

**9. Wirkung der Röntgenstrahlung
auf den elektrischen Widerstand des Selens;
von G. Athanasiadis.**

In einer früheren Zuschrift¹⁾ haben wir über das Verhältnis der Beleuchtung zum Leitungsvermögen des Selens eine Mitteilung gemacht, dabei eine Formel aufgestellt, welche den Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen für Beleuchtungsgrenzen von 1—100 vorbringt. Als Einheit hatten wir die Beleuchtung einer 16 kerzigen Normallampe im Abstände von 1 m zugrunde gelegt. Unsere diesbezüglichen Experimente haben wir nun auch auf Röntgenstrahlen erweitert und das Verhältnis geprüft, welches zwischen der Stromdichte²⁾ von Röntgenstrahlen und dem Leitungsvermögen einer Selenzelle existiert. Da ja seitdem Perreau³⁾ festgestellt hat, daß die X-Strahlen den Selenwiderstand vermindern, ist das Gesetz der Abhängigkeit der Röntgenstromdichte von dem Selenwiderstand nicht untersucht worden. Wir zeigen eben, daß diese Abhängigkeit ähnlich derjenigen der Lichtstrahlung ist und durch dieselbe Formel ausgedrückt werde. Dies führt uns auch zur Anwendung der vorgeschlagenen photometrischen Methode. Diese Methode ist verschieden von der von Roiti⁴⁾, Meslin⁵⁾, Gaiffe⁶⁾, Contremoulins⁷⁾ und Holtsmark⁸⁾ vor-

1) G. Athanasiadis, Ann. d. Phys. 25. p. 93. 1908.

2) Die Stromdichte der Röntgenstrahlung entspricht der Beleuchtung des Lichtes.

3) Perreau, Compt. rend. 2. sem. p. 956. 1899.

4) A. Roiti, Rendicondi d. Ac. dei Lincei (5) 2. p. 137; Eletricista (5) Nr. 9.

5) G. Meslin, Journ. d. physique (3) 5. p. 202. 1896.

6) Gaiffe, Compt. rend. 142. p. 447. 1906.

7) G. Contremoulins, Compt. rend. 141. p. 26. 1905.

8) G. Holtsmark, Ann. d. Phys. 10. p. 522. 1903.

geschlagenen, welche ja auf ganz anderen Eigenschaften der Röntgenstrahlen beruhen.

Unsere Selenzelle war von einem Widerstand von 35000 bis 42000 Ohm und hatte eine normale Lichtempfindlichkeit von 10:1. Wir hatten dieselbe normal in der Richtung der Röntgenstrahlen ausgestellt, und die Veränderung der Stromdichte dadurch erreicht, daß wir den Abstand der Zelle von der verhüllten Röntgenröhre änderten. Die Messung des Widerstandes geschah durch eine Kirchhoff-Wheatstone'sche Brücke der Einrichtung von Kohlrausch (Hartmann & Braun Nr. 389 I), welche mit einem empfindlichen Galvanometer versehen war. Das Verhältnis der Stromdichten ist durch das Verhältnis der Abstände bestimmt. Die Dauer der Ausstellung der Selenzelle an den Röntgenstrahlen sollte manchmal bis zu 20 Min. betragen, um das der Selenwiderstand einen konstanten Wert erreicht, wie es der Fall bei den Lichtversuchen war, und in diesem Konstanterhalten der Röntgenstromdichte auf eine längere Zeit lag bei unseren Versuchen eine besondere Schwierigkeit. Nach manchem Ausprobieren haben wir dies durch Anwendung einer kräftigen Röntgenröhre und Benutzung eines passenden Unterbrechers. Vorzugsweise hat sich darin der Rotaxmotor-Quecksilberunterbrecher als tauglich erwiesen. Dieser Unterbrecher gewährte eine äußerst gleichförmige Röntgenstrahlung frei von plötzlichen Unterbrechungen, welche infolge des Induktionseinflusses der hohen Stromspannung auf die Ablesungen des Galvanometers störend einwirken. Um dieser störenden Einwirkung des Stromes vorzubeugen, haben wir eine wirksame Isolierung des ganzen Stromkreises vorgenommen. Zum möglichen Konstanthalten der Strahlung lassen wir die Anzahl der Unterbrechungen pro Sekunde zunehmen, indem wir vor Augen haben, daß die Entladungsdauer der Röntgenröhre eine minimale ist, sich auf $6,7 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$ einer Sekunde belaufend.¹⁾

Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Selenzelle ist für den Abstand von 1 m äußerst schwach und wird für kleine Abstände, wie es aus folgender Tabelle hervorgeht, kräftiger.

1) B. Brunhes, *Compt. rend.* **142.** p. 391. 1906; A. Broca et Turchini, *Compt. rend.* **142.** p. 271, 275. 1906.

d	α	W	d	α	W
im Dunkeln	194	41500 Ω	20	263	28000
100	198	40500	15	291	24300
50	214	36700	10	323	20900
30	235	32500			

d bedeutet den Abstand, W den Selenwiderstand, α Ablesungen an der Brückenskala.

Wir bedienen uns verschiedener Röntgenröhren oder einer Röhre von veränderlicher Strahlungsintensität, und haben bei denselben Abständen von 100 bis 10 cm mehrere Kurven erhalten, aus welchen wir das Gesetz der Abhängigkeit der Röntgenstrahlung von dem Abstände bestimmt haben.

In der nachstehenden Fig. 1 gelten als Abszissen die Selenwiderstände und als Ordinaten eine aus der Formel $n_i = (100/d_i)^2$ berechnete Funktion des Abstandes. d_i bedeutet den Abstand der Selenzelle von der Anodenscheibe, d. h. von

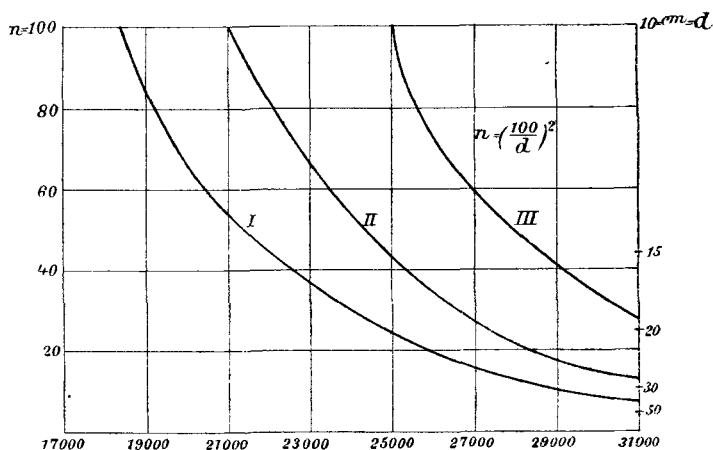


Fig. 1.

dem Strahlungspunkt in Zentimetern. Die so berechneten Ordinaten n_i stellen, als Repräsentanten der Stromdichte angenommen, für die verschiedenen Kurven (z. B. I und II) nicht ein und denselben Wert der Stromdichte dar.

In der Fig. 2 entsprechen die Ordinaten $Aa = n$ und $Aa_1 = n_1$ den Abständen d und d_1 . Die zugehörigen Strom-

dichten e und e_1 , von zwei verschiedenen Röntgenröhren, sind für diese Abstände einander gleich, da sie demselben Widerstande der Selenzelle entsprechen. Es sei vorläufig, infolge der Unkenntnis des Zusammenhanges zwischen der Stromdichte e und dem Abstände d angenommen, für die Kurve I

$$(1) \quad e = \frac{S}{d^\sigma}$$

und für die Kurve II

$$e_1 = \frac{S_1}{d_1^\sigma},$$

wobei S und S_1 die Intensität von den beiden Quellen bedeutet. Es folgt daraus infolge der Gleichheit $e = e_1$, daß

$$(2) \quad \frac{S}{S_1} = \frac{d^\sigma}{d_1^\sigma} = \left(\frac{n_1}{n}\right)^{\sigma/2}.$$

Für zwei beliebige Ordinaten z. B. Bb und Bb_1 , welche demselben Selenwiderstand entsprechen, behält dieses Verhältnis n_1/n denselben Wert.

Gesetz der Abstände. Zum Feststellen des Zusammenhanges zwischen der Röntgenstromdichte und der Abstände vergleichen wir unsere Kurven mit denjenigen, welche wir durch die Einwirkung einer Lichtquelle auf dieselbe Selenzelle erhalten. Durch passende Wahl der Lichtquellenintensität S_0 läßt sich eine Lichtkurve $a a_1 c$ (Fig. 3) herausfinden, welche mit der Kurve der Röntgen-

strahlung $N a a_1 N_1$ zusammenfällt. Wenn nun d und d_1 die Abstände einer und derselben Röntgenröhre von der Selenzelle bedeuten, für welche Abstände die Selenzelle die Wider-

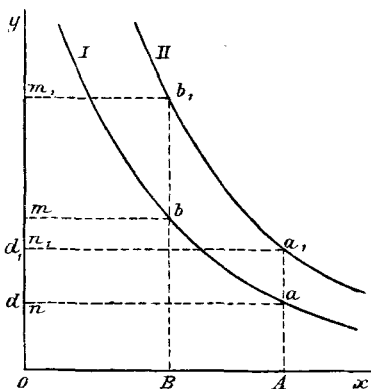


Fig. 2.

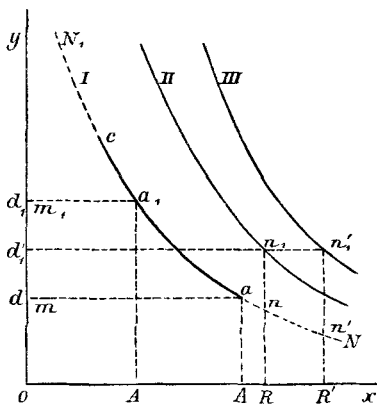


Fig. 3.

stände A und A_1 aufweist, und die entsprechenden Stromdichten seien e und e_1 .

Es seien weiter D und D_1 diejenigen Abstände der Lichtquelle, für welche die Widerstände der Selenzelle denselben Wert A und A_1 liefert, dann wird, wenn wir weiter mit E und E_1 die zu den Punkten a und a_1 der Kurve zugehörigen Beleuchtungswerte bezeichnen,

$$\frac{e}{e_1} = \frac{d_1^\sigma}{d^\sigma} \quad \text{und} \quad \frac{E}{E_1} = \frac{D_1^2}{D^2}.$$

Da die Wirkung der Strahlung auf das Selen in beiden Fällen dieselbe ist, so wäre es gestattet, die Verhältnisse e/e_1 und E/E_1 einander gleich umzusetzen. Wenn wir dabei das Vorhandensein der Gleichungen

$$m = \left(\frac{100}{d}\right)^2 = \left(\frac{M}{D}\right)^2 \quad \text{und} \quad m_1 = \left(\frac{100}{d_1}\right)^2 = \left(\frac{M}{D_1}\right)^2$$

ins Auge fassen, aus welchen $d_1:d = D_1:D$ hervorgeht, so schließen wir daraus unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Gleichung (2), daß $\sigma = 2$ sei. Das hieße, daß *die Röntgenstrahlung betreffs der Wirkungen der Abstände demselben Gesetz folgt wie die Lichtstrahlung, die Röntgenstromdichte nämlich stehe in umgekehrtem Verhältnis zu dem Quadrate der Abstände.*

Roiti¹⁾ und Meslin²⁾ kommen zu demselben Resultat durch die von ihnen erfundenen *Radiometer*, Holtzmark³⁾ durch seine elektrometrische Methode. Die Radiometer von Roiti und Meslin stützen sich aber auf die Fluoreszierung mit einer Platincyranbariumplatte.

Messung der Röntgenröhrenintensität. So ist es nun möglich, mittels einer Selenzelle eine direkte Vergleichung der X-Strahlen zu der Lichtstrahlung vorzunehmen und sozusagen jene auch in Kerzen messen zu können.

Mit $\sigma = 2$ folgt aus Gleichung (2)

$$(3) \quad S:S_1 = n_1:n.$$

Es wäre weiter in demselben Punkte a der Kurve $Na a_1 c N_1$ die Beleuchtung $e_e = S_0/D^2$, und für die Röntgenstromdichte $e_r = S/d^2$ wäre demnach $e_e = e_r$ zu setzen und den daraus gewonnenen Wert von

1) A. Roiti, *Elettricista* (5) No. 9. 1896.

2) G. Meslin, *Journ. d. Phys.* (3) 5. p. 202. 1896.

3) G. Holtzmark, *Ann. d. Phys.* 10. p. 522. 1903.

$$(4) \quad S = S_0 \frac{d^2}{D^2}$$

in die Gleichung (3) eingesetzt, wird

$$(5) \quad S_1 = S_0 \frac{d^2}{D^2} \frac{n}{n_1}.$$

Mittels dieser Formel läßt sich die Intensität einer Röntgenröhre photometrisch, d. h. in Kerzen, auf folgende Weise bestimmen.

Wir zeichnen einmal in einem Koordinatensystem nach der weiter oben angegebenen Weise eine Kurve einer ein-kerzigen Lichtquelle ($S_0 = 1$) auf, wir bestimmen dann durch Experiment denjenigen Abstand d , für welchen eine Röntgenröhre auf die Selenzelle jenen Widerstand verursacht, welchen die Lichtquelle bei einem Abstand D auf dieselbe Zelle hervorbringt. Dann haben wir ein für allemal einen Wert $K = (d/D)^2$ und (5) nimmt die einfachere Form

$$(6) \quad S_1 = K S_0 \frac{n}{n_1}$$

an. Es liegt nun beispielsweise die Messung der Intensität einer beliebigen Röntgenröhre vor. Wir stellen die Selenzelle in einem Abstände d_x (z. B. 20 cm) von der Röhre auf, messen dann durch die Brücke den Widerstand von jener, und tragen ihn als Abszisse OR auf; nehmen wir dann zu dieser Abszisse als Ordinate die Größe $R n_1$, welche zu dem Abstände d_x gehört und stecken dann die Größen $R n$ und $R n_1$ ab, deren Verhältnis $n:n_1$ ist, so folgt dann aus Gleichung (6) die Größe der Röhrenintensität in Kerzen.

Wenn uns nun weiter die Vergleichung der Intensitäten von zwei Röntgenröhren vorliegt, stellen wir diese nacheinander in demselben Abstände d_x von der Selenzelle auf, messen die zugehörigen Widerstände der letzteren und tragen diese auf der Abszissenachse auf, durch die Endpunkte R und R' tragen wir Parallelen zu der y -Achse bis zum Schnitte mit der durch d_x parallel zur Abszisse ein, stecken dann die Größen $R n = n$ und $R' n' = n'$ ab, und so haben wir das gesuchte Verhältnis $S_1:S_2 = n:n'$. Eine solche Strahlungsvergleichung ist offenbar genauer als die übliche durch ein Skiameter.

Diese photometrische Methode zur Bestimmung der Röntgenstrahlungsintensität bietet den Vorteil, daß wir als Grundeinheit

einer Intensität von konstanter Größe diejenige, nämlich einer Kerze, gebrauchen, und daß wir bei Vergleichung der Strahlungen von zwei Röntgenröhren, durch Anwendung des Gesetzes von den Abständen, welchem die X-Strahlung auch folgt, vornehmen.

Die angeführte Methode ist ganz verschieden von derjenigen von Meslin und Contremoulins¹⁾, indem bei diesen die Vergleichung der Licht- und Röntgenstrahlung mit Hilfe der Wirkung derselben auf einer mit Platincyanbariumplatten geschieht. Die Möglichkeit der Anwendung der Kerzeinheit macht die Messung genauer und sicherer als die von Guilleminot²⁾ vorgeschlagene Einheit der Intensität.

Die Identifikation der Röntgen- und Lichtstrahlung ist nicht ganz freiwillig. Das Selen wird von den beiden Wirkungen auf dieselbe Weise beeinflußt, was für das Auge nicht der Fall ist. Wir vergleichen mittels des Selens die Intensität zweier Lichtstrahlungen von verschiedener Farbe (z. B. rot und grün), also von verschiedener Wellenlänge. Mit demselben Rechte können wir die Intensität einer Licht- mit derjenigen einer Röntgenstrahlung vergleichen, welche sich in bezug auf das Selen lediglich in ihrer Wellenlänge unterscheiden.

Aus obigem folgt im allgemeinen:

1. daß die Röntgenstrahlung gerade wie das Licht demselben Gesetz der Abstände folgt;

2. daß die Formel³⁾

$$i = K(K - a)b,$$

durch welche das Verhältnis zwischen der Beleuchtung i und dem Leitungsvermögen der Selenzelle K ausgedrückt wird, identisch ist mit der Formel für die Röntgenstrahlung;

3. daß wir in Selen ein Mittel haben, die Intensitäten zweier Röntgenröhren zu vergleichen, und

4. daß mit Hilfe des Selens die Vergleichung einer Licht- und einer Röntgenstrahlung statthaft ist.

Athen, Physik. Laboratorium d. Univers., 2. Aug. 1908.

1) G. Contremoulins, Compt. rend. 134. p. 649. 1902.

2) H. Guilleminot, Compt. rend. 145. p. 711, 798. 1908.

3) G. Athanasiadis, Ann. d. Phys. 25. p. 93. 1908.

(Eingegangen 24. August 1908.)