

Zwei Sätze über das BUNSEN'sche Photometer.

Von

DR. HUGO KRÜSS.

I.

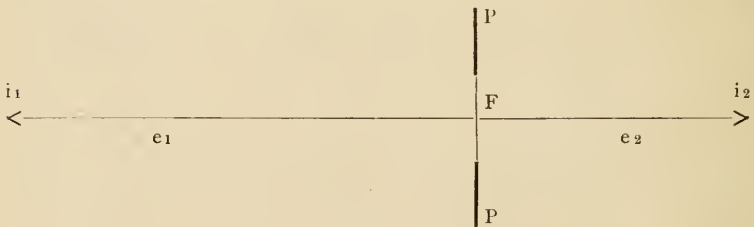
Die Construction des Bunfen'schen Photometers beruht bekanntlich darauf, daß ein auf einem Papier befindlicher Fettfleck bei durchfallendem Lichte hell auf dunklem Grunde, bei auffallendem dunkel auf hellem Grunde erscheint. Hieraus könnte man schließen, daß bei gleich starker Beleuchtung des Papiers von beiden Seiten der Fettfleck beiderseits weder hell auf dunklem noch dunkel auf hellem Grunde erscheine, also gänzlich verschwinde. Dieses wäre auch in der That der Fall, wenn das auf den Papierschirm fallende Licht nur in zwei Teile zerfiel, — einen, der reflectiert und einen, der hindurchgelassen wird. Wenn der Papierschirm genau in der Mitte zwischen zwei Lichtquellen von gleicher Intensität aufgestellt wird, so zeigt die Beobachtung, daß der Fettfleck nicht vollkommen verschwindet. Das auf den Papierschirm fallende Licht wird nämlich nicht in zwei, sondern in drei Teile zerlegt; der dritte Teil wird absorbiert.

Ueber die Verteilung des Lichtes bei dem Papierschirm des Bunfen'schen Photometers sind nun zwei Arbeiten vorhanden, von Bohn¹⁾ und von Rüdorf²⁾, welche in der Anlage

¹⁾ Ann. d. Chem. u. Pharm. 117, 335 (1859).

²⁾ Ann. d. Phys. u. Chem. Jubelband, 234 (1874)

übereinstimmend in einem Punkte zu entgegengesetzten Resultaten gelangen. Wenn der Papierschirm genau in der Mitte zwischen zwei Lichtquellen von gleicher Intensität aufgestellt ist, so fragt es sich, wie in dieser Stellung nun der Fettfleck erscheint, ob heller als das umgebende nichtgefettete Papier oder ob dunkler. Rüdorf behauptet¹⁾, daß der Fettfleck auf beiden Seiten des Papierfilms dunkel auf hellem Grunde erscheine, welches ich bei einer großen Anzahl von Messungen mit dem Bunfen'schen Photometer bestätigt gefunden habe, während Bohn²⁾ durch seine Entwicklungen zu dem entgegengesetzten Resultate gelangt. Nun läßt sich bei Bohn, wie schon Rüdorf entdeckte, ein Rechenfehler nachweisen, bei dessen Vermeidung Bohn mit Rüdorf in Übereinstimmung gewesen wäre. Durch Aufdeckung dieses Rechenfehlers wäre also eigentlich diese Angelegenheit geordnet, wenn nicht die Bohn'sche falsche Behauptung in physikalische Lehrbücher übergegangen wäre³⁾, so daß es sich wohl verlohnt, auf eine von den Bohn'schen Entwicklungen verschiedene Weise die Richtigkeit der Rüdorf'schen Beobachtung nochmals nachzuweisen.



Es seien zwei Lichtquellen mit den Intensitäten i_1 und i_2 gegeben und zwischen ihnen der Papierschirm PP mit dem Fettfleck F so aufgestellt, daß er beiderseits gleich hell beleuchtet wird. Die Entfernungen der Lichtquellen von dem Papierschirm mögen dann e_1 und e_2 sein.

¹⁾ l. c. p. 237.

²⁾ l. c. p. 338.

³⁾ Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie. 5. Aufl., bearbeitet von Pfaundler (1878). 2. Bd. p. 19.

Es sollen nun die Coefficienten a, b, c ausdrücken, welche Teile des auffallenden Lichtes von dem nicht gefetteten Papier zurückgeworfen, hindurchgelassen und absorbiert werden, und α , β , γ mögen dieselbe Bedeutung für den Fettfleck haben, dann ist

$$a + b + c = \alpha + \beta + \gamma = 1 1)$$

und die Verteilung des Lichtes auf dem Papierschirm wird in folgender Weise stattfinden:

	Beleuchtung der linken Seite	AbSORBIERT WIRD	Beleuchtung der rechten Seite
Nichtgefett. Papier	$a \frac{i_1}{e_1^2} + b \frac{i_2}{e_2^2}$	$c \frac{i_1}{e_1^2} + c \frac{i_2}{e_2^2}$	$a \frac{i_2}{e_2^2} + b \frac{i_1}{e_1^2}$
Fettfleck	$\alpha \frac{i_1}{e_1^2} + \beta \frac{i_2}{e_2^2}$	$\gamma \frac{i_1}{e_1^2} + \gamma \frac{i_2}{e_2^2}$	$\alpha \frac{i_2}{e_2^2} + \beta \frac{i_1}{e_1^2}$

Da vorausgesetzt wurde, daß der Papierschirm sich in solcher Stellung befinde, daß er von beiden Seiten gleich hell beleuchtet wird, so bestehen die beiden Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} a \frac{i_1}{e_1^2} + b \frac{i_2}{e_2^2} &= a \frac{i_2}{e_2^2} + b \frac{i_1}{e_1^2} \\ \alpha \frac{i_1}{e_1^2} + \beta \frac{i_2}{e_2^2} &= \alpha \frac{i_2}{e_2^2} + \beta \frac{i_1}{e_1^2} \end{aligned} \right\}$$

oder

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{i_1}{e_1^2} - \frac{i_2}{e_2^2} \right) (a - b) &= 0 \\ \left(\frac{i_1}{e_1^2} - \frac{i_2}{e_2^2} \right) (\alpha - \beta) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

woraus der vorausgesetzten Abnahme der Helligkeit mit dem Quadrate der Entfernung entsprechend folgt:

$$\frac{i_1}{e_1^2} = \frac{i_2}{e_2^2} = I 2)$$

Nun ist die Helligkeit

	des nichtgefetteten Papiers	des Fettflecks
links	$a \frac{i_1}{e_1^2} + b \frac{i_2}{e_2^2} =$	$\alpha \frac{i_1}{e_1^2} + \beta \frac{i_2}{e_2^2} =$
rechts	$a \frac{i_2}{e_2^2} + b \frac{i_1}{e_1^2} =$	$\alpha \frac{i_2}{e_2^2} + \beta \frac{i_1}{e_1^2} =$
	$(a + b) I$	$(\alpha + \beta) I$

Der Fettfleck kann also nur dann gleiche Helligkeit mit dem nichtgefetteten Papier besitzen, wenn

$$(a + b) I = (\alpha + \beta) I$$

ist, da aber

$a + b + c = \alpha + \beta + \gamma = 1$ ist, so müßte $c = \gamma$ sein. Dieses ist aber nicht der Fall, da die Absorptionen des Lichtes durch das nichtgefettete Papier und durch den Fettfleck verschieden sind. Folglich ist

$$\text{wenn } \left. \begin{array}{l} (a + b) I > (\alpha + \beta) I \\ c < \gamma \end{array} \right\} \dots \dots \dots 3)$$

Die Entscheidung der Frage, ob der Fettfleck hell auf dunklem Grunde oder dunkel auf hellem Grunde erscheint, hängt also davon ab, ob der Fettfleck mehr Licht absorbiert als das nichtgefettete Papier oder weniger. Die directe Bestimmung von c und γ könnte hierüber Aufschluß geben, dieselbe ist aber nicht ganz einfach auszuführen und läßt sich durch folgende Betrachtungen vermeiden.

Es giebt nämlich wie Bohn und Rüdorf gezeigt haben, zwei Stellungen des Papiersehirms zu den Lichtquellen, in deren einer der Fettfleck auf der linken Seite des Schirmes verschwindet, also gleiche Helligkeit mit dem umgebenden nichtgefetteten Papier hat, und in deren anderer daselbe auf der rechten Seite des Schirmes stattfindet.

Es sei zuerst die linke Seite des Papiersehirmes betrachtet und angenommen, daß bei gleicher Beleuchtung des Schirmes durch beide Lichtquellen der Fettfleck heller sei, als das nichtgefettete Papier, daß also die Ungleichungen bestehen

$$\left. \begin{array}{l} c > \gamma \\ a \frac{i_1}{e_1^2} + b \frac{i_2}{e_2^2} < \alpha \frac{i_1}{e_1^2} + \beta \frac{i_2}{e_2^2} \end{array} \right\}$$

oder $a i_1 e_2^2 + b i_2 e_1^2 < \alpha i_1 e_2^2 + \beta i_2 e_1^2 \dots \dots 4)$

Ferner sei angenommen, daß die Lichtquelle rechts mit der Intensität i_2 in derselben Entfernung e_2 vom Papierschirm

stehen bleibe und dafs die Entfernung e_2 der linken Lichtquelle (i_1) vergrößert werden mufs, damit der Fettfleck auf der linken Seite verschwinde. Es sei diese Entfernung $e_1 + x$, wo x eine positive Gröfse ist.

Dann ist

$$a \frac{i_1}{(e_1 + x)^2} + b \frac{i_2}{e_2^2} = \alpha \frac{i_1}{(e_1 + x)^2} + \beta \frac{i_2}{e_2^2}$$

oder $a i_1 e_2^2 + b i_2 (e_1 + x)^2 = \alpha i_1 e_2^2 + \beta i_2 (e_1 + x)^2$

Subtrahiert man hiervon die Ungleichung 4) so ergibt sich

$$b i_2 (2 e_1 x + x^2) > \beta i_2 (2 e_1 x + x^2)$$

oder $b > \beta$.

Ebenso soll nun die rechte Seite des Papierschirmes beleuchtet und dieselbe Annahme gemacht werden, dafs in der ursprünglichen Stellung der Fettfleck heller sei als das nichtgefettete Papier. Für die rechte Seite bestehen also die Ungleichungen

$$\left. \begin{array}{l} c > \gamma \\ a \frac{i_2}{e_2^2} + b \frac{i_1}{e_1^2} < \alpha \frac{i_2}{e_2^2} + \beta \frac{i_1}{e_1^2} \end{array} \right\}$$

oder $a i_2 e_1^2 + b i_1 e_2^2 < \alpha i_2 e_1^2 + \beta i_1 e_2^2 \dots 5)$

Wenn die Annahme richtig war, dafs die Entfernung e_1 vergrößert werden mußte, um den Fettfleck links zum Verschwinden zu bringen, so mufs jetzt angenommen werden, dafs die Entfernung e_1 verkleinert werden mufs, damit der Fettfleck auf der rechten Seite verschwinde. Ist in diesem Falle die Entfernung der Lichtquelle i_1 von dem Papierschirm $= e_1 - y$ (wo y wieder eine positive Gröfse ist), so ist

$$a \frac{i_2}{e_2^2} + b \frac{i_1}{(e_1 - y)^2} = \alpha \frac{i_2}{e_2^2} + \beta \frac{i_1}{(e_1 - y)^2}$$

oder $a i_2 (e_1 - y)^2 + b i_1 e_2^2 = \alpha i_2 (e_1 - y)^2 + \beta i_1 e_2^2$

Subtrahiert man hiervon die Ungleichung 5) so erhält man

$$a i_2 (-2 e_1 y + y^2) > \alpha i_2 (-2 e_1 y + y^2)$$

oder $- a i_2 (2 e_1 y - y^2) > - \alpha i_2 (2 e_1 y - y^2)$.

Da γ klein ist im Vergleich zu $2e_1$, so ist der Ausdruck $2e_1\gamma - \gamma^2$ positiv, also

$$\begin{array}{l} - a > - \alpha \\ \text{oder} \quad a < \alpha \end{array}$$

Unter den beiden Voraussetzungen, dass

- 1) $c > \gamma$
- 2) die Entfernung e_1 vergrößert werden muss, um den Fettfleck links, dass sie verkleinert werden muss, um ihn rechts gleich hell mit dem nichtgefetteten Papier zu machen, ergibt sich also

$$\begin{array}{l} a < \alpha \\ b > \beta \end{array}$$

Dieses widerspricht jedoch der Wirklichkeit. Bekanntlich erscheint bei auffallendem Licht der Fettfleck dunkler als das nichtgefettete Papier, also ist $a > \alpha$, und bei durchfallendem Lichte heller als das umgebende Papier, also ist $b < \beta$. In Folge dessen muss unter der Voraussetzung 2), welche über die Veränderung in der Entfernung e_1 gemacht wurde, nicht $c > \gamma$ sondern $c < \gamma$ sein und die Entscheidung der Frage, ob bei gleicher Beleuchtung von beiden Seiten der Fettfleck hell auf dunklem oder dunkel auf hellem Grunde erscheint, ergibt sich durch die experimentelle Prüfung über die Veränderung e_1 , wenn man den Fettfleck links resp. rechts zum Verschwinden bringt.

Nun sagt Bohn,¹⁾ dass der Fettfleck auf der rechten Seite nur dann verschwindet, wenn die Beleuchtung auf der linken Seite gröfser, also die Entfernung der Lichtquelle i_1 von dem Schirm verkleinert wird. Rüdorf giebt eine Reihe von Messungen an²⁾ über die Stellung des Schirmes, wenn der Fettfleck links und rechts verschwindet; aus seinen Zalen geht ebenfalls hervor, dass der Fettfleck links verschwindet bei Vergrößerung, rechts bei Verkleinerung der Entfernung e_1 und auch ich habe solches stets bestätigt gefunden. Es wird also die den

¹⁾ l. c. p. 338.

²⁾ l. c. p. 240.

vorhergehenden Betrachtungen zu Grunde gelegte Voraussetzung 2) erfüllt, wodurch constatirt ist, daß $c < \gamma$ sein muß, d. h.

bei gleicher Beleuchtung des Papierchirms von beiden Seiten erscheint der Fettfleck beiderseits **dunkler** als das nichtgefettete Papier.

II.

Bohn¹⁾ und Rüdorf²⁾ haben gezeigt, daß sich aus den beiden Stellungen des Papierchirms, in welchen der Fettfleck links und rechts verschwindet, die mittlere Stellung desselben, also das richtige Intensitätsverhältniß der beiden mit einander verglichenen Lichtquellen durch Rechnung ermitteln läßt. Beide gehen jedoch von der Voraussetzung aus, daß das Normallicht und der Papierschirm sich in constanter Entfernung von einander befinden und nur die Entfernung der zu messenden Lichtquelle von dem Papierschirm variabel sei. Solches ist allerdings bei dem von Bunfen selbst angegebenen Modell seines Photometers der Fall, es giebt jedoch eine große Anzahl Photometer, bei welchen die beiden Lichtquellen an den beiden Enden eines festen Maßstabes angebracht sind und der Papierschirm zwischen ihnen verschiebbar ist, so daß sich die Entfernungen der beiden Lichtquellen von demselben ändern.

Es läßt sich nun leicht eine ganz allgemeine Beziehung zwischen den bezeichneten drei Stellungen des Papierchirms aufstellen, aus welcher die von Rüdorf und Bohn betrachteten speciellen Fälle abgeleitet werden können.

Wenn der Fettfleck links verschwindet, so seien die Entfernungen der Lichtquellen i_1 und i_2 von dem Papierschirm E_1 und E_2 ; dann ist also

$$\frac{i_1}{E_1^2} + b \frac{i_2}{E_2^2} = a \frac{i_1}{E_1^2} + \beta \frac{i_2}{E_2^2}$$

¹⁾ l. c. p. 351.

²⁾ l. c. p. 238.

$$\frac{i_1}{E_1^2} (a - \alpha) + \frac{i_2}{E_2^2} (b - \beta) = 0$$

oder
$$\frac{E_1^2}{E_2^2} = - \frac{a - \alpha}{b - \beta} \cdot \frac{i_1}{i_2} \dots \dots \dots 6)$$

Für den Fall, daß der Fettfleck rechts verschwindet, seien die entsprechenden Entfernungen der Lichtquellen von dem Papierschirm E_1' und E_2' . Dann muß sein

$$a \frac{i_2}{E_2'^2} + b \frac{i_1}{E_1'^2} = \alpha \frac{i_2}{E_2'^2} + \beta \frac{i_1}{E_1'^2}$$

$$\frac{i_2}{E_2'^2} (a - \alpha) + \frac{i_1}{E_1'^2} (b - \beta) = 0$$

oder
$$\frac{E_1'^2}{E_2'^2} = - \frac{b - \beta}{a - \alpha} \frac{i_1}{i_2} \dots \dots \dots 7)$$

Durch Multiplication der Gleichungen 6) und 7) mit einander ergibt sich

$$\frac{i_1^2}{i_2^2} = \frac{E_1^2}{E_2^2} \cdot \frac{E_1'^2}{E_2'^2}$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \sqrt{\frac{E_1^2}{E_2^2} \cdot \frac{E_1'^2}{E_2'^2}} \dots \dots \dots 8)$$

d. h. Das richtige Intensitätsverhältniß $\frac{i_1}{i_2}$ der beiden Lichtquellen zu einander ist gleich dem geometrischen Mittel aus denjenigen Intensitätsverhältnissen $\frac{E_1^2}{E_2^2}$ und $\frac{E_1'^2}{E_2'^2}$, welche den beiden Stellungen entsprechen, in denen der Fettfleck links und rechts verschwindet.

Rüdorf weiß für den Fall, daß die Normalflamme sich in constanter Entfernung von dem Papierschirm befindet, nach, daß das geometrische Mittel aus den beiden Entfernungen der zu prüfenden Lichtquelle von dem Papierschirm, wenn der Fettfleck links und rechts verschwindet, gleich der Entfernung dieser Lichtquelle von dem Papierschirm ist, wenn dasselbe auf beiden Seiten gleich hell beleuchtet ist.

Für die Rüdorf'sche Annahme ist also

$$E_2 = E_2' = e_2$$

Folglich wird Gleichung 8)

$$\frac{i_1}{i_2} = \sqrt{\frac{E_1^2 \cdot E_1'^2}{e_2^2 \cdot e_2^2}} = \frac{E_1 \cdot E_1'}{e_2^2}$$

und da nach Gleichung 2)

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{e_1^2}{e_2^2} \text{ ist, so ist}$$

$$e_1^2 = E_1 \cdot E_1' \dots \dots \dots 9)$$

Zum Schlusse ist noch hinzuzufügen, das Rüdorf bei der Berechnung seiner Beobachtungen ohne Weiteres das allgemeine Gesetz benutzt, welches durch Gleichung 8) ausgedrückt wird, während er im Vorhergehenden nur obigen speciellen Fall betrachtet hat und auch die Anordnung seiner Beobachtungen demselben entsprechen; er mußte natürlich trotzdem zu richtigen Rechnungsresultaten gelangen.

Hamburg, Mai 1881.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg](#)

Jahr/Year: 1881

Band/Volume: [NF_5](#)

Autor(en)/Author(s): Krüss Hugo

Artikel/Article: [Zwei Sätze über das Bunsen'sche Photometer 71-79](#)