet ist, während das

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

zweite senkrecht zu ihm steht. Die eine Hälfte des erstgenannten Rohres ist durch ein Glasprisma ausgefüllt, dessen Hypothenusenfläche das aus dem zweiten Rohre senkrecht zur Achse auffallende Licht total reflektiert und in die Achse des erstgenannten Rohres ablenkt. Dadurch sieht man in dem auf die zu messende Fläche gerichteten Rohre eine senkrecht stehende Kante des Glasprismas, welche das kreisrunde Gesichtsfeld in zwei Hälften teilt: in der einen Hälfte sieht man die zu messende Fläche, die zweite wird von dem aus dem angesetzten Rohre kommenden Licht erhellt. Das letztere wird nun geregelt, und zwar in folgender Weise: In dem Rohre befindet sich eine Normal-Lichtquelle (Kerze). Diese wirft ihr Licht auf eine in der Achse des Rohres bewegliche Milchglasplatte und beleuchtet sie um so heller, je näher sie sich bei ihr befindet. Nun kann man mit Hilfe eines Zahnradgetriebes diese Milchglasplatte so lange verschieben, bis die beiden Hälften des Gesichtsfeldes in dem erstgenannten Rohre gleich hell ercheinen, und man liest dann an einer Skala aus der Entfernung der Milchglasplatte von der Normal-Lichtquelle direkt die Beleuchtungsstärke ab.

Eine vollkommenere Vorrichtung für die Beleuchtungsmessungen ist von Brodhun angegeben und als Straßenphotometer bezeichnet worden.

Besondere Anforderungen werden an die Lichtmessung auch durch die starken Lichtquellen gestellt, die heute z. B. bei der Straßenbeleuchtung oder bei

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

der Beleuchtung großer Säle in Anwendung kommen. Auf einer gewöhnlichen Photometerbank können solche nicht gemessen werden, da bei dieser die großen Entfernungen, die angewendet werden müßten, nicht praktisch erreichbar sind. Die genannten Beleuchtungsmesser, besonders das Brodhunsche Straßenphotometer, setzen uns in die Lage, auch diesem Bedürfnis zu entsprechen. Wir können nämlich das Licht aus einer gewissen Entfernung auf eine starke Milchglasplatte fallen lassen, welche nur einen geringen Teil des Lichtes hindurchläßt. Die Lichtabsorption kann durch einen einmaligen Versuch gemessen werden und man kann so nur den 10. oder 100. Teil der darauf fallenden Lichtmenge in das Photometer gelangen lassen. Durch Vorschalten kleiner kreisrunder Öffnungen kann man die hineinfallende Lichtmenge noch weiter verringern, so daß schließlich nur der 10.000. Teil wirklich zur Messung gelangt.

Besondere Schwierigkeiten macht die Messung verschiedenfarbiger Lichtquellen. Wir stellen ja bei allen Vergleichsapparaten, die wir kennen gelernt haben, auf die Gleichheit die Helligkeit ein, d. h., wir müssen das betreffende Instrument stets so einstellen, daß die Trennungslinie der beiden Flächen, die von den zwei Lichtquellen beleuchtet sind, verschwindet. Besitzen jedoch die Lichtquellen verschiedene Farben, so erscheinen auch die betreffenden Felder verschiedenfarbig und von einem Verschwinden der Trennungslinie kann dann keine Rede mehr sein. Wollen wir z. B. mit dem Schattenphotometer eine elektrische Kohlenfaden-

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

glühlampe, die gelbes Licht aussendet, mit einem mehr blaue und grüne Strahlen enthaltenden Gasglühlicht vergleichen, so finden wir die beiden Schattenflächen des Stabes gelb und blaugrün gefärbt, weil der von der gelben Lichtquelle auf den Schirm geworfene Schatten nur von der blaugrünen Lichtquelle beleuchtet wird und umgekehrt.

Bei den meisten künstlichen Lichtquellen wird das Licht von glühenden festen Stoffen ausgestrahlt und es ist eine bekannte Erscheinung, daß bei zunehmender Glühtemperatur die Lichtfarbe von Rot über Gelb nach Weiß übergeht. Lassen wir z. B. einen von elektrischem Strom durchflossenen Draht erst unter Anwendung geringer Stromspannung nur schwach glühen, so erscheint er in duuklem Rot, und in dem Maße, als man die Glühtemperatur steigert, geht die Lichtfarbe über Gelb nach Weiß über. Wenn wir sie noch weiter steigern könnten, würde das Licht schließlich blau werden. Die Bezeichnung der Glühfarben: Rotglut, Gelbglut, Weißglut deutet ja diese Beziehung zwischen Lichtfarbe und Temperatur an. Die Änderung der Farbe wird dadurch hervorgerufen, daß zu den anfänglich ausgesendeten roten Strahlen gelbe, grüne, blaue und schließlich violette Strahlen hinzukommen, wie sie im Spektrum des weißen Lichtes enthalten sind. Wir können dies sehen, wenn wir von dem zum Glühen erhitzten Draht ein Spektrum entwerfen. Anfänglich sehen wir nur die roten Teile des Spektrums, während der Höchstwert des Lichteffektes bei Steigerung der

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

Temperatur sich mehr und mehr gegen das Gelbe verschiebt und auch die grünen und gelben Teile des Spektrums mehr und mehr hervortreten. Das Auge besitzt nun die Eigenschaft, gerade die gelben und grünen Strahlen am stärksten zu empfinden, während eine gewisse Energie, die in Form von rotem oder violettem Licht auf das Auge fällt, dort nur eine geringe Wirkung hervorbringt. Aber auch die Energie der Strahlen ist in dem Spektrum nicht gleichmäßig verteilt. Der Höchstwert der ausgestrahlten Energie verschiebt sich bei zunehmender Glühtemperatur ebenfalls vom roten gegen das violette Ende des Spektrums, so daß bei zunehmender Temperatur der Höchstwert der Energie sich mehr jenem Teil des Spektrums nähert, der die stärkste Wirkung auf das Auge hat. Die beiden Schaulinien Fig. 1 und Fig. 2 zeigen die Energieverteilung und die Empfindlichkeit des Auges in den verschiedenen Teilen des Spektrums. In Fig. 1 sehen wir, daß der Höchstwert der Energie bei 1646° bei einer Wellenlänge von mehr als 2 Tausendstelmillimeter ausgestrahlt wird, während das Auge nur Wellenlängen von 0·4 bis 0·8 Tausendstelmillimeter überhaupt wahrnimmt und bei 0·5 Tausenstelmillimeter den stärksten Reiz empfindet.

Je mehr die Beleuchtungsindustrie fortschreitet, desto mehr bestrebt sie sich, einen möglichst günstigen Nutzeffekt der Umwandlung der Energie in Licht zu erzwingen. Sie sucht also den Höchstwert der ausgestrahlten Energie in jene Teile des Spektrums zu

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

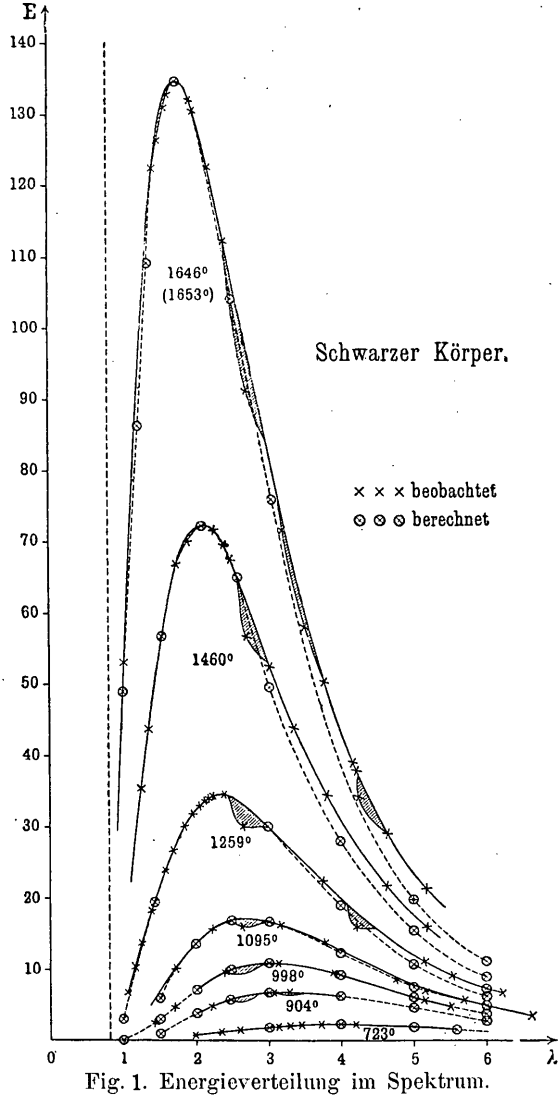

Fig. 1. Energieverteilung im Spektrum.

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

bringen, in welcher auch das Auge den Höchstwert des Lichtreizes empfindet, d. h. nach dem gelben oder grünen Teile des Spektrums. Sie ist also gezwungen, die Temperaturen immer höher und höher zu steigern, und tatsächlich haben wir bei dem Gaslicht in der Anwendung des Gasglühlichtes und beim elektrischen durch die Anwendung der Metallfadenlampe Temperaturen zur Anwendung gebracht, die zwischen 2000 und 2400° liegen. Dadurch wird aber das Licht mehr und mehr dem weißen Sonnenlichte ähnlich und dementsprechend verschiebt sich auch die Farbe des Lichtes von dem matten Orangegelb einer Öllampe zu dem blendenden Weiß des Gashängelichtes und der elektrischen Halbwattlampe.

Das Auge empfindet den Energiewert der einzelnen Farbenstrahlen als einen Gesamteffekt, der sich in der Farbe der beleuchteten Fläche ausdrückt. Aber messend vergleichen können wir unmöglich den roten Lichtstrahl mit einem blauen, weil wir eben die Gleichheit des Effektes, die in unserer heutigen Lichtmeßkunde verlangt ist, hier niemals erreichen können. Wissenschaftlich genaue, auf physikalischer Grundlage beruhende Lichtstärkemessungen können wir also nur erreichen, wenn wir das Licht in seine einzelnen Farben zerlegen und messen, um wieviel mehr rotes, gelbes, grünes oder blaues Licht die eine Lichtquelle besitzt als die andere. Wir gelangen dann auch gleichzeitig zur Kennzeichnung der Mischfarbe überhaupt.

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

Schon der Umstand, daß wir bei der Lichtmessung von dem Auge, also von einem subjektiven Eindrucke abhängig sind, läßt erkennen, daß die Wahl einer Lichteinheit lange nicht so einfach ist, wie wir dies bei den anderen physikalischen Einheiten kennen. Intensitätseinheiten für andere Gefühle, wie z. B. Geruch, Geschmack und dergleichen sind ja bisher überhaupt noch nicht aufgestellt worden, weil hierfür bisher noch nicht das Bedürfnis darnach vorlag. Aber der Vergleich mit diesen anderen Sinneswahrnehmungen zeigt, daß die Schwierigkeiten, die uns hier entgegenstehen, sehr groß sind. Noch umständlicher wird aber die Sache, wenn wir die verschiedenen Farben des Lichtes in Rücksicht ziehen.

Als ursprüngliche Lichteinheit galt die Kerze. Ihre Lichtstärke ist durch Zusammensetzung des Brennstoffes (Fette, Fettsäuren, Paraffin-Kohlenwasserstoffe) bedingt. Man mußte also, um eine gleichbleibende Lichteinheit zu erzielen, bestimmte Vorschriften über die Zusammensetzung des Kerzenmateriales machen und die Reproduktion einer genauen Lichteinheit war dadurch wesentlich erschwert. Hefner v. Altenegg war der erste, welcher einen einheitlichen Brennstoff zur Herstellung einer Lichteinheit verwendete. Er wählte dazu das Amylazetat, den in der Parfümerie bekannten Birnäther. Durch die Wahl eines Dochtröhrchens von bestimmten Abmessungen und einer bestimmten Flammenhöhe wird es ermöglicht, in einfacher Weise stets die gleiche Lichtstärke zu erhalten.

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

In Frankreich war man ebenfalls bestrebt, die anfangs verwendete Normalkerze durch einen flüssigen Brennstoff zu ersetzen, und Carcel konstruierte eine mit Rüböl betriebene Lampe, die aber in ihren Abmessungen in vielen Punkten ganz genau festgelegt werden mußte, um einigermaßen gleichbleibende Lichtstärken zu erhalten. In England betrat man ebenfalls den Weg, einen einheitlichen Brennstoff zur Anwendung zu bringen, und wählte das bei gewöhnlicher Temperatur flüssige, aber sehr leicht in den Dampfzustand übergehende Pentan. Also auch in England ist man von der ursprünglich verwendeten Kerze zu einem einheitlichen Brennstoff übergegangen. Das Ergebnis aller dieser Fortschritte in der Wahl von Lichteinheiten war, daß man außer der in ihrer Lichtstärke verschiedenen deutschen, französischen und englischen Normalkerze nun auch noch die Hefnerlampe, die Carcel- und die Pentanlampe hatte. Violle war daher bestrebt, eine auf physikalischen Grundlagen beruhende Lichteinheit herzustellen, und wählte dazu die Lichtmenge, welche von einem Quadratzentimeter der Oberfläche vom geschmolzenen, eben im Erstarren befindlichen Platin ausgestrahlt wird. Da jedoch diese Einheit sehr schwer herstellbar ist und außerdem geringe Verunreinigungen des Platins und seiner Oberfläche sehr verschiedene Lichtstärken geben, konnte sich auch diese nicht allgemeine Geltung verschaffen. In den Vereinigten Staaten sah man daher von einer praktisch wiederzugebenden und durch eine bestimmte Definition

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

ausdrückbaren Lichteinheit überhaupt ab und wählte eine beliebige elektrische Glühlampe, die mit einer bestimmten Spannung und einer bestimmten Stromstärke zu betreiben ist, als ein Normalmaß, das allerdings nur in einem Exemplar vorhanden sein konnte und nach dem alle anderen zu praktischen Messungen abgegebenen Normallampen geeicht wurden. Es liegt auf der Hand, daß ein solches Vorgehen zu Unsicherheiten führt, die nicht erwünscht sind.

Die einzige Einheit, welche jederzeit leicht und mit Sicherheit ihrer Definition entsprechend wieder hergestellt werden kann, ist die Hefnerlampe, denn die Carcel- und die Pentanlampen sind von einer so großen Reihe von Einzelheiten abhängig, daß von einer einfachen Wiedergabe nicht die Rede sein kann. Die letzteren besitzen aber vor der Hefnerlampe den Vorzug einer größeren Lichtstärke (etwa 10 Kerzen) und brennen ruhiger als die Hefnerlampe. Man konnte sich aus diesem Grunde in Frankreich und England nicht dazu entschließen, auf die in Deutschland, Österreich-Ungarn, Italien, Holland und der Schweiz bereits im letzten Jahrzehnte allgemein angewendete Hefnerlampe überzugehen. Die Vereinigten Staaten trafen im Jahre 1910 mit England und Frankreich ein Übereinkommen, nach welchem die Lichtstärke der in Amerika verwendeten Normal-Glühlampe und die Umstände, welche das Licht der Carcel- und der Pentanlampe beeinflussen, so geändert wurden, daß alle diese drei Einheiten die gleiche Lichtstärke ergaben und daß der zehnte Teil davon

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

genau um 10 % sich von der Hefnerlampe unterschied. Damit ist zweifellos gegenüber der früheren Mannigfaltigkeit der vorhandenen Einheiten ein Schritt nach vorwärts getan. Denn da man von der Normalkerze schon überall abgesehen hatte und die Viollesche Platineinheit bisher keine praktische Bedeutung besaß, gab es jetzt nur mehr zwei Einheiten, nämlich die durch die drei genannten Staaten vereinbarte Einheit und die Hefnerlampe. In Deutschand und in den Staaten, welche sich diesem angeschlossen hatten, konnte man sich nicht entschließen, eine gar nicht definierte Einheit zur Grundlage aller Lichtmessungen zu machen. Der entschiedenste Einspruch wurde aber von Seite Deutschlands und Österreich-Ungarns erhoben, als man in den Vereinigten Staaten, England und Frankreich die von diesen vereinbarte Einheit als „internationale" Einheit bezeichnen wollte, denn Deutschland und Österreich-Ungarn wurden bei der Wahl dieser Einheit gar nicht befragt.

Auf dem Kongresse der internationalen Lichtmeßkommission in Zürich im Jahre 1911 sahen in Anerkennung der Einsprüche die genannten Staaten von dieser Bezeichnung ab und wählten statt dessen die Bezeichnung „standard candle" (bougie decimal). So weit war die Angelegenheit gediehen, als der Weltkrieg ausbrach und alle weiteren Verständigungen auf internationaler Grundlage verhinderte. Wir besitzen also jetzt die zwei Einheiten „Hefnerlampe" und „standard candle".

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

Von einer wirklichen Einheit im physikalischen Sinne ist man damit noch weit entfernt. Denn wie wir oben erörtert haben, müßten ja dabei auch die verschiedenen Farben und deren Einfluß auf das Auge berücksichtigt werden. Bei der physikalisch-technischen Reichsanstalt in Berlin sind Versuche im Gange, welche die Strahlung eines Hohlraumes (den sogenannten absolut schwarzen Körper) dazu benützen, um eine immer wieder herstellbare Lichteinheit zu erhalten. Es ist dabei Voraussetzung, daß man diesem Hohlraume eine ganz bestimmte Temperatur erteilt, die auf 1° C genau eingehalten werden muß. Denn Änderungen in der Temperatur bedingen sehr starke Änderungen in der Lichtstärke. Aber auch bei dieser Einheit werden die Eigenschaften des Auges, verschiedenfarbige Strahlen in verschiedener Weise zu empfinden, nicht berücksichtigt und man wird auch mit dieser Einheit das blaue oder das rote Licht nicht genauer messen können als bisher. Dies könnte erst dann eintreten, wenn man eine Lichteinheit einführen würde, welche die Empfindlichkeitskurve des Auges, die in Fig. 2 wiedergegeben ist, berücksichtigt und nach den physikalischen Normalmaßen: Zentimeter, Gramm und Sekunde eine gewisse Energiemenge als Einheit festsetzt, die nach Maßgabe der Empfindlichkeitskurve des Auges zur Wirkung gelangt. Entwerfen wir z. B. von der zu messenden Lichtquelle ein Spektrum, wie wir es vorhin getan haben, und lassen nun durch eine Blende die gelbgrünen Strahlen, welche das Höchstmaß der Wir-

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

kung auf unser Auge besitzen, vollständig hindurch, während wir alle anderen Strahlen in dem Maß schwächen, wie dies der Empfindlichkeitskurve des Auges entspricht, und sammeln wir die durch eine

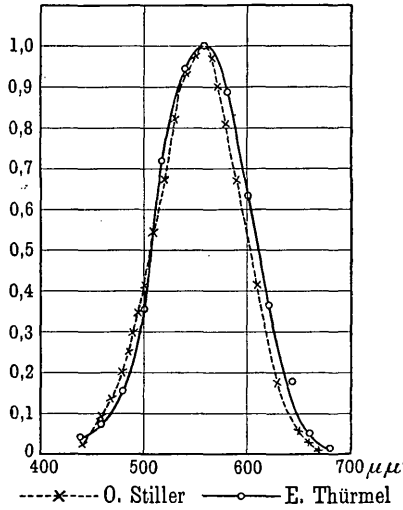

Fig. 2. Lichtempfindlichkeitskurve des Auges.

solche Blende hindurchgehenden Strahlen auf irgendein physikalisches Meßinstrument, das die Gesamtmenge der Energie z. B. durch Umsetzung in Wärme wiedergibt, so erhalten wir ein nach Kalorien oder Watt, also nach Zentimeter, Gramm und Sekunde ausdrückbares Maß von der Stärke der Lichtquelle, wie sie das Auge als Licht empfindet. Dazu ist allerdings

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

erforderlich, daß man sich über die Empfindlichkeitskurve des Auges einigt. Die Augen der Menschen sind nicht alle gleich und empfinden die verschiedenen Lichtfarben verschieden stark. Es müßte also durch eine große Anzahl von Beobachtern eine mittlere Empfindlichkeitskurve festgestellt werden, und dieses „mittlere Auge“ — es wurde scherzweise auch „internationales Auge“ genannt — wäre dann als maßgeblich zu betrachten.

Da wir uns nicht vorwerfen lassen dürfen, bei der Wahl einer solchen Einheit nur die Augen der Zentralmächte als maßgeblich zu betrachten, wird es dem kommenden Frieden, den wir ja alle herbeiwünschen, überlassen bleiben müssen, hier eine endgültige Entscheidung zu treffen.

Zum Schlusse spreche ich meinem Assistenten, Herrn Ing. E. Glaser, sowie den Herren vom elektrotechnischen Institut, welche die hier durchgeführten Versuche ermöglicht haben, meinen Dank für ihre wertvolle Mitwirkung aus.

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: 1917

Band/Volume: 57

Autor(en)/Author(s): Strache Hugo

Artikel/Article: Lichtmeßkunde und Lichteinheiten. 111-136