

erforderlich sind; ich will aber der Vollständigkeit halber hier die Resultate einer Messung an einer Lampe von 6 Amp. Stromstärke anführen:

Lichtbogenlänge im Mittel in mm		Stromstärke in Amp. im Mittel		Spannung in Volt im Mittel	
1,02		6,1		42,5	
Schwankungen		Schwankungen		Schwankungen	
Max.	+ 13 Proz.	Max.	+ 2,6 Proz.	Max.	+ 3 Proz.
und	— 12 „	und	— 1,8 „	und	— 1,7 „
Mittel	+ 5,1 „	Mittel	+ 0,7 „	Mittel	+ 0,7 „

Die Einzelwerte lassen sich auch in graphischer Darstellung aufzeichnen und man ersieht sodann aus den Amp.-, Volt- und Voltamp.-Kurven die Schwankungen in jedem einzelnen Momente und kann sich sofort ein Urteil über die Regulierung und Wirkungsweise der Lampe bilden.

## 2. Photometrische Messungen und rechnerische Ermittlungen über Bogenlampenbeleuchtung in geschlossenen Räumen, sowie auf Straßen und Plätzen.

Die Lichtausstrahlung des Bogenlichtes hängt von der Konstruktion der Bogenlampe, der Stromart und der Beschaffenheit der Kohlen ab. Es soll nicht meine Aufgabe sein, über die Ausstrahlungskurve der verschiedenen Bogenlampenarten hier zu berichten, sondern ich will speziell mich mit den für die Praxis wertvollen indizierten Helligkeiten bzw. Horizontalbeleuchtungen der verschiedenen Beleuchtungsarten beschäftigen und verweise bezüglich der Ausstrahlungskurven und anderer wissenschaftlicher Momente auf die vielen wertvollen Arbeiten vornehmlich von Herrn Prof. Dr. Wedding und auch anderen. Die Güte einer Beleuchtungsanlage hängt von der Lichtverteilung, Lichtstreuung, der Flächenhelle und Beleuchtungsstärke ab. Für praktische Beleuchtungszwecke kommen nur die Beleuchtungsstärke, Lichtverteilung und -streuung in Frage. Die Stärke der Beleuchtung ermittelt sich am besten mit dem Webersehen Photometer; ich werde darauf, sowie auf die Meßart und Beispiele über photometrische Messungen später zurückkommen. Bezüglich der Meßeinrichtungen verweise ich hier auf die Arbeiten in der E. T. Z. von Ulbricht 1907, S. 304 u. 777, und 1908, Heft 1.

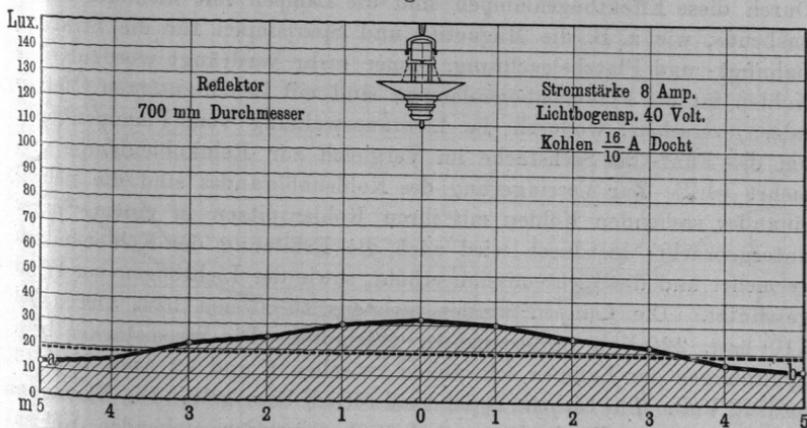
Rechnerisch ergibt sich die Beleuchtungsstärke  $E$  aus der Lichtstärke  $J$  dividiert durch das Quadrat des Lampenabstandes  $R$ ; für die Beleuchtung einer Fläche, welche zum Lichtstrom senkrecht steht, ist die Beleuchtungsstärke  $E_n = \frac{J}{R^2}$ . Handelt es sich um größere horizontale

Flächen, so ist es zweckmäßiger, den Lichtstrom für eine bestimmte Horizontalfläche  $F$  zu bestimmen und es besteht sodann  $E_m = \frac{\Phi}{F} = \frac{J_m \cdot \omega}{F}$ ;

hierin bedeutet  $\omega$  den räumlichen Lichtwinkel und  $\Phi$  den von der Kerze in den räumlichen Winkel Eins entsandten Lichtstrom,  $E_m$  die mittlere Beleuchtung und  $J_m$  mittlere hemisphärische Lichtstärke. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, hat Ingenieur Paul Högnier in der E. T. Z. 1910, Heft 10 und 11 die Horizontalbeleuchtung rechnerisch genau festgestellt. Ich will diese Methode hier nicht näher erläutern, sondern es soll genügen, hier auf dieselbe hingewiesen zu haben und später unter Anführung einiger Berechnungen und Formeln praktische Beispiele anzugeben.

Die Unterschiede zwischen Maximum und Minimum der Beleuchtung werden je nach den lichtstreuenden Mitteln geringer und erreichen bei der total indirekten Beleuchtung den günstigsten Ungleichförmigkeitsgrad der Lichtverteilung, wie eine Aufnahme von oben erwähnter Firma, Fig. 156, zeigt. Bei einer Anzahl Lampen kann bei der total indirekten Beleuchtung und normaler Lampenverteilung die

Fig. 156.



Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung so groß werden, daß die Kurve *ab* nahezu in eine Gerade übergeht. Sodann ist eine ideale Lichtverteilung für Innenbeleuchtung geschaffen. Ich werde hierüber einige selbst ausgeführte Messungen später anreihen. Mit Abnahme des Ungleichförmigkeitsgrades wird jedoch der Lichtverlust größer und somit der Wirkungsgrad des betreffenden Verteilungsmittels kleiner. Dieser geringere Wirkungsgrad kommt aber bei den vielen Vorteilen der indirekten Beleuchtung nicht in Frage. Bei der Innenbeleuchtung, wie z. B. in Bureaus, den meisten Arbeitssälen, Hörsälen, Festsälen usw., muß der Glanz der Lichtquelle möglichst ausgeschlossen werden; es muß somit auch die kleinste Augenblendung vermieden werden. Die Streuung der Lichtstrahlen kann bei der direkten Beleuchtung niemals soweit erreicht werden, daß eine normale Lichtverteilung und Schattenlosigkeit möglich ist.

Für große Fabrikräume oder dgl., woselbst es sich um eine allgemeine Beleuchtung handelt, kann auch die direkte Beleuchtung des

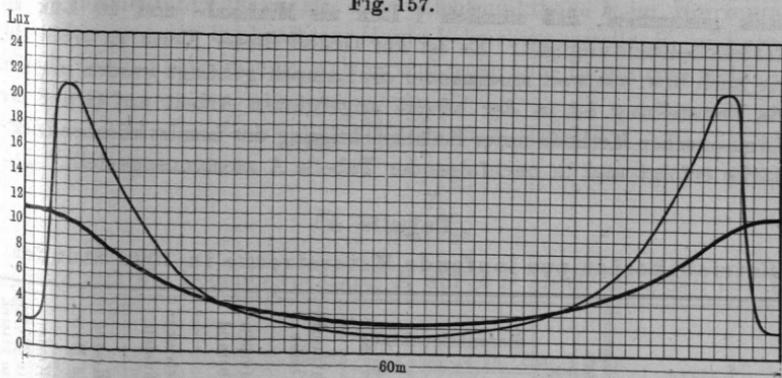
Bogenlichtes verwandt werden, sonst kommt für Innenbeleuchtung nur die halb bzw. ganz indirekte Beleuchtung in Frage und unter dieser hat wieder die ganz indirekte den Vorzug, da sie eine ohne Blendung total diffuse Beleuchtung ergibt. Naturgemäß ist hierzu eine mattweiße Decke und ein ebensolcher Anstrich für die oberen Wände des Raumes Erfordernis. Wenn die Räume hinreichend hoch sind — etwa über  $3\frac{1}{2}$  bis 4 m —, so ergibt die halb indirekte Beleuchtung auch einen guten Effekt. Bei der total indirekten Beleuchtungsart kommen meistens nur Reinkohlenlampen in Frage, während bei der halb indirekten Beleuchtung auch Sparbrandlampen zur Aufhängung gelangen.

Ogleich in der Gasbeleuchtung durch das hängende Gaslicht mit Preßgas oder Preßluftbetrieb ein großer Fortschritt zu verzeichnen ist, so sieht man heute für die öffentliche Beleuchtung bei wohlhabenderen Gemeinden fast nur elektrische Flammenbogenlampen mit nebeneinander oder axial übereinander stehenden Kohlen- und ev. auch Quarzlampen. Durch diese Effektbogenlampen sind die Lampen mit kleinerer Lichtausbeute, wie z. B. die Magnetit- und Sparlampen für die Straßen-, Bahnhof- und Platzbeleuchtung, immer mehr verdrängt worden. Die Kohlen für die Flammenbogenlampen sind mit Leuchtzusätzen (Metallsalzen) versehen, wodurch die Lichtausstrahlung vom Flammenbogen um das Fünf- bis Sechsfache im Vergleich zur Reinkohlenlampe vermehrt wird. Zur Verringerung des Kohlenabbrandes sind die nebeneinander stehenden Kohlen mit ihren Kohlenspitzen in einem Sparer untergebracht; hierdurch wird auch die Erhitzung der Kohlenspitzen vermehrt und die Lichtemission erhöht, sowie der Lichtbogen vor Wind geschützt. Die Lampen werden meistens zu zweien bzw. viere bei 110 bzw. 220 Volt hintereinander geschaltet. Die Stromstärken bzw. Spannungen der Lampen schwanken zwischen 6 und 12 Amp. bzw. 43 und 48 Volt. Die Lichtfarbe ist weiß-rötlich bzw. gelb. Die Flammenbogenlampe für Wechselstrom mit nebeneinander stehenden Kohlen strahlt bei induktiver Vorschaltung<sup>1)</sup> (Vorschalt-Drosselspule) mehr Licht aus, wie bei induktionsfreiem Vorschaltwiderstand; ferner wird der Effektverbrauch des Stromkreises verringert. — In den letzten Jahren sind die Flammenbogenlampen mit übereinander stehenden Kohlen bei Straßenbeleuchtung viel verwendet worden; sie besitzen eine große Lichtausstrahlung, lange Brenndauer und schöne Lichtfarbe. Die verwandten Kohlen zu diesen Lampen enthalten im Docht reichliche Leuchtzusätze, sind jedoch ziemlich dünn. Die Lampen gleichen im wesentlichen den Reinkohlenlampen, jedoch ist der Gestängerraum der Lampe durch Abdichtreflektor oder Schutzwand von den absondernden Dämpfen bzw. Brenngasen getrennt. Die Lampe wird in Drei- und Zweischaltung bei 110 Volt mit je 30 bzw. 40 Volt betrieben. Die Wahl der Strom-

<sup>1)</sup> Siehe hierzu unter folgendem den Vortrag von Dipl.-Ing. E. Heyck: „Über Wesen und Wirtschaftlichkeit neuerer elektrischer Starklichtquellen“, gehalten in Leipzig. Bezirksverein Deutsch. Ing. 1909 u. E. T. Z. 1908, S. 1158.

stärke schwankt zwischen 8 und 15 Amp. Die Lichtfarbe ist je nach den Leuchtzusätzen weiß oder gelb, wovon erstere Farbe vorzuziehen ist. Bei Wechselstrom werden die Lampen bei durchschnittlich 28 Volt in Dreischaltung bei 110 Volt betrieben. Die Lichtausstrahlung ist bei Vorschaltrosselspule besser als bei Vorschaltwiderstand. — In neuerer Zeit ist eine Effektlampe mit ebenfalls hoher Lichtstärke, „nämlich die Quarzlampe“, in den Handel gekommen; dieselbe gehört zu den Metall-dampflampen. Der Brenner dieser Lampe besteht aus einer gut evakuierten Quarzröhre mit zwei Polgefäßen; hieran sind Metallflügel zwecks Kühlung der Gefäße angesetzt. Der Brenner ist in zwei Zapfen gelagert und kann durch Zugstange zum Kippen gebracht werden, so daß das Quecksilber vom positiven zum negativen Pol und zurück läuft und der Lichtbogen eintritt. Die Quarzlampe wird mit 165, 180 und 85 Volt entsprechend mit  $2\frac{1}{2}$ ,  $3\frac{1}{2}$  und 4 Amp. betrieben. Die Ökonomie

Fig. 157.



der Lampe ist den Werten bei Flammenbogenlampen annähernd gleich. Die Lampe kann an 110 oder 220 Volt geschaltet werden; sie bedarf fast keiner Bedienung, da sie etwa 6000 Stunden brennt, und zwar fast ganz ruhig. Diese Vorteile sichern ihr ein Anwendungsgebiet für Plätze, Hofräume und auch für Innenräume, wie z. B. Werkstätten, Fabriken und Hüttenwerken. — Die Flammenbogenlampen geben ein Lichtmaximum bei etwa  $55^\circ$  unter der Horizontalen; für Straßen- und Platzbeleuchtung bei einer verlangten gleichmäßigen Bodenbeleuchtung ist ein Lichtmaximum zwischen etwa  $25^\circ$  unter der Horizontalen erwünscht. Dieses wird z. B. erreicht von der von der Firma Körting u. Mathiesen gebauten Excellolampe mit Diopterglocke — Glocke mit Prismenringen. Ferner ist es bei dieser Lampe gelungen, die Bogenlampenglocke durch entsprechende Ventilation und geeignete Kombination einer neuen Glockenanordnung mit Aschenteller dauernd frei von Beschlag zu erhalten; hierdurch wird ein Lichtverlust von 35 Proz. vermieden und auch die Bedienung bedeutend vermindert. Obenstehende Fig. 157 gibt ein Bild von dem großen Unterschied in der Flächenbeleuchtung bei Excellolampen mit

und ohne Diopterglocke bei gleicher Stromstärke der Lampen. Die Kurven sind von Körting u. Mathiesen aufgenommen. Man sieht, wie die Kurve durch die Diopterglocke in die Breite gezogen und der Unterschied zwischen Maximum und Minimum der Beleuchtung bedeutend kleiner wird; er beträgt ohne Diopterglocke rund 20 Lux und mit Diopterglocke rund 9 Lux. Eine weitere Flammenbogenlampe von derselben Firma, nämlich die Axislampe, deren Konstruktion und Schaltung ich früher schon kurz erwähnt habe, ist besonders für Straßenbeleuchtung geeignet. Die Lampe ist auch mit beschlagfreier Armatur ausgerüstet, während die Diopterglocke hier fehlt, da die Ausstrahlung für die Straßenbeleuchtung schon ohnedies sehr geeignet war. — Um einen Vergleich für die Ökonomie der drei soeben besprochenen Lampenarten zu ziehen, ist eine Strecke in Betracht gezogen und bei allen Lampen eine gleich gute und starke Bodenbeleuchtung zum Vergleich gewählt. Außerdem ist der in der Praxis häufig eintretende Fall als Basis genommen, daß nämlich 1 Lux als Minimal- und 10 Lux als Maximalbeleuchtung gilt. Es ist auf Grund dieser Norm zu ermitteln, wie hoch bzw. wie weit auseinander die Lampen gehängt werden müssen. Die Feststellung ist in der bereits angeführten Arbeit auf Grund der Högnerschen Methode unter Berücksichtigung der hemizyklischen Lichtstärke erfolgt und in nachfolgender Tabelle A zusammengestellt.

Tabelle A.

Betriebskosten pro laufende Meterstrecke in 1000 Stunden.

Lampe	Amp.	Bodenbeleuchtung		Lichtpunkt- höhe m	Lampen- abstand m	Betriebs- kosten M	Kosten pro Meter M	Kosten pro Meter im Mittel M
		Minimale	Maximale					
Excello gelb . .	6	1	10	10,75	51,00	98	1,92	1,97
	12	1	10	18,00	85,50	172	2,02	
Perlweiß . . .	6	1	10	9,30	44,00	100	2,27	2,32
	12	1	10	15,60	74,00	175	2,37	
Excello gelb . .	6	1	10	8,50	57,00	98	1,72	1,75
	12	1	10	14,50	96,00	172	1,79	
Dioptrisch . . .	6	1	10	7,50	50,00	100	2,00	2,04
	12	1	10	12,50	84,00	175	2,08	
Axislampe . .	8	1	10	7,70	48,00	104	2,17	2,27
	15	1	10	11,40	71,50	168	2,37	
Dreischaltung .	8	1	10	9,70	61,00	136	2,24	2,44
	15	1	10	14,00	86,50	229	2,65	
Quarzlampe 220 Volt	3½	1	10	17,70	81,00	179	2,21	2,21

Die Kosten zwischen den kleinen und großen Stromstärken der gleichen Lampengattung sind sehr wenig verschieden, weil die Lampen ähnliche Lichtausstrahlungskurven haben. — Es ergibt sich, daß die billigste Beleuchtung mit der Excellolampe gelb mit dioptrischer Glocke — pro laufende Meterstrecke 1,75 *M* — zu erzielen ist. Ferner erhellt aus der Tabelle, daß die Betriebskosten durch Einsetzung der Dioptrerglocke bei gleicher Beleuchtung um etwa 13 Proz. fallen. Die Quarzlampe liegt in bezug auf ihre Ökonomie zwischen Excello perlweiß und Axis-Dreischaltlampe. Die Aufhängehöhen bei Platz- und Bahnhofbeleuchtung schwanken zwischen 12 und 17 m, bei Straßenbeleuchtung zwischen 8 bis 10 m. Die Bodenbeleuchtung wird mit Vergrößerung der Aufhängehöhe der Lampen gleichmäßiger. Eine schwächere und gleichmäßigere Beleuchtung ist für das Auge wertvoller, als eine stärkere und ungleichmäßigere Beleuchtung. — Nach dem früher Gesagten und der Arbeit von Paul Högnér, „Über Lichtstrahlung und Beleuchtung“, ist die Beleuchtungsstärke bei einer Lichtpunkthöhe *h* im Horizontalabstand *x* von der Senkrechten *H* zur Beleuchtungsstelle *B*, und zwar für die Flächenbeleuchtung, welche senkrecht zum Lichtstrom steht:

(1) . . . . .  $E_n = \frac{J}{R^2}$  oder  $E_n = \frac{J}{h^2} \cos^2 \alpha$ ,

oder

(2) . . . . .  $E_n = \frac{J}{h^2 + x^2}$ .

Da nun die Bodenbeleuchtung *E* auf *AB* gleich  $E_n \cdot \cos \alpha$  ist, so resultiert für

(3a) . . . . .  $E = \frac{J}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha$  (s. Fig. 158).

Für die Bodenbeleuchtung *E* gilt auch die Beziehung

(3b) . . . . .  $E = \frac{J}{R^2} \cos \alpha$ .

Wenn man *E* und  $E_n$  als Ordinaten aufträgt, so erhält man zwei Beleuchtungskurven, die direkt unter der Lampe zusammenfallen. Sind die Lichtstärken durch die Ausstrahlungskurve unter den verschiedenen Winkeln bekannt, so lassen sich die Werte für *E* und  $E_n$  sehr leicht durch Rechnung finden; man braucht

eben nur die Werte von  $\cos^2 \alpha$  und  $\cos^3 \alpha$  zu bilden und mit den bekannten Größen zu multiplizieren bzw. zu dividieren. Kommen für

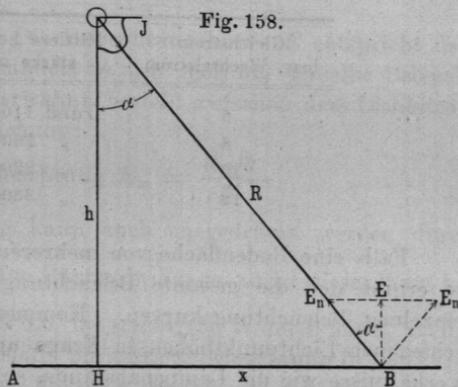


Fig. 158.

dieselbe Lichtquelle zwei verschiedene Lichtpunkthöhen  $h_1$  und  $h_2$  in Frage, so gelten die Relationen:

$$(4) \dots \dots \dots \frac{h_1^2}{h_2^2} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{E'_2}{E'_1} = \frac{E''_2}{E''_1}.$$

Hier bedeuten  $E_2, E'_2, E''_2$  die Beleuchtungsstärken bei Aufhängung derselben Lampe in Höhe  $h_2$  unter verschiedenen Einfallswinkeln gegen die Horizontale und  $E_1, E'_1, E''_1$  die Beleuchtungsstärken bei Aufhängung derselben Lampe in Höhe  $h_1$  unter denselben Einfallswinkeln gegen die Horizontale wie oben. Ist die Beleuchtungskurve für eine Höhe, z. B.  $h_1$ , bekannt, so läßt sich die Beleuchtungskurve für dieselbe Lichtquelle und die Höhe  $h_2$  durch die Relationen

$$(5) \dots \dots \dots E_2 = E_1 \cdot \frac{h_1^2}{h_2^2}; E'_2 = E'_1 \cdot \frac{h_1^2}{h_2^2} \text{ usw.}$$

finden.

Handelt es sich um die Beleuchtungsstärken zweier gleichartiger Lichtquellen  $E$  und  $e$ , jedoch diverser Lichtstärken bei derselben Aufhängehöhe  $B$ , so gelten die Beziehungen, daß die Lichtstärken  $J$  und  $i$  bzw. die mittleren hemisphärischen Lichtstärken  $J_m$  und  $i_m$  gleicher Ausstrahlungswinkel untereinander proportional sind, d. h.

$$(6) \cdot E = \frac{J}{h^2} \cos^3 \alpha, e = \frac{i}{h^2} \cos^3 \alpha, \frac{E}{e} = \frac{J}{i}, \frac{J}{i} = \frac{J_m}{i_m} \text{ und } \frac{E}{e} = \frac{J_m}{i_m}.$$

Unter Zuhilfenahme der Formeln (5) und (6) ermitteln sich die Beleuchtungskurven gleichartiger Lichtquellen für beliebige Lichtpunkthöhen und Lichtstärken — welch letztere jedoch bekannt sein müssen — aus einer gegebenen Beleuchtungskurve; diese Formeln sind besonders bei Bogenlampenanlagen; deren hemisphärische Lichtstärken bekannt sind, gut zu verwenden. Bei Flammenbogenlampen ergeben sich für die mittleren hemisphärischen Lichtstärken ungefähr folgende Werte:

Gleichstrom bzw. Wechselstrom	Mittlere hemisphärische Licht- stärke mit Glocke in HK
6	rund 1100 bzw. rund 800
8	" 1600 " " 1300
10	" 2200 " " 1800
12	" 3300 " " 2400

Falls eine Bodenfläche von mehreren Lichtquellen beleuchtet wird, so ergibt sich die gesamte Beleuchtungskurve aus der Addition der einzelnen Beleuchtungskurven. Kommen viele Lichtquellen mit verschiedenen Lichtpunkthöhen in Frage und stehen letztere in gleichem Verhältnisse wie die Lampenabstände, so bestehen die Relationen:

$$(7) \dots \dots \dots \frac{E_{1max}}{E_{2max}} = \frac{E_{1min}}{E_{2min}} \text{ bzw. } \frac{E_{1max}}{E_{1min}} = \frac{E_{2max}}{E_{2min}},$$

welch letztere den Ungleichförmigkeitsgrad der Beleuchtung darstellen; es geht daraus hervor, daß „der Ungleichförmigkeitsgrad der Horizontalbeleuchtung bei gleichartigen Lampen derselbe ist, wenn das Verhältnis aus Lampenabstand und Lichtpunkthöhe dasselbe ist“. In Relation (7) bedeuten  $E_{1max}$  bzw.  $E_{2max}$  die Maximalwerte und  $E_{1min}$  bzw.  $E_{2min}$  die Minimalwerte der Horizontalbeleuchtung.

Bei der indirekten Beleuchtung und Annahme einer mattweißen Decke sei die größte normale Lichtstärke  $J$ . Die Horizontalbeleuchtung unter dem Winkel  $\alpha$  ergibt sich zu

$$E = \frac{J \cdot \cos^2 \alpha}{R^2} = \frac{J \cdot \cos^4 \alpha}{h^2}$$

und da  $R^2 = h^2 + x^2$  und  $\cos^2 \alpha = \frac{h^2}{h^2 + x^2}$  ist, so resultiert für

(8) . . . . .  $E = \frac{J \cdot h^2}{(h^2 + x^2)^2}$  (s. hierzu Fig. 159). •

Durch diese Gleichung lassen sich für verschiedene Werte von  $x$  die betreffenden Werte für  $E$  finden, sobald die maximale Lichtstärke

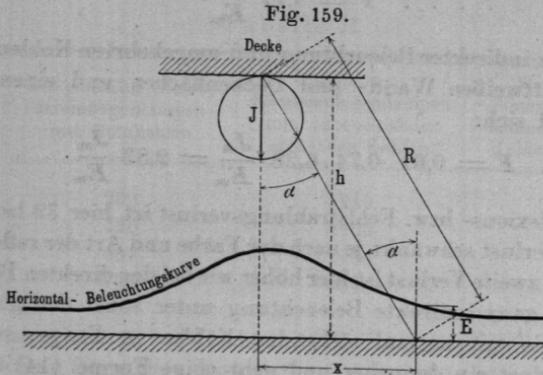


Fig. 159.

der Lichtquelle bekannt ist. Die Beleuchtungskurve  $E$  entspricht derselben wie in Fig. 156 und handelt es sich hier um dieselbe Beleuchtungsart. — Wie oben schon erwähnt, besteht zwischen dem Lichtstrom und der Beleuchtung die Beziehung:

(9) . . . . . Mittlere Beleuchtung  $E_m = \frac{J_m \omega}{F}$ .

Die mittlere Beleuchtung kann auch ausgedrückt werden durch  $E_m = \frac{2 \pi \cdot J_m}{F}$ . Kommen kleine Räume in Frage, so ist dieser Wert bei weißen Wänden noch mit  $k_1 = 0,6$ , bei schwarzen Wänden mit  $k_1 = 0,4$  zu multiplizieren und erhält sodann die mittlere Beleuchtung in Lux. Gewöhnlich rechnet man mit einem Faktor  $k_1 = 0,8$  und erhält sodann für

(10) . . . . .  $E_m = \frac{6,3 \cdot J_m}{F} \cdot 0,8$  rund  $\frac{5 \cdot J_m}{F}$  Lux.

Bei sehr großen Räumen und freien Plätzen wird der fragliche Faktor = 1. Bei Durchgang des Lichtstromes durch die Glocke ist mit einem Verlust zu rechnen. Um diesen Verlust zu berücksichtigen, muß obige Formel (10) noch mit einem Nutzfaktor der Lampe  $k_2$  multipliziert werden und geht Formel (10) sodann über in

$$(11) \dots \dots \dots E_m = k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot J_m}{F}.$$

Für die gewöhnliche Bogenlampe und mittleren Raumverhältnisse ist der erste Faktor  $k_1$  — Nutzfaktor des Raumes bedingt durch Verlust an Fehlstrahlung — gleich 0,79 und der Faktor  $k_2$  gleich 0,76 — Nutzfaktor der Lampe —, so daß der Gesamtfaktor  $0,79 \cdot 0,76 = 0,60$  wird und die Formel (11) für diesen Fall in

$$(12) \dots \dots \dots E_m = 0,60 \cdot 6,28 \cdot \frac{J_m}{F} = 3,77 \frac{J_m}{F}$$

übergeht. Sind die Größen  $J_m$ ,  $E_m$  bekannt, so ermittelt sich  $F$  für ein bestimmtes  $E_m$  durch:

$$(13) \dots \dots \dots F = 3,77 \frac{J_m}{E_m}.$$

Bei ganz indirekter Beleuchtung und umgekehrten Kohlen (+ unten, — oben), mattweißen Wand- und Deckenflächen und einem mittleren Raume ergibt sich:

$$(14) \dots \dots F = 0,61 \cdot 0,74 \cdot 6,28 \cdot \frac{J_m}{E_m} = 2,83 \frac{J_m}{E_m}.$$

Der Reflexions- bzw. Fehlstrahlungsverlust ist hier 39 bzw. 26 Proz. Der erstere Verlust schwankt je nach der Farbe und Art der reflektierenden Flächen; der zweite Verlust ist hier höher wie bei der direkten Beleuchtung.

Kommt ganz indirekte Beleuchtung unter sonst den gleichen Verhältnissen wie mit normal stehenden Kohlen in Frage, so wird der Reflexionsverlust ein doppelter und geht obige Formel (14) über in:

$$(15) \dots \dots F = 0,61 \cdot 0,61 \cdot 0,74 \cdot \frac{6,28 \cdot J_m}{E_m} = 1,72 \frac{J_m}{E_m}.$$

Ist die Beleuchtung halb indirekt — mit matterter oder Milchglas-halbkugel — und bleiben sonst die obigen Verhältnisse bestehen — also normale Kohlenstellung usw. —, so ergibt sich  $F$  zu:

$$(16) \dots \dots \dots F = 2,83 \frac{J_m}{E_m},$$

also derselbe Wert wie in Formel (14).

Für die Streckenbeleuchtung stellt  $\frac{2 J_c}{h}$  den Beleuchtungseffekt einer Lampe auf der Strecke dar; die mittlere Streckenbeleuchtung ergibt sich zu:

$$(17) \dots \dots \dots E_m = \frac{2 \cdot J_c}{l h};$$

hier bedeutet  $J_c$  die hemizyklische Lichtstärke,  $l$  den Lampenabstand und  $h$  die Lichtpunkthöhe. Die hemizyklische Lichtstärke

$$J_c = \int_0^{\frac{\pi}{2}} J \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha$$

läßt sich graphisch und rechnerisch leicht darstellen, wenn die Lichtstärken der Lichtquellen von  $5$  zu  $5^\circ$  bekannt sind;  $J$  ist hier der jeweilige Maximalwert der Lichtausstrahlungskurve. Diese hemizyklische Lichtstärke ist nur auf einen Meridian der unteren Halbkugel bezogen, während die hemisphärischen Lichtstärken immer auf die ganze untere Halbkugel bezogen sind.

Aus Relation (17) geht hervor, daß bei gleichem  $l$  und  $J_c$ ,  $E_m$  im linearen und umgekehrten Verhältnis zu  $h$  steht. Bei derselben Lampenart und gleichem  $\frac{l}{h}$  ist das Verhältnis  $\frac{E_{max}}{E_m}$  bzw.  $\frac{E_{min}}{E_m}$  immer dasselbe.

Folgende Tabelle B gibt die hemizyklischen Lichtstärken für übliche Lampengrößen.

Tabelle B.

Stromstärke	Gewöhnliche Gleichstrombogenlampen mit Reinkohlen	Gleichstrom-Flammenbogenlampen mit nebeneinander stehenden Kohlen	Wechselstrom-Flammenbogen mit nebeneinander stehenden Kohlen mit Glocke
6	260	1240	—
8	420	1700	1363
10	585	2260	1886
12	782	3540	2587

Trägt man sich tabellarisch die auf eine Lampe für die betreffenden Strom- und Bauarten, sowie für die verschiedenen Stromstärken entfallenden Horizontalflächen in Quadratmeter bei mittleren Beleuchtungen  $E_m$  von 1 bis etwa 150 Lux auf, so kann man sich jederzeit über die erforderliche Lampenzahl bzw. -art für eine bestimmt gewünschte indizierte Horizontalbeleuchtung orientieren.

Bei der Projektierung von Beleuchtungsanlagen mit Bogenlicht sind eine Reihe von Momenten zu beobachten. Es treten hier die Fragen auf: Wie groß der Ungleichförmigkeitsgrad der Beleuchtung sein darf? Wie stark die mittlere Beleuchtung sein muß? Wie hoch die Lichtpunkthöhe und welche Armatur gewählt werden soll? Auch ist die Farbe der Wände und der Decken, sowie die Größe der zu beleuchtenden Fläche mit zu berücksichtigen. Hat man sich über die Beleuchtungsart — ob direkt, halb indirekt oder total indirekt — entschieden, so ist der Ungleichförmigkeitsgrad der Beleuchtung und die Lampenverteilung entsprechend zu berücksichtigen. Sodann ist die

Frage der Beleuchtungsstärke bzw. Stromstärke der Lampen festzulegen; es ist hierbei die Umgebung, ob weiße Wände und Decken oder hellfarbige in Frage kommen, zu berücksichtigen.

Um sich ein Bild über die Beleuchtungsstärke in den verschiedenen Betrieben und Verwendungsgebieten zu bilden, lasse ich hier eine Aufstellung von Körting u. Mathiesen folgen:

Lichtbedürfnis	In Lux
in Spinnereien . . . . .	etwa 15
„ Webereien: bei Verarbeitung hellfarbiger Stoffe . . . . .	25—30
bei Verarbeitung dunkelfarbiger Stoffe . . . . .	30—40
„ Maschinenfabriken, Schlossereien usw. . . . .	20—30
„ mechanischen Werkstätten für feine Arbeiten . . . . .	30—40
„ Druckereien und Setzereien . . . . .	40—50
„ Hörsälen je nach Größe . . . . .	20—40
„ Zeichensälen . . . . .	40—50
„ kaufmännischen Bureaus . . . . .	25—35
„ Verkaufsläden . . . . .	25—35

Das Reflexionsvermögen von Decken und Wänden muß bei der Beleuchtung, und zwar speziell bei der indirekten berücksichtigt werden; ich gebe daher im folgenden einige von Dr. Sumpner festgestellte Werte über das Reflexionsvermögen verschiedener Oberflächen:

Weißer Tapete etwa . . . . .	80	Proz.
Gelbe „ . . . . .	40	„
Blaue „ . . . . .	25	„
Braune „ . . . . .	13	„
Tief schokoladenfarbene Tapete . . . . .	4	„
Reine Holzbekleidung . . . . .	40—50	„
Schmutzige Holzbekleidung . . . . .	20	„
Reine gelbgetünchte Wand . . . . .	40	„
Schmutzige „ . . . . .	20	„

Bei der Innenbeleuchtung ist eine bestimmte Aufhängehöhe vorgeschrieben; wo man nicht an dieselbe gebunden ist, muß der Lampenabstand zuerst ermittelt und sodann die Lichtpunkthöhe entsprechend dem geforderten Gleichförmigkeitsgrad gewählt werden. Aber auch die hygienischen Momente müssen bei der Innenbeleuchtung sehr häufig berücksichtigt werden. Die Zunahme des Kohlensäuregehaltes<sup>1)</sup> ist äußerst gering; dasselbe gilt für die Temperaturzunahme.

Ich lasse hier einige von mir vorgenommene Messungen über die Zunahme des Kohlensäuregehaltes folgen, welche gleichzeitig auch Werte über relative Feuchtigkeit und Temperaturzunahme ergeben. Der Raum war rund 330 cbm groß und von zwei Bogenlampen von 11 Amp. Strom-

<sup>1)</sup> Siehe hierzu die Arbeit des Verfassers: „Münchener medizinische Wochenschrift“ 1903, Heft 42.

stärke beleuchtet. Vor dem Versuche waren Fenster und Türen geöffnet. Sodann wurden die Lampen eingeschaltet. Die Thermometerablesungen erfolgten an sechs verschiedenen Stellen, und zwar in Höhen von 0,8 bis 1,5 m über dem Boden bzw. 0,3 m von der Decke entfernt. Die relative Feuchtigkeit wurde auch an zwei verschiedenen Stellen, und zwar 0,3 und 0,8 m von der Decke entfernt, gemessen. Aus den Versuchen der umstehenden Tabelle I geht hervor, daß der Kohlensäuregehalt der Luft in  $2\frac{3}{4}$  Stunden nur um 0,0245 Vol.-Proz. zugenommen hat, während die Temperaturzunahme und der relative Feuchtigkeitsgehalt nahezu unverändert geblieben sind.

Um zu zeigen, wie bedeutend der Kohlensäuregehalt bei anderen Beleuchtungsarten werden kann, lasse ich hier einen Versuch, Tabelle II (S. 420), mit 14 Gasglühlichtern (System Auer) mit neuen Strümpfen, welcher in demselben Raume, wie obiger Versuch, ausgeführt wurde, folgen; der Kohlensäuregehalt stieg hier in drei Stunden um 0,209 Vol.-Proz. Dasselbe gilt für Temperatur und relative Feuchtigkeit. Diese Werte wurden auch wesentlich ungünstiger als bei Bogenlichtbeleuchtung. Nach anderweitigen Ermittlungen beträgt die Kohlensäureentwicklung pro Hefnerkerze bei einem Gas-Auerbrenner (20 ~ 70 mm Wasserdruck) 8,6 ~ 1,6 Literstunde. Für die Hygiene, speziell in Schulen, Hörsälen usw. spielen diese Momente eine große Rolle. Aber es sind auch noch andere hygienische Momente hier zu berücksichtigen, nämlich die Akkommodation des Auges. Nach Versuchen von Prof. Cohn beträgt bei 10 Lux die Lesbarkeit noch  $\frac{3}{4}$  des Normalen, während man bei 2 Lux gewöhnliche Druckschrift nur sehr schwer entziffern und bei 50 Lux das Auge wie bei normalem Tageslicht sehen kann. Es sei jedoch hier erwähnt, daß es viel weniger auf die Höhe der Lux, sondern auf die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung ankommt; vor allen Dingen darf das Auge nicht geblendet werden, weil es sonst sehr schnell ermüdet und selbst bei größerer Helligkeit schlecht lesen kann.

Ich komme jetzt zur Photometrierung, und zwar nicht der räumlichen Lichtstärken, sondern der indizierten Helligkeiten bzw. Beleuchtungsstärken, da diese das allein wertvolle Maß für die Praxis geben. Zu diesen Messungen ist das Webersche Photometer am geeignetsten.

Eine einfachere, ebenfalls sehr brauchbare Konstruktion ist das Webersche Straßenphotometer, welches zur schnellen Helligkeitsbestimmung auf Plätzen und Straßen wertvolle Dienste leistet. Eine Beschreibung des Photometers ist wohl überflüssig, da dasselbe in Fachkreisen sehr bekannt ist. Auch die Handhabungen bei Messungen sind sehr einfach und können bei einiger Übung zu sehr genauen Resultaten führen. Bei Ermittlung der Beleuchtungsstärke entfernt man den Abblendungstabus und schiebt eine mattierte Milchglasplatte  $\mu$  ein. Durch entsprechende Drehung wird die Platte in die Stellung

Tabelle I. Kohlensäurebestimmung (elektrisches Bogenlicht).

Zeit	Hygrometer						Thermometer				Stromstärke	Spannung		Kohlensäuregehalt der Luft Vol.-Proz.	Bemerkungen
	unten			oben			Dunstdruck mm	°C	°C	°C		Amp.	Lampe I Volt		
	Relative Feuchtigkeit Proz.	Temperatur °C	Relative Feuchtigkeit Proz.	Temperatur °C	Temperatur °C										
9 <sup>15</sup>	56,2	17,0	38,5	19,0	15,2	16,2	18,9	18,9	16,9	11,2	43,5	43,9	0,0500	Lampen eingeschaltet.	
9 <sup>30</sup>	57,5	17,2	38,5	19,8	17,0	16,0	19,7	19,4	17,2	11,0	43,6	43,5	—		
9 <sup>45</sup>	57,2	17,2	38,0	19,8	17,0	16,3	19,9	19,5	17,2	10,8	43,2	43,9	—		
10 <sup>00</sup>	57,0	17,2	37,8	19,8	17,0	16,4	19,9	19,7	17,2	11,2	42,0	43,0	—		
10 <sup>30</sup>	56,5	17,2	37,5	20,2	17,5	16,8	20,0	19,9	17,3	11,2	42,5	42,3	—		
10 <sup>40</sup>	56,5	17,2	37,5	20,2	17,5	16,8	20,1	20,1	17,4	10,7	42,5	42,5	—		
11 <sup>00</sup>	56,3	17,5	37,8	20,1	17,5	16,5	20,3	20,3	17,6	11,0	43,0	42,5	—		
11 <sup>30</sup>	56,3	17,7	37,8	20,2	17,5	17,0	20,5	20,5	17,6	11,0	42,6	43,0	—		
11 <sup>40</sup>	56,3	17,8	37,2	20,5	17,8	17,0	20,3	20,2	17,7	11,1	43,0	43,0	—		
12 <sup>00</sup>	57,0	17,4	37,0	19,8	17,0	16,9	19,9	19,9	17,7	11,1	43,0	43,0	0,0745		Lampen ausgeschaltet.

Tabelle II. Kohlensäurebestimmung (Gasglühlicht).

Zeit	Hygrometer						Thermometer				Gasometerstand m <sup>3</sup>	Kohlensäuregehalt der Luft Vol.-Proz.	Bemerkungen	
	unten			oben			Dunstdruck mm	°C	°C	°C				Gasdruck mm
	Relative Feuchtigkeit Proz.	Temperatur °C	Relative Feuchtigkeit Proz.	Temperatur °C	Temperatur °C									
8 <sup>45</sup>	61,0	17,0	39,0	20,0	17,2	17,6	20,8	20,8	17,5	—	—	—	Vor der Ventilation gemessen. Gasflammen angezündet.	
9 <sup>00</sup>	67,0	13,7	42,0	16,3	13,6	13,0	16,0	15,9	15,3	38,5	—	—		
9 <sup>15</sup>	63,8	15,2	44,0	19,7	16,8	15,5	18,6	19,0	16,5	33,5	5839,95	—		
9 <sup>30</sup>	61,0	17,9	38,5	25,2	23,5	18,0	23,1	23,0	17,7	34,0	—	—		
9 <sup>45</sup>	62,0	18,3	37,5	27,5	27,0	18,3	23,7	23,6	18,0	33,0	5860,78	—		
10 <sup>00</sup>	63,0	18,9	36,0	28,5	28,8	18,5	23,4	24,1	18,2	33,0	5841,135	—		
10 <sup>30</sup>	63,5	19,2	37,5	27,5	27,0	18,9	24,7	24,5	18,5	32,0	—	—		
10 <sup>40</sup>	64,0	19,9	36,5	28,1	28,0	19,1	25,0	25,0	18,8	33,0	—	—		
11 <sup>00</sup>	64,0	20,1	37,2	29,1	29,9	19,4	25,6	25,5	19,0	32,8	5842,720	—		
11 <sup>30</sup>	63,9	20,8	36,0	31,0	33,0	19,8	26,1	26,1	19,4	32,5	5843,270	—		
						20,8	26,1	26,1	19,6	32,5	5843,785	—		

der Untersuchungsfläche geführt. Die Flammenhöhe der Benzinlampe wird auf 20 mm gestellt und die Einstellung gesucht, bei welcher das Gesichtsfeld auf gleicher Helligkeit steht, sodann kann die Einstellung  $a$  in Zentimeter abgelesen werden und die Beleuchtungsstärke ist

$$E_{\text{weiß}} = \frac{C_u \cdot 10^4}{a^2} \text{ Lux}$$

(bei Beobachtung ohne farbiges Glas). Benzinflamme und die zu untersuchende Lichtquelle werden meistens verschiedene Färbung haben und muß man sodann einmal bei Einschiebung eines roten bzw. eines grünen Glases am Okular die Einstellung auf gleiche Helligkeit vornehmen. Die Beleuchtungsstärke bei Einschiebung eines roten bzw. eines grünen Glases sind  $E_{\text{rot}}$  bzw.  $E_{\text{grün}}$ . Die Verhältnisse der Quadrate der Ablesungen durch rotes und grünes Glas sind  $\frac{r^2}{gr^2}$ . Diese Werte bezeichnet

Prof. Weber mit  $R =$  eine Funktion von  $\frac{r^2}{gr^2}$ ; sie sind in einer Tabelle für das Webersche Photometer gegeben. Ist das Verhältnis der beiden Ermittlungen  $\frac{E_{\text{weiß}}}{E_{\text{rot}}}$  beinahe 1, so brauchen die Messungen mit rotem und grünem Glas nicht vorgenommen zu werden.

Für die verschiedenen Platten ergeben sich auch verschiedene Konstanten  $C, C_1, C_2, \dots$ , welche bei der Berechnung berücksichtigt werden müssen. Im Anschluß an diese Darlegungen werde ich im folgenden ein Beispiel über photometrische Messungen anführen.

### Erstes Beispiel.

#### Über photometrische Messungen.

Bei den Messungen kamen zwei Schuckertsche Gleichstrombogenlampen von 11 Amp. 44 Volt mit emaillierten Eisenblechreflektoren von 780 mm Durchmesser zur Verwendung. Den Versuchsraum im Grundriß mit Verteilung der Bogenlampen und Angabe der gefundenen Beleuchtungsstärken mit dem Weberschen Photometer zeigt Fig. 160.

Zur Ermittlung der Beleuchtungsstärke wurden die Formeln:

$$E_{\text{weiß}} = \frac{C_u \cdot 10^4}{a^2} \text{ Lux und } E_{\text{rot}} = \frac{C_2 \cdot k \cdot 10^4}{(\text{rot})^2} \text{ Lux}$$

benutzt.

In der tabellarischen Zusammenstellung A sind die Ablesungen, Ausrechnungen und Resultate gegeben (S. 423 bis 427).

Die Konstanten für Platte 1 + 2 sind:

$$C_u = 3,14 \text{ und } C_2 = 2,92.$$