

Sitzungsberichte
der
mathematisch-physikalischen Classe
der
k. b. Akademie der Wissenschaften
zu **München.**

Band XX. Jahrgang 1890.



München.
Verlag der K. Akademie.
1891.

In Commission bei G. Franz.

Selbstschatten einer Flamme.

Von E. Lommel.

(Eingelaufen 1. Februar.)

Stellt man der Schmalseite der Flamme eines Flachbrenners ein weisses Papierblatt gegenüber, so gewahrt man auf der erleuchteten Papierfläche einen schmalen dunkleren Schatten der Flamme, sowohl wenn man das Papier von der Vorderseite im diffus reflectirten als von der Hinterseite im durchscheinenden Lichte betrachtet. Besonders deutlich zeigen sich die Schatten der beiden Schmalseiten auf der Aussenfläche der Milchglaskugeln, mit welchen man solche Flammen häufig umgibt, und lassen, ohne dass man die Flamme selbst sieht, deren Orientirung innerhalb der Kugel sofort erkennen.

Diese Schatten erscheinen auf den ersten Blick befremdend, da man ja weiss, dass die Flamme auf ihrer Schmalseite eine grössere Leuchtkraft besitzt, d. h. durch die Flächeneinheit mehr Licht ausstrahlt, als auf ihrer Breitseite, und zudem mit ihrer schmalen Fläche der Milchglaskugel näher steht als mit der breiten. Besitzt das Milchglas einen gewissen Grad von Durchsichtigkeit, so sieht man infolge ihrer grösseren Leuchtkraft die schmale Seite der Flamme mit röthlichem Lichte inmitten des Schattens durchscheinen, während von der Breitseite her die Flamme unsichtbar bleibt.

Die hiemit gemachte Wahrnehmung, dass die flache Flamme mit ihrer stärker leuchtenden aber an Flächeninhalt kleineren Schmalseite auf einer dargebotenen Fläche eine geringere Erleuchtung hervorbringt als mit ihrer schwächer leuchtenden aber grösseren Breitseite, erklärt sich leicht aus den Principien der Photometrie, wie ich dieselben bei einer früheren Gelegenheit dargelegt habe¹⁾.

Bezeichnet nämlich C eine Constante, K das Absorptionsvermögen eines leuchtenden Gases oder überhaupt eines durchsichtigen selbstleuchtenden Körpers, und R die Dicke der von parallelen Ebenen begrenzten strahlenden Schicht, so ist

$$L = d\varphi \cdot C \cdot \cos \varepsilon \left(1 - e^{-K \cdot \frac{R}{\cos \varepsilon}} \right)$$

die von dem Elemente $d\varphi$ der Oberfläche unter dem Emanationswinkel ε ausstrahlende Lichtmenge.

Was hier „Absorption“ genannt wird, umfasst nicht blos die eigentliche Absorption des durchsichtigen Körpers (Gases), sondern auch die Schwächung, welche das Licht durch die Gegenwart fester Körpertheilchen (in der Flamme schwebender Rus-theilchen) erfährt, welche nach demselben Gesetze stattfindet wie die eigentliche Absorption. Bezeichnet in diesem Sinne k das Absorptionsvermögen der festen Substanz, k' dasjenige des Gases selbst, und füllt jene den Bruchtheil α , diese also den Bruchtheil $1 - \alpha$ der Volumeneinheit aus, so ist

$$K = \alpha k + (1 - \alpha) k',$$

wofür wir aber der Kürze wegen die Bezeichnung K beibehalten.

Der obige Ausdruck für L zeigt zunächst, dass die von einem Oberflächenelement ($d\varphi$) ausstrahlende Lichtmenge wächst mit der Dicke der leuchtenden Schicht, und daher für die Schmalseite der Flamme grösser sein muss als für die breite Seite.

1) Lommel, Wied. Ann. 10. p. 455. 1880.

Wir nehmen nun an, die Flamme habe die Gestalt eines Parallelepipeds von der Höhe a , Breite b und Dicke c , wo c kleiner als b ist, und berechnen die Lichtmengen, welche die breitere Seitenfläche ab und die schmale Seitenfläche ac einem Flächenelement df senkrecht zustrahlen, das von der Flamme so weit entfernt sei, dass die vorkommenden Emanationswinkel hinreichend klein sind, um 1 statt $\cos \varepsilon$ setzen zu können. Diese Lichtmengen sind, da im ersten Falle c , im zweiten b die Tiefe der strahlenden Schicht ist, beziehungsweise

$$df \cdot C \cdot ab (1 - e^{-Kc}) \text{ und } df \cdot C \cdot ac (1 - e^{-Kb}).$$

Die Erleuchtungen von der Breitseite und von der Schmalseite aus verhalten sich daher zu einander

$$\text{wie } \frac{1 - e^{-Kc}}{Kc} \text{ zu } \frac{1 - e^{-Kb}}{Kb}.$$

Da nun die Function

$$\frac{1 - e^{-x}}{x}$$

mit wachsendem x fortwährend abnimmt, so erkennt man, da $b > c$ ist, dass die von der schmalen Seite der Flamme dem Flächentheilchen df gespendete Erleuchtung geringer ist als die von der breiten Seite, und folglich nach der ersteren Richtung eine Beschattung sich zeigen muss, wie sie in den mitgetheilten Beobachtungen in der That wahrgenommen wird.

Nimmt man, wie gewöhnlich geschieht, das Absorptionsvermögen K der Flamme so klein an, dass die zweite und die höheren Potenzen von $KR/\cos \varepsilon$ in der Entwicklung von

$$1 - e^{K \frac{R}{\cos \varepsilon}}$$

vernachlässigt werden können, so ergibt sich die von einem Element $d\varphi$ der Oberfläche der Flamme ausstrahlende Lichtmenge

$$L = d\varphi \cdot CKR$$

unabhängig vom Emanationswinkel und der Dicke der Schicht proportional. Unter dieser Voraussetzung wird das obige Verhältniss 1:1, d. h. die von der breiten und der schmalen Seite der Flamme hervorgebrachten Erleuchtungen müssten einander gleich sein, indem bei letzterer der geringere Flächeninhalt durch die höhere Leuchtkraft gerade ausgeglichen würde. Das Vorhandensein des Schattens, oder die geringere Erleuchtung von der Schmalseite her beweist, dass für wirkliche Flammen jene Annäherung nicht genügt, sondern der vollständige Ausdruck für L beibehalten oder doch die Reihenentwicklung mindestens bis zur zweiten Potenz des Absorptionsvermögens geführt werden muss. Auch ergibt sich aus den gemachten Wahrnehmungen, dass es bei photometrischer Bestimmung des Beleuchtungswerthes durchaus nicht gleichgiltig ist, ob man die Breitseite oder die Schmalseite der Flamme wirken lässt.

Es sind offenbar die in der Flamme schwebenden glühenden Russtheilchen, welche das eigene Licht der Flamme am Durchgange hindern, und nach der Schmalseite hin, in welcher Richtung die Strahlen eine dickere Schicht derselben zu durchlaufen haben, eine stärkere Verminderung der Beleuchtung, einen Schatten, bewirken. Die Bezeichnung „Selbstschatten einer Flamme“ erscheint hiedurch gerechtfertigt. Es versteht sich von selbst, dass auch das Licht einer zweiten Flamme oder irgend einer fremden Lichtquelle dieselbe Einwirkung erleidet, und von der Schmalseite her auf die Flamme treffend einen dunkleren Schatten derselben entwirft als von der Breitseite her.

Der Selbstschatten der Flamme erscheint natürlich verschwommen und ohne deutliche Umrisse, da er von einer

ausgedehnten Lichtquelle mit unzählig vielen leuchtenden Punkten herrührt.

Ein scharfes Schattenbild der Flamme erhält man auf einem weissen Schirm, wenn man dieselbe mit Sonnenlicht beleuchtet, das von dem Brennpunkt einer Linse ausstrahlt. Ist die Schmalseite der flachen Flamme dem Lichtpunkt zugekehrt, so zeigt das Schattenbild das in der beigegebenen Figur (Abdruck einer photographischen Aufnahme des auf einem Schirm entworfenen Flammenschattens) dargestellte bemerkenswerthe Aussehen. Das aus dem Schnitt des Brenners kommende kalte noch nicht brennende und von Russtheilchen freie Gas ist durchsichtig und erscheint daher im Bilde hell, inmitten eines dunkleren Raumes, der sich über dem Brenner bis zur Spitze des Flammenbildes erstreckt. Dieser Raum wird nach beiden Seiten hin allmählig dunkler, und ist aussen durch einen hellen Saum, der beträchtlich heller ist als der direct beleuchtete Grund des Papierschirms, scharf begrenzt. Der dunkelste Theil des Bildes aber ist der Schatten des starkleuchtenden oberen Theiles der Flamme, welcher sich über dem hellen Gastrom in Gestalt einer spitzen Zunge bis zum Gipfel der Flamme erhebt. Diese Zunge ist bräunlich gefärbt, wie das Licht, welches durch eine dünne Russschicht oder durch eine Rauchwolke gegangen ist. Der vorhin erwähnte dunkle Raum dagegen, in dessen Axe die Zunge schwebt, zeigt diese bräun-



liche Färbung nicht, sondern erscheint im Contraste damit eher etwas bläulich, woraus ersichtlich ist, dass er nicht durch Einwirkung von Russtheilchen auf das durchgehende Licht entsteht, und demnach nicht als Schatten der leuchtenden Theile der Flamme anzusehen ist. Er entsteht vielmehr durch Lichtbrechung in dem heissen aufsteigenden Strom der Verbrennungsgase, welcher die Flamme umgibt. Dieser wirkt nämlich wie eine mit schwächer brechender Substanz erfüllte Convexlinse, also wie eine Zerstreuungslinse. Indem hiedurch die Strahlen nach aussen gelenkt werden und sich dort den an der Flamme vorbeigehenden directen Strahlen hinzufügen, entsteht der helle Saum, und innen der dunkle Raum, in dessen Mitte der eigentliche Flammenschatten, die dunkle bräunliche Zunge, erscheint. Durch jede concave Glaslinse, welche man vor einem weissen Schirme in die Sonnenstrahlen hält, kann man diese Erscheinung, einen hell umsäumten dunklen Raum, leicht nachahmen. Zu dem hellen Saume des Flammenschattens tragen übrigens vielleicht auch Strahlen bei, welche an dem Umfang des heissen Luftstroms vorbeistreifend totale Reflexion erleiden.

Beleuchtet man mit intermittirendem Licht, indem man den Brennpunkt auf die Löcherreihe am Rande einer rotirenden Scheibe fallen lässt, so sieht man ausserhalb des hellen Saumes in der umgebenden Luft zierliche Wellen emporsteigen, welche über der Spitze der Flamme, von beiden Seiten sich beegnend, durcheinander wirbeln. Das Innere des Schattenbildes dagegen erscheint ruhig und frei von Wellenbewegung.
