

15. Beleuchtung.

Lichttechnische Grundbegriffe. — Tageslichtbeleuchtung. — Künstliche Beleuchtung.

Lichttechnische Grundbegriffe. Eine der wichtigsten physiologischen Voraussetzungen für eine Steigerung der Arbeitsleistung in Werkstätten und Büros ist eine gute und zweckmäßige Beleuchtung der Arbeitsplätze. Der Baufachmann kann daher heute an den Forschungsergebnissen der Beleuchtungstechnik nicht mehr vorübergehen. Trotzdem ist die Kenntnis der wichtigsten Gesetze der Lichttechnik zur Zeit noch nicht so verbreitet, wie es für die Behandlung praktischer Beleuchtungsfragen notwendig ist. Abweichend von dem sonst in der vorliegenden Arbeit innegehaltenen Prinzip soll daher nachstehend auf die physikalischen Grundlagen und auf die wichtigsten Methoden der Beleuchtungsberechnung kurz eingegangen werden¹.

Die von einem Lichterzeuger in der Zeiteinheit ausgestrahlte Lichtenergie, die allein für die Beleuchtungstechnik maßgebend ist, wird „Lichtstrom“ genannt. Die Maßeinheit hierfür ist das „Lumen“ (Lm). Die Beleuchtungsstärke einer von einer Lichtquelle beleuchteten Fläche ist gleich dem Quotienten aus Lichtstrom und Fläche. Wenn die Lichtquelle den Lichtstrom in einer bestimmten Richtung ausstrahlt (z. B. bei einem Scheinwerfer oder bei einem Projektionsapparat), so bezeichnet man den Winkel, den die äußersten Strahlen miteinander bilden, als „Raumwinkel“ (ω). Der Quotient aus Lichtstrom und Raumwinkel wird als „Lichtstärke“ (J) bezeichnet. Die Helligkeit einer leuchtenden Fläche heißt „Leuchtdichte“ (e). Die Leuchtdichte ist bei gleicher Lichtstärke um so größer, je kleiner die ausstrahlende Fläche ist. Die Leuchtdichte einer vom Licht bestrahlten Fläche ist von der Farbe der Fläche bzw. von ihrem Reflexionsvermögen abhängig. Als Einheit der Lichtstärke dient die sogenannte „Hefner-Kerze“ (HK). Eine Hefnerkerze ist diejenige Lichtstärke, die von einer besonders gleichmäßig brennenden Amylazetatlampe, die bestimmten Vorschriften entsprechen muß, in horizontaler Richtung ausgestrahlt wird.

Zwischen den vorstehend aufgeführten Einheiten bestehen folgende Beziehungen:

Wird eine Hohlkugel von 1 m Halbmesser von innen durch eine Lichtquelle mit einer Lichtstärke von 1 HK beleuchtet, so entfällt auf 1 m² Oberfläche dieser Kugel der Lichtstrom 1 Lumen. Ein Lichtstrom von 1 Lumen ruft auf einer Fläche von 1 m² die Beleuchtungsstärke 1 Lux hervor. Nach den „Normen und Regeln für Licht, Lampen und Beleuchtung“ der Deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft (DBG.) bestehen also die in Zahlentafel 62 angegebenen Beziehungen.

Zahlentafel 62. Lichttechnische Grundbegriffe.

Begriff	Zeichen	Formel	Einheit
Lichtmenge	Q	$Q = \Phi \cdot T$	Lumenstunde (Lmh)
Lichtstrom	Φ	$\Phi = \frac{Q}{T} = E \cdot F$	Lumen (Lm)
Lichtstärke	J	$J = \frac{\Phi}{\omega}$	HK
Beleuchtungsstärke	E	$E = \frac{\Phi}{F}$	Lux (Lx)
Zeit	T	—	Stunde (h)
Fläche	F	—	m ²
Raumwinkel	ω	—	Verhältnis eines Stückes der Kugeloberfläche zum Quadrat ihres Halbmessers.

Der Maßstab der Beleuchtung ist nach vorstehenden Ausführungen die Beleuchtungsstärke (gemessen in Lux). Für die erforderlichen Beleuchtungsstärken sind in Zahlentafel 63 Werte für Fabrikanlagen wiedergegeben. Eine Messung der Beleuchtungsstärke ist heute ohne besondere Vorkenntnisse mit verhältnismäßig einfachen Geräten, z. B. mit dem Osram-Beleuchtungsmesser, möglich. Ein solches Instrument sollte in keinem größeren Betriebe fehlen, da die Nachprüfung der tatsächlichen Beleuchtung vom Standpunkt des Betriebsmannes wie auch

¹ Siehe auch Dr.-Ing. L. Bloch: Die Grundbegriffe der Lichttechnik, herausgegeben von der Osram G.m.b.H.; Dr. Lux: Fabrikbeleuchtung S. 709ff. des „Taschenbuches für den Fabrikbetrieb“, herausgegeben von H. Dubbel. Berlin: Julius Springer.

Zahlentafel 63. Für verschiedene Arbeiten erforderliche Beleuchtungsstärken.

Art der Arbeit	Reine Allgemeinbeleuchtung			Allgemeinbeleuchtung nebst Arbeitsplatzbeleuchtung		
	Mittlere Beleuchtungsstärke		Beleuchtungsstärke der ungünstigsten Stelle	Allgemeinbeleuchtung		Platzbeleuchtung
	Mindestwert	Empfohlener Wert		Mittlere Beleuchtungsstärke	Beleuchtungsstärke der ungünstigsten Stelle	
	Lux	Lux	Mindestwert Lux	Lux	Lux	Beleuchtungsstärke der Arbeitsstelle Lux
Grobe	20	40	10	20	10	50—100
Mittelfeine . . .	40	80	20	30	15	100—300
Feine	75	150	50	40	20	300—1000
Sehr feine . . .	150	300	100	50	30	1000—5000

Bemerkung: Zusammengestellt nach den Leitsätzen der DBG. von E. Wittig (Z. VDI 1932 S. 295).

des Baufachmannes unbedingt gefordert werden muß. Es wird jetzt wohl nicht mehr bestritten, daß eine gute Beleuchtung die menschliche Arbeitsleistung in physiologischer und psychologischer Beziehung günstig beeinflußt; dies ist auch durch zahlreiche Ermüdungsstudien belegt worden.

Tageslichtbeleuchtung. Es wird manchen Leser befremden, daß der Tageslichtbeleuchtung im Rahmen dieses Buches ein weiterer Raum gewidmet wird; ist doch das Fenster — in seinem eigentlichen Wesen als Öffnung der Wand — eine Jahrtausende alte Erfindung. Auch steht das Tageslicht innerhalb der astronomisch bedingten Grenzen in reichlichem Maße scheinbar kostenlos zur Verfügung. Zieht man aber andererseits in Betracht, daß der Anordnung beliebig großer Fensterflächen wärmewirtschaftliche Grenzen gesetzt sind, so erkennt man schon hieraus die Notwendigkeit einer objektiven Beurteilung derartiger Fragen. Objektiv urteilen heißt aber in diesem Zusammenhang zahlenmäßig abwägen. Darum ist es zu begrüßen, daß in neuerer Zeit die Beleuchtungstechniker sich mehr als bisher der Tageslichtberechnung zugewandt haben. Allerdings dürfen die Anforderungen an eine Tageslichtberechnung nicht überspannt werden. Die atmosphärischen Einflüsse und die für jeden Breitengrad verschiedenen geophysikalischen Verhältnisse machen eine absolute Berechnung und Angabe der Beleuchtungsstärken im Freien und im Innern der Räume unmöglich. Diese Absolutwerte interessieren aber bei der Tageslichtberechnung auch weniger als bei der Berechnung der künstlichen Beleuchtung; es kommt hier vielmehr darauf an, Vergleichsunterlagen zu schaffen, die die Wahl der Fenstergrößen und der Fensteranordnung, wie auch die Bemessung der Stockwerkshöhen und Raumtiefen auf Grund wissenschaftlicher Erkenntnis ermöglichen. Daß die bisherige Methode, solche Werte auf Grund alter Überlieferungen — bestenfalls auf Grund empirischer Ermittlungen — festzulegen, gerade im Fabrikbau auf die Dauer nicht befriedigen kann, erklärt sich daraus, daß hier auf eine gleichmäßige und gute Beleuchtung aller Arbeitsplätze um so größerer Wert gelegt wird, je weiter die Betriebswissenschaft auch in die physiologischen Bedingungen der menschlichen Arbeit eindringt.

Wie es bei jungen Wissenschaften im allgemeinen und bei dem spröden Charakter der vorliegenden im besonderen nicht anders zu erwarten ist, existieren verschiedene Theorien und Methoden, auf die mit Rücksicht auf den verfügbaren Platz nicht im einzelnen eingegangen werden kann. Vielmehr basieren die nachstehenden Ausführungen hauptsächlich auf der von Dr.-Ing. H. G. Frühling angegebenen „Wirkungsgradmethode“¹. Diese zeichnet sich vor allem dadurch aus, daß sie auf die tatsächlich vorliegenden baulichen Verhältnisse in genügendem Maße Rücksicht nimmt. Im besonderen werden auch Einflüsse der Nachbargebäude auf die Innenbeleuchtung durch Einführung des Begriffes „Fenster-Faktor“ gewürdigt.

Die Wirkungsgradmethode geht davon aus, daß der Satz von der Erhaltung der Energie auch für den Lichtstrom gilt. Die Summe der Beleuchtungsmengen der Flächen eines Innenraumes; d. h. also die Summe der Fußboden-, Wand- und Einrichtungsbeleuchtung, ist also

¹ Siehe Dr.-Ing. Frühling: Die Beleuchtung von Innenräumen durch Tageslicht, ihre Messung und ihre Berechnung nach der Wirkungsgradmethode. Berlin: Union Deutsche Verlags-Gesellschaft.

gleich der Summe des durch die Fensterflächen eintretenden Lichtstromes. Bezeichnet man das Verhältnis des Lichtstromes auf einer horizontalen Arbeitsebene (in einer Höhe von etwa 0,80 bis 1 m über dem Fußboden) zu dem Lichtstrom, der durch die Fenster eintritt, als Wirkungsgrad η , so ist also nur ein bestimmter Teil des eintretenden Lichtstromes Φ_0 für die Arbeitsfläche nutzbar gemacht und zwar der Lichtstrom

$$\Phi_n = \eta \cdot \Phi_0.$$

Der Rest dient zur Beleuchtung der übrigen Raumfläche. Nach zahlreichen Versuchen von Frühling liegt der Wirkungsgrad zwischen 30 und 50%; er kann im Mittel zu etwa 40% angenommen werden. Der Wirkungsgrad ist natürlich von den baulichen Verhältnissen abhängig, vor allem von der Höhenlage der Fensteröffnung und von der Durchlässigkeit der verwendeten Glassorte bzw. der Vorhänge. Das Reflexionsvermögen der Wände übt dagegen nur einen geringfügigen Einfluß auf den Wirkungsgrad aus. Die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Höhenlage der Fensteröffnung ist von Frühling untersucht worden; es hat sich gezeigt, daß der Wirkungsgrad, wie es auch nicht anders zu erwarten ist, um so größer wird, je weiter die Fensteröffnung nach unten verlegt wird. Hieraus darf nun nicht voreilig geschlossen werden, daß eine tiefe Lage der Fenster beleuchtungstechnisch erwünscht ist, vielmehr kommt dem Wirkungsgrad bei der Tageslichtbeleuchtung keine ausschlaggebende Bedeutung zu. Viel wichtiger ist gerade im Fabrikbau die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung. Als Gleichmäßigkeit wird im allgemeinen das Verhältnis von Minimalbeleuchtung zur Maximalbeleuchtung betrachtet. Dieses Verhältnis schwankt in außerordentlich weiten Grenzen (1 : 5 bis 1 : 350). In Abb. 340 sind zwei Kurven dargestellt, die die Abhängigkeit der Beleuchtung von der Entfernung vom Fenster zeigen. Aus dem Charakter dieser Kurven ist andererseits schon zu ersehen, daß das oben als Gleichmäßigkeit definierte Verhältnis der Minimalbeleuchtung zur Maximalbeleuchtung keine befriedigende Kennzeichnung der Beleuchtung ergeben kann, da der Punkt der Maximalbeleuchtung auf dem steilen Ast der Kurve in der Nähe des Fensters nur schwer bestimmbar ist. Einfacher und eindeutiger erscheint es daher für die

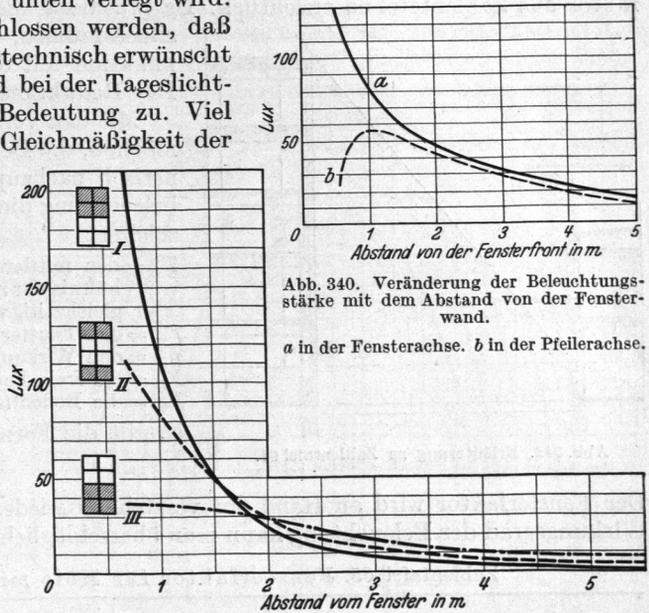


Abb. 340. Veränderung der Beleuchtungsstärke mit dem Abstand von der Fensterwand.

a in der Fensterachse. b in der Pfeilerachse.

Abb. 341. Die Höhenlage der Fensterfläche beeinflusst die Verteilung der Beleuchtung im Raum. (Die nichtschraffierten Flächen sollen die Höhenlage der Fensterfläche über Fußboden andeuten.)

Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, den Quotienten der Minimalbeleuchtung zur mittleren Beleuchtung zu verwenden. Nach Frühling beträgt die Minimalbeleuchtung im allgemeinen 3 bis 15% der mittleren Horizontalbeleuchtung. In welchem Maße die Höhenlage der Fenster die Beleuchtungsverteilung im Raum beeinflusst, zeigt die Abb. 341. Es ist hieraus ersichtlich, daß durch eine hohe Anordnung der Fenster wohl, wie schon oben gesagt, der Wirkungsgrad der Beleuchtung herabgesetzt wird, daß jedoch andererseits die Verteilung der Beleuchtung günstiger wird; vor allem werden die in größter Entfernung vom Fenster liegenden Plätze besser beleuchtet. Große Fensteranzahl und geringe Pfeiler- bzw. Stützenbreiten sowie auch geringe Raumbreite begünstigen selbstverständlich die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung. Durch Erhöhung einer dem Fenster etwa gegenüberliegenden Gebäudefront wird die Gleichmäßigkeit in ungünstigem Sinne beeinflusst. Der Einfluß gegenüberliegender Gebäude usw. wird durch den bereits weiter oben erwähnten Begriff des „Fensterfaktors“ berücksichtigt. Der Fensterfaktor ist das Verhältnis der Vertikalbeleuchtung im Fenster zur gleichzeitig gemessenen Horizontalbeleuchtung im Freien. Für senkrechte Fenster kann der Fensterfaktor höchstens den Wert 0,5 annehmen, da ja ein vertikales Fenster im günstigsten Falle nur von der einen Hälfte der Himmelshalbkugel beleuchtet wird. Praktisch wird jedoch der Fensterfaktor immer erheblich kleiner als 0,5 sein, da einmal gegenüberliegende

Gebäude, dann aber auch Mauervorsprünge (Fensterleibungen) die Beleuchtung des Fensters beeinträchtigen. Noch ungünstiger wird der Fensterfaktor auf Höfen beeinflusst. Der Fensterfaktor ist nach Frühling von ausschlaggebender Bedeutung für die Beleuchtung im Raum. Um ein Beispiel für die Größe des Fensterfaktors zu geben, ist in Zahlentafel 64 der Fenster-

Zahlentafel 64. Fensterfaktor für Straßen.

$\frac{H-h}{B}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
<i>f</i> %	50	45	40	35,6	31,4	27,7	24,2	21,3	18,8	16,5	14,7	11,5	9,3	7,58	6,25	5,25

Bezeichnungen: Es bedeuten: *H* = Höhe der Gegenfront über der Straßenebene; *h* = Höhe der Fenstermitte über der Straßenebene; *B* = Straßenbreite.

faktor für Räume an Straßen in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe, der Fensterhöhe und der Straßenbreite nach Frühling angegeben. Die Bedeutung der Buchstabenbezeichnungen in der Zahlentafel erhellt am besten aus Abb. 342. Für Höfe mit rechteckigem Grundriß ist der Fensterfaktor aus Zahlentafel 65 ersichtlich. Da praktisch alle Wände immer eine gewisse Stärke besitzen müssen, ist der Fensterfaktor noch durch Multiplikation mit dem Reduktionsfaktor ρ zu verkleinern. Der Reduktionsfaktor ist in Zahlentafel 66 angegeben.

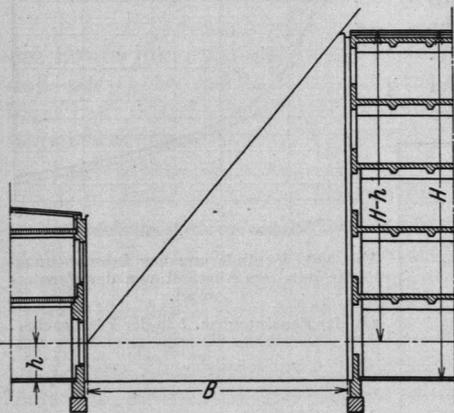


Abb. 342. Erläuterung zu Zahlentafel 64.

Mit den vorstehend behandelten Mitteln ist es nun möglich, die Beleuchtung eines Raumes daraufhin rechnerisch nachzuprüfen, ob bei einer gegebenen Außenbeleuchtung die Innenbeleuchtung ausreichend ist. Bezeichnet

T_m = den mittleren Tageslichtquotienten¹, d. i. das Verhältnis der mittleren Horizontalbeleuchtung im Raum zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtung im Freien,
f = den Fensterfaktor,
 η = den Wirkungsgrad der Beleuchtung,
 F_f = die freie Fensterfläche,
 F_b = die Bodenfläche des beleuchteten Raumes,

so gilt die Formel

$$T_m = f \cdot \eta \cdot \frac{F_f}{F_b}$$

Der Fensterfaktor wird an Hand der vorstehend wiedergegebenen Zahlentafeln ermittelt; den Wirkungsgrad der Beleuchtung kann man überschläglich zu 0,4 annehmen. Ist z. B. der Fenster-

Zahlentafel 65. Fensterfaktor für Höfe mit rechteckigem Grundriß.

<i>B/H</i>	<i>L/H</i>															
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
0,5	1,38	1,57	1,76	1,88	1,99	2,10	2,20	2,28	2,34	2,38	2,42	2,45	2,47	2,49	2,51	2,53
0,6	1,84	2,09	2,34	2,50	2,66	2,82	2,97	3,08	3,16	3,20	3,25	3,29	3,33	3,36	3,39	3,42
0,7	2,30	2,61	2,92	3,13	3,34	3,54	3,70	3,83	3,93	4,01	4,08	4,13	4,18	4,22	4,26	4,30
0,8	2,72	3,10	3,47	3,73	3,99	4,24	4,44	4,60	4,72	4,81	4,88	4,94	5,00	5,06	5,11	5,16
0,9	3,14	3,58	4,01	4,32	4,63	4,93	5,18	5,36	5,50	5,60	5,68	5,75	5,82	5,89	5,95	6,01
1,0	3,55	4,05	4,55	4,91	5,27	5,62	5,92	6,12	6,28	6,38	6,47	6,55	6,63	6,71	6,79	6,86
1,1	3,83	4,38	4,93	5,33	5,72	6,11	6,35	6,55	6,75	6,90	7,10	7,19	7,28	7,37	7,45	7,53
1,2	4,11	4,71	5,31	5,74	6,17	6,60	6,90	7,15	7,35	7,55	7,70	7,80	7,90	8,00	8,10	8,20
1,3	4,39	5,04	5,69	6,16	6,62	7,08	7,40	7,70	7,95	8,15	8,30	8,42	8,54	8,65	8,76	8,87
1,4	4,66	5,37	6,07	6,57	7,07	7,56	7,95	8,30	8,55	8,75	8,90	9,03	9,16	9,29	9,42	9,54
1,5	4,93	5,69	6,44	6,98	7,51	8,04	8,50	8,85	9,10	9,30	9,50	9,64	9,78	9,92	10,1	10,2
1,6	5,11	5,89	6,67	7,24	7,81	8,37	8,82	9,18	9,40	9,65	9,88	10,0	10,2	10,3	10,5	10,6
1,7	5,29	6,08	6,89	7,49	8,09	8,69	9,14	9,56	9,84	10,1	10,3	10,4	10,6	10,8	11,0	11,1
1,8	5,46	6,28	7,11	7,75	8,38	9,01	9,56	9,95	10,2	10,5	10,6	10,8	11,0	11,2	11,4	11,5
1,9	5,63	6,48	7,33	8,00	8,67	9,33	9,85	10,3	10,6	10,8	11,0	11,2	11,4	11,6	11,8	12,0
2,0	5,80	6,68	7,55	8,25	8,95	9,65	10,2	10,6	10,9	11,2	11,4	11,6	11,8	12,0	12,2	12,4

Bezeichnungen: Es bedeuten: *H* = Höhe der Gegenfront über der Straßenebene; *B* = Hofbreite; *L* = Hoflänge.

¹ Der Begriff „Tageslichtquotient“ ist in der Beleuchtungstechnik seit längerer Zeit gebräuchlich. Das Interessante an der Wirkungsgradmethode ist, daß dieselbe eine Vorausberechnung des Tageslichtquotienten ermöglicht.

Zahlentafel 66. Reduktionsfaktor ρ für Fenster mit vorspringender Außenmauer.

b/t	h/t												
	10	8	6	5	4	3	2	1,5	1	0,8	0,6	0,5	0,4
10	0,97	0,96	0,94	0,92	0,89	0,83	0,70	0,60	0,45	0,37	0,29	0,24	0,20
8	0,96	0,95	0,93	0,91	0,88	0,82	0,70	0,60	0,44	0,37	0,29	0,24	0,20
6	0,94	0,93	0,92	0,90	0,87	0,81	0,69	0,59	0,44	0,37	0,28	0,24	0,19
5	0,92	0,91	0,90	0,89	0,86	0,80	0,69	0,58	0,44	0,36	0,28	0,24	0,19
4	0,89	0,88	0,87	0,86	0,83	0,78	0,67	0,57	0,43	0,36	0,28	0,23	0,19
3	0,83	0,82	0,81	0,80	0,78	0,73	0,64	0,54	0,41	0,34	0,26	0,22	0,18
2	0,70	0,70	0,69	0,69	0,67	0,64	0,55	0,48	0,36	0,30	0,23	0,20	0,16
1,5	0,60	0,60	0,59	0,58	0,57	0,54	0,48	0,41	0,31	0,26	0,20	0,17	0,14
1	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43	0,41	0,36	0,31	0,24	0,20	0,16	0,13	0,11
0,8	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,34	0,30	0,26	0,20	0,17	0,13	0,11	0,09
0,6	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,26	0,23	0,20	0,16	0,13	0,10	0,09	0,07
0,5	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22	0,20	0,17	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06
0,4	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05

Bezeichnungen: Es bedeuten: ρ = die Reduktionszahl für den Fensterfaktor, d. h. die Zahl, mit der der für die äußere Hauswand geltende Fensterfaktor multipliziert werden muß, um den tatsächlichen Fensterfaktor zu erhalten; b = die Fensterbreite; h = die Fensterhöhe; t = die Fenstertiefe, d. h. den Abstand der Fensterscheibe von der vorspringenden Außenmauer. Die Zahlentafel gibt die Größe des Faktors ρ für eine Reihe von Werten der Quotienten b/t und h/t .

faktor zu 0,15 ermittelt worden, und ist das Verhältnis der Fensterfläche zur Bodenfläche = 25 : 100, so ist der mittlere Tageslichtquotient 0,015, d. h. also bei einer Außenbeleuchtung von 10000 Lux ist die mittlere Horizontalbeleuchtung im Raum 150 Lux. Diese Beleuchtung ist also ausreichend für feine Arbeiten anzusehen. Die Annahme einer Außenbeleuchtung von 10000 Lux ist zunächst willkürlich. Es interessiert in diesem Zusammenhang daher noch, wie groß die Außenbeleuchtung im Freien zu verschiedenen Tageszeiten und in verschiedenen Monaten tatsächlich ist; hierfür ist nach Frühling eine Kurvenschar in Abb. 343 wiedergegeben. Selbstverständlich sind die Angaben des Diagramms vorsichtig zu verwenden, da sie für jeden Ort und für verschiedene meteorologische Verhältnisse verschieden sind. Immerhin sieht man, daß der Wert von 10000 Lux vom März bis September in der Zeit von 7 Uhr vormittags bis 4 Uhr nachmittags — also in der Hauptarbeitszeit — im Freien durchschnittlich erreicht wird. Begnügt man sich im Raum mit einer mittleren Beleuchtung von 40 bis 60 Lux, so würde diese Beleuchtung in vorstehendem Beispiel noch bei einer Außenbeleuchtung von etwa 2500 Lux erreicht werden, wie sie im Mittel nach dem Diagramm sogar noch in der Zeit von 9 bis 3 Uhr im Dezember gemessen wird.

Die Frühlingschen Formeln gestatten auch eine Berechnung der Beleuchtung bei schrägliegenden Fenstern, z. B. bei Oberlichtern und Sheddächern. Für schrägliegende Fenster ist der Fensterfaktor (s. Abb. 344)

$$f = \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \cos \varphi.$$

Der Wirkungsgrad der Beleuchtung kann bei schrägliegenden Fensterflächen größer angenommen werden (etwa zu 0,5).

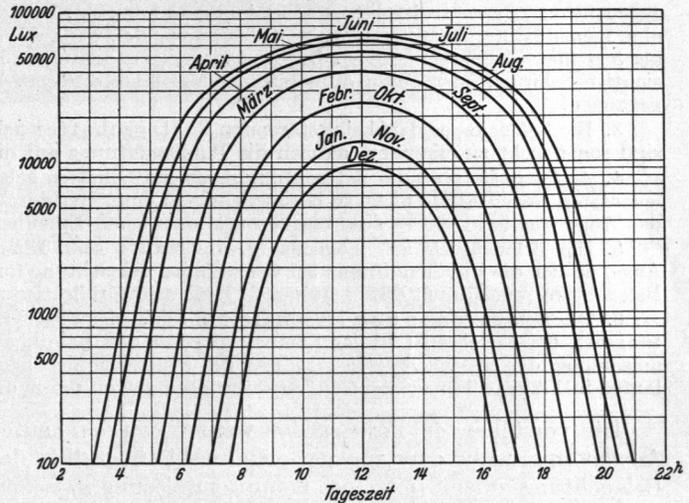


Abb. 343. Mittlere Horizontalbeleuchtung im Freien.

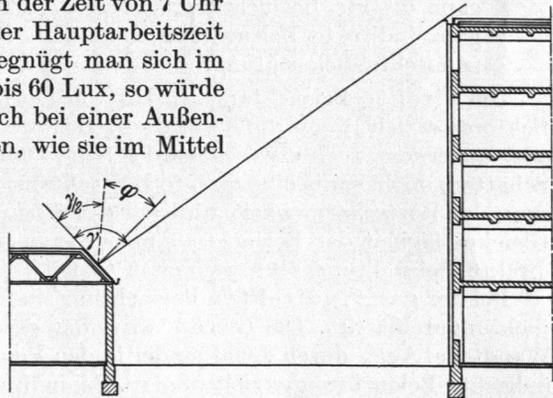


Abb. 344. Buchstabenerklärung zu nebenstehender Formel.

Künstliche Beleuchtung. Im Gegensatz zur Tageslichtbeleuchtung ist die künstliche Beleuchtung schon längere Zeit Gegenstand einer wissenschaftlichen Betrachtung. Überhaupt ist die Lichttechnik erst im Zusammenhang mit der Technik der künstlichen Beleuchtung entstanden, was keineswegs befremden kann; ist doch die künstliche Beleuchtung einer exakten quantitativen Behandlung viel leichter zugänglich als das Tageslicht mit seinen mannigfaltigen Schwankungen, deren Beeinflussung außerhalb des menschlichen Machtbereiches liegt.

Im Fabrikbau legt man daher seit geraumer Zeit auf lichttechnisch einwandfreie Beleuchtungsanlagen großen Wert. Allerdings trifft man leider auch noch oft ganz falsch gebaute Beleuchtungskörper, unabhgeschirmte (nackte) Lampen sowie unzuweckmäßig verteilte Beleuchtungseinrichtungen. Um solche Fehler zu vermeiden, muß man sich vor Entwurf der Beleuchtungsanlage Rechenschaft über die Anforderungen geben, die an eine gute Beleuchtung zu stellen sind. Hierfür können folgende Grundsätze aufgestellt werden:

1. Die Beleuchtung muß eine gewisse Mindeststärke aufweisen (siehe Zahlentafel 63).
2. Das Arbeitspersonal darf weder direkt noch durch Spiegelung geblendet werden. Die DBG. hat als obere Grenze für die Leuchtdichte der Lichtquellen $0,75 \text{ HK/cm}^2$ festgelegt, da größere Leuchtdichten Blendungserscheinungen hervorrufen. Der vorstehend angegebene Wert wird jedoch von allen gebräuchlichen Lichtquellen bei weitem überschritten. Schon die Petroleumlampe besitzt eine Leuchtdichte von 1 bis $1,5 \text{ HK/cm}^2$. Für elektrische Glühlampen wächst dieser Wert auf 50 bis 800 HK/cm^2 , für Bogenlampen sogar auf das Zehn- und Zwölfwache der letzten Zahl. Es ist daher selbstverständlich, daß nackte Lichtquellen dieser Art für die Beleuchtung eines Arbeitsplatzes nicht in Frage kommen. Lediglich für allgemeine Raumbeleuchtung kann eine Leuchtdichte bis zu 5 HK/cm^2 zugelassen werden, wenn die Beleuchtungskörper in einer Höhe von mehr als 5 m über Fußboden hängen. Die Abschirmung der Lampen kann durch Reflektoren, das sind undurchsichtige Schirme, oder durch diffus streuende Hüllen erfolgen. Hierauf wird weiter unten noch näher eingegangen.
3. Die Beleuchtung darf keine störenden Schlagschatten geben. Die im Schatten liegenden Gegenstände sind sonst nicht zu erkennen, da sich die Pupillenöffnung auf die beleuchtete Fläche einstellt.
4. Andererseits muß die Beleuchtung genügend Schatten geben, um die körperliche Wirkung der beleuchteten Gegenstände nicht zu beeinträchtigen, denn erst durch den Schatten wirkt jeder Körper auch auf das Auge plastisch, wie es zum raschen und deutlichen Erkennen unbedingt erforderlich ist.
5. Die Beleuchtung soll möglichst gleichmäßig sein. Eine ungleichmäßige Beleuchtung ermüdet das Auge, da sich die Pupillenöffnung bei wechselnder Beleuchtung fortwährend anpassen muß. Eine gleichmäßige Beleuchtung wird durch diffus streuende Hüllen und reflektierende (indirekte) Beleuchtung gefördert.
6. Die Beleuchtung muß wirtschaftlich sein. Die Wirtschaftlichkeit hängt von der Wahl der Beleuchtungsart, der Leuchten und der Lampen ab. Für den Fabrikbau kommt wegen der relativ guten Energieumsetzung, der einfachen Bedienung und der Feuersicherheit heute praktisch nur noch die elektrische Glühlampe in Frage. Die nachstehende Ausführungen setzen daher diese Beleuchtungsart voraus.

Die vorstehenden Forderungen werden von den heute gebräuchlichen Leuchten bei richtiger Anwendung mehr oder weniger erfüllt. Wie überall in der Technik muß man sich auch bei der Beleuchtungsanlage mit einer Kompromißlösung zwischen den einzelnen Forderungen begnügen und von Fall zu Fall die zweckentsprechende Beleuchtungsart wählen. Es ist gerade auf diesem Gebiet als vollständig falsch zu bezeichnen, wenn man schematisch eine einmal als gut bekannte Beleuchtung auf anders geartete Verhältnisse übertragen will.

Man unterscheidet:

- ganz direkte Beleuchtung,
- ganz indirekte Beleuchtung,
- gemischte Beleuchtung.

Die direkte Beleuchtung wird durch Leuchten mit spiegelnden oder diffus streuenden Reflektoren erzielt, wenn die Form des Reflektors oder der Hülle den Lichtstrom direkt nach unten oder außerdem auch etwas nach der Seite lenkt. Die direkte Beleuchtung ergibt oft zu scharfe Schatten, doch kann eine direkte Beleuchtung in Sonderfällen gut verwendbar sein. Die Forderung der Wirtschaftlichkeit wird bei der direkten Beleuchtung am besten erfüllt, doch läßt die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung mitunter zu wünschen übrig. Für Werkstattbeleuchtung ist die direkte Beleuchtung sehr verbreitet (siehe Abb. 345 und 346).

Bei der ganz indirekten Beleuchtung sind die Leuchten nach unten vollständig abgeschirmt (lichtundurchlässig). Die Leuchte wirft den gesamten Lichtstrom auf die Decke und die oberen Wandteile. Auch durch Lichtbänder in den Vouten und durch Lichtkästen an den Wänden kann indirekte Beleuchtung erzielt werden. Bei indirekter Beleuchtung ist Voraussetzung für eine gute Wirkungsweise, daß die Reflektionsflächen, also hauptsächlich die Decken, vollkommen weiß und unbeschmutzt erhalten werden. In staubigen Betrieben ist dies überhaupt nicht durchzuführen, daher kommt eine ganz indirekte Beleuchtung vorwiegend für Büros in Frage. Ein Nach-

teil dieser Beleuchtung ist auch die Schattenlosigkeit, welche das Auffinden von Körnerschlägen, Zirkelspitzen u. dgl. außerordentlich erschwert.

Am meisten verbreitet ist wegen der Nachteile der vorstehend beschriebenen Beleuchtungsarten in Geschoßbauten die gemischte (halb indirekte) Beleuchtung. Bei dieser Beleuchtungs-



Abb. 345. Direkte Werkstattbeleuchtung in einer Halle; als Leuchten sind Tiefstrahler gewählt worden.

art wird die Hälfte bis Zweidritt des gesamten Lichtstromes von den Decken und Wänden reflektiert, während der Rest direkt nach unten strahlt. Auf gute Pflege des Decken- und Wandanstriches ist auch bei dieser Beleuchtung Wert zu legen. In Hallen mit großen Oberlichtern und

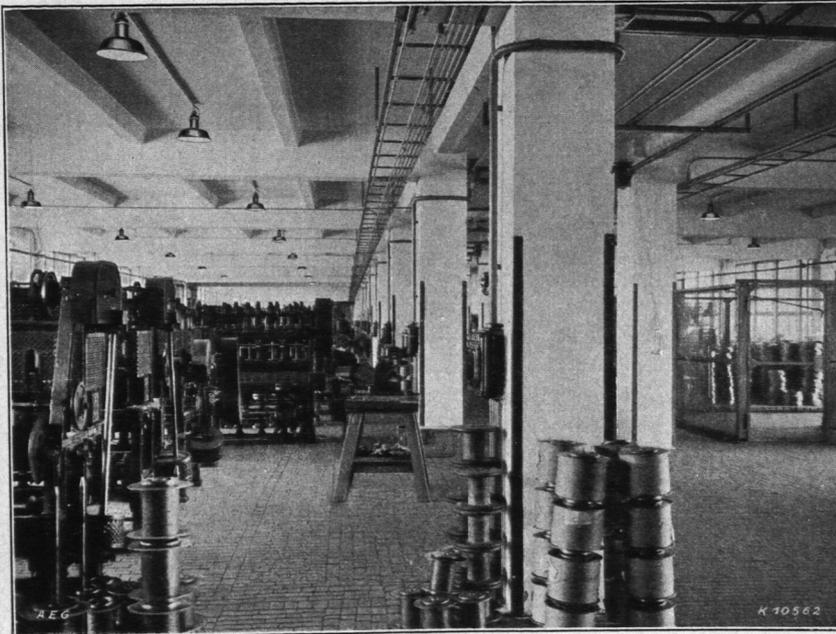
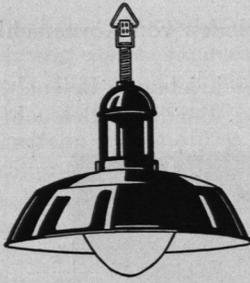


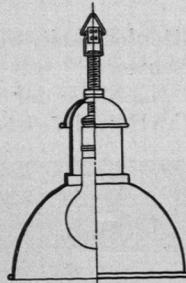
Abb. 346. Direkte Werkstattbeleuchtung in einem Stockwerksbau; als Leuchten sind Breitstrahler gewählt worden.

in Shedbauten kann die halb indirekte Beleuchtung nicht angewandt werden, weil die erforderlichen Reflektionsflächen fehlen. In diesen Räumen wird daher direkte Beleuchtung bevorzugt.

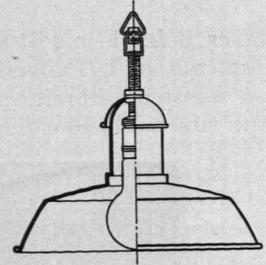
Nach vorstehenden Ausführungen ist es einleuchtend, daß die Gestaltung des Raumes, der Anstrich und die Farbe der Wände und Decken sowie die Einrichtung der Räume (Maschinen,



mit halbtiefem Reflektor u. Opalinglocke



mit tiefem Reflektor für $2\alpha=120^\circ$



mit halbtiefem Reflektor für $2\alpha=160^\circ$

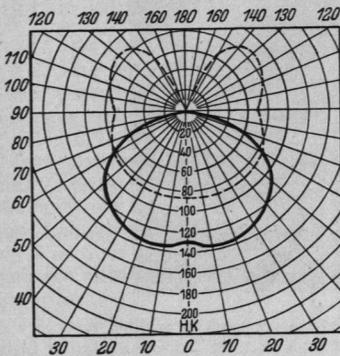


Abb. 347.

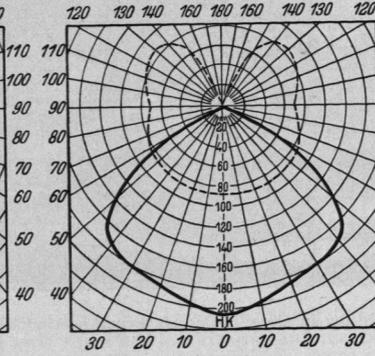


Abb. 348.

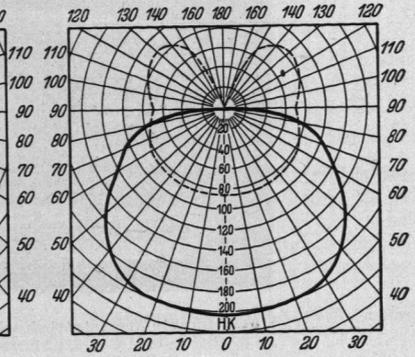
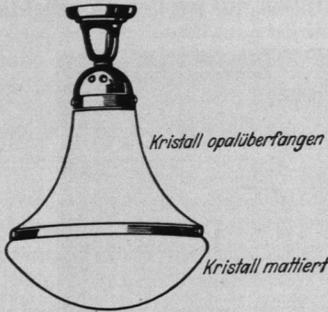


Abb. 349.

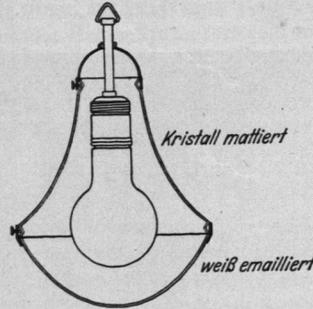
Abb. 347. bis 349. Werkstattleuchten; darunter Abhängigkeit der Lichtstärke von der Strahlrichtung (punktirt desgl. für die nackte Lampe ohne Leuchte).



Kristall opalüberfangen

Kristall mattiert

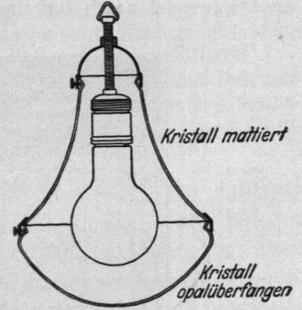
vorwiegend direktes Licht



Kristall mattiert

weiß emailliert

ganz indirektes Licht



Kristall mattiert

Kristall opalüberfangen

halbindirektes Licht

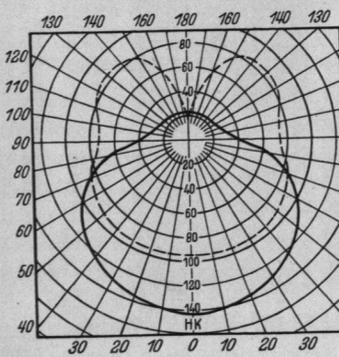


Abb. 350.

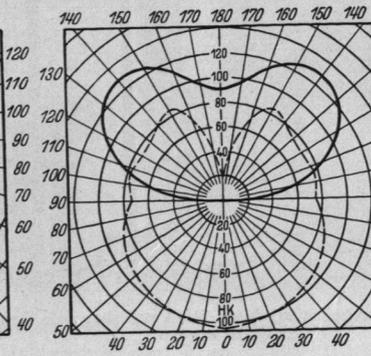


Abb. 351.

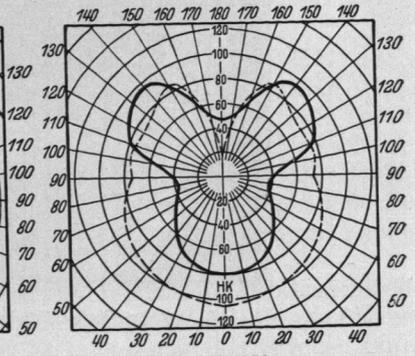


Abb. 352.

Abb. 350 bis 352. Büroleuchten.

Krane, Transmissionen, Werkstücke) die Wahl der Beleuchtungsart ausschlaggebend beeinflussen und die Erfüllung der oben wiedergegebenen Forderungen außerordentlich erschweren.

In vielen Fällen ist neben der allgemeinen Beleuchtung eine ergänzende Platzbeleuchtung erforderlich, so z. B. in Drehereien, Schlossereien, Mechanikerwerkstätten usw. Bei der Platz-

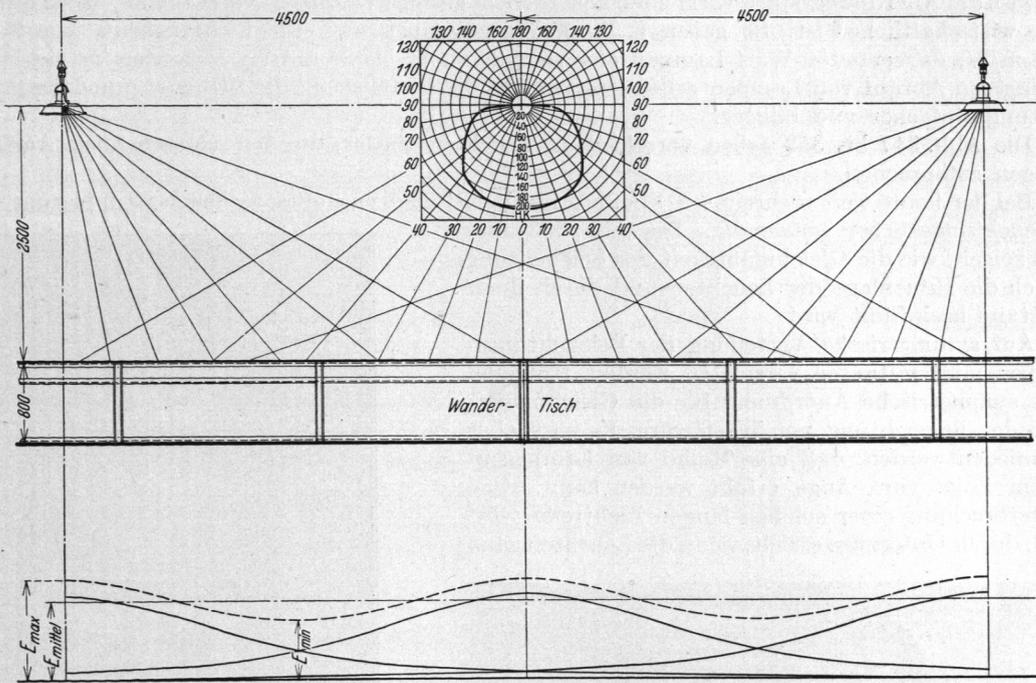


Abb. 353.

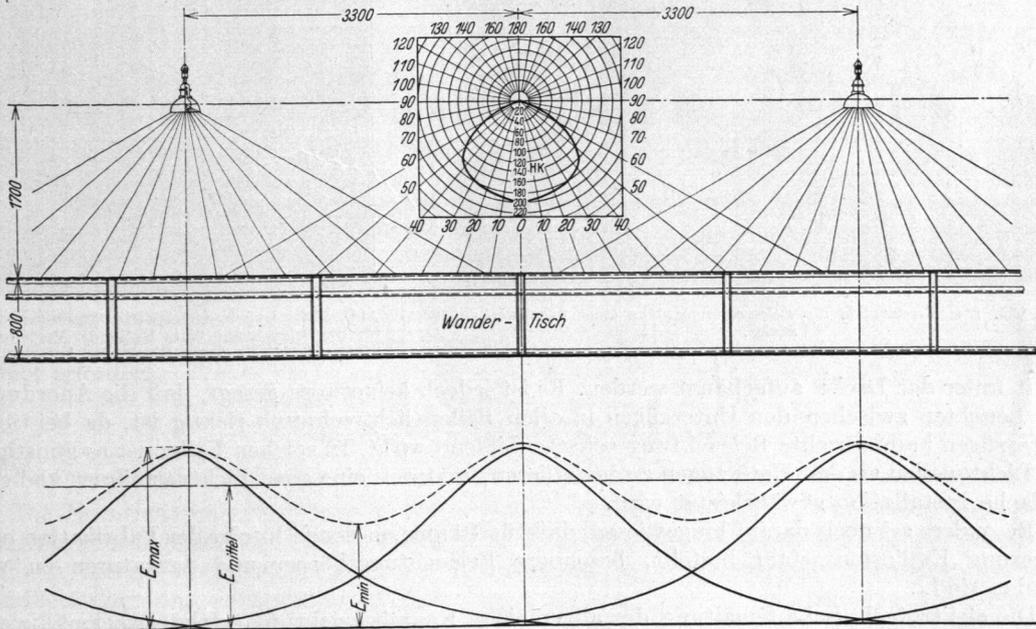


Abb. 354.

Abb. 353 und 354. Gleichmäßigkeit und Stärke der Beleuchtung (hier: eines Wandertisches) werden durch Höhenlage und Abstand der Leuchten maßgebend beeinflusst.

beleuchtung ist darauf zu achten, daß hauptsächlich das Werkstück beleuchtet und das Auge des Arbeiters gegen Blendung geschützt wird.

In Montagehallen, Gießereien, Versandhallen und in größeren Betrieben genügt meistens eine ausreichende Allgemeinbeleuchtung, bei welcher auf gleichmäßige Verteilung der Beleuch-

tung Wert zu legen ist. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung wird durch eine größere Anzahl von lichtschwächeren Leuchten gefördert, auch werden hierbei die Schlagschatten gemildert. Trotzdem ist die Anordnung stark wirkender Leuchten in geringerer Anzahl vorzuziehen, da sie erheblich wirtschaftlicher ist. So geben z. B. 60-Watt-Lampen nur eine Lichtausbeute von 9 bis 11 Lm/W, dagegen 150-Watt-Lampen eine solche von 14 bis 20 Lm/W. Außerdem ist bei einer geringeren Anzahl von Lampen selbstverständlich die Installation, die Bedienung und Instandhaltung einfacher und billiger.

Die Abb. 347 bis 352 geben verschiedene Leuchten wieder, die den vorstehenden Ausführungen entsprechen.

Bei der heute weit verbreiteten Fließfabrikation ist auch eine entsprechende Gruppierung der Beleuchtungskörper notwendig. Die Abb. 353 und 354 zeigen, wie die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung durch die Höhenlage der Leuchten und durch ihren Abstand beeinflußt wird.

Auf symmetrische Verteilung der Beleuchtungskörper muß mitunter verzichtet werden, trotzdem eine symmetrische Anordnung für die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung von Wert wäre. Es muß aber vermieden werden, daß eine Reihe von Lampen in einem Zuge vom Auge erfaßt werden kann. Eine Unterbrechung einer solchen langen Lichtreihe wird z. B. durch Unterzüge erzielt, wenn die Leuchten ganz

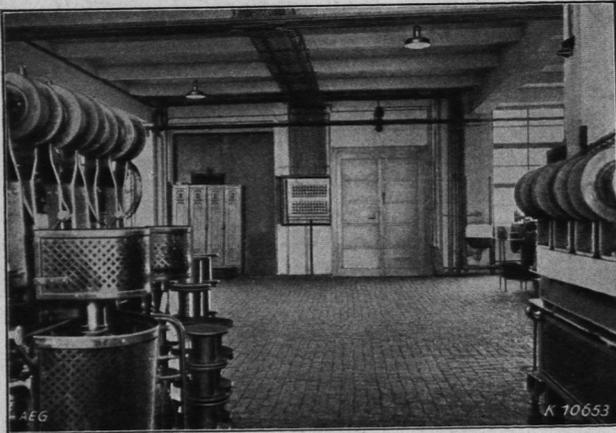


Abb. 355. Stromkreistafeln der Beleuchtungsanlage eines Stockwerksaales.

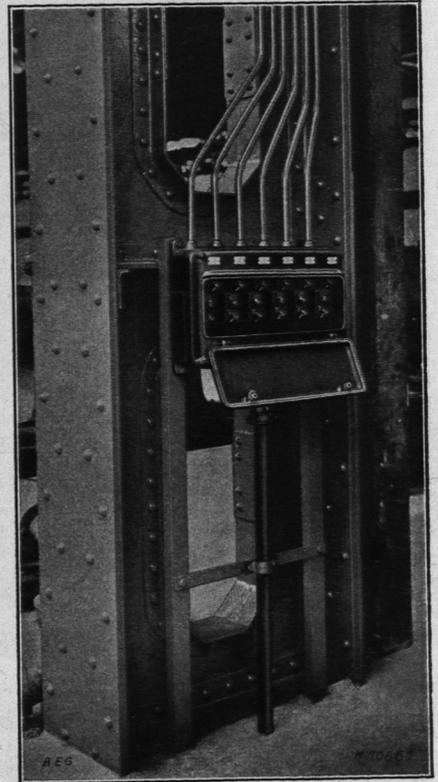


Abb. 356. Gußeisengekapselte Stromverteilung für die Beleuchtung einer Halle; der Verteilungskasten ist an einem Binderstiel befestigt.

dicht unter der Decke aufgehängt werden. Es ist jedoch keineswegs gesagt, daß die Anordnung der Leuchten zwischen den Unterzügen in allen Fällen lichttechnisch richtig ist, da bei tiefen Unterzügen halbindirekte Beleuchtung schattenbildend wirkt. In solchen Fällen ist es günstiger, die Lichtquellen an den Unterzügen zu installieren, wodurch eine gute Lichtverteilung und eine einfache Installation gewährleistet wird.

Besonders sei noch darauf hingewiesen, daß für Räume, in denen infolge der Fabrikation oder Lagerung Explosionsgefahr besteht, besondere Beleuchtungskörper und Armaturen zu verwenden sind.

Die elektrotechnische Schaltung der allgemeinen Raumbeleuchtung erfolgt zweckmäßig von einer oder von mehreren Zentralstellen aus. Die Stromkreistafeln werden unmittelbar vor den Steigeleitungen angeordnet (siehe Abb. 355 und 356) und sind mit guten Bezeichnungen zu versehen. Außer der allgemeinen Beleuchtung sollte in jedem wichtigen Betriebsraum eine Notbeleuchtung vorgesehen werden, die beim Versagen der Hauptbeleuchtung eine ausreichende Orientierung in den Räumen zuläßt. Beim Entwurf der Notbeleuchtung geht man zweckmäßig davon aus, welche Beleuchtung ein Wächter des Nachts bei seinem Kontrollgang benötigt; demnach sind alle Haupteingänge, Treppen und die Gänge in den Büros und Werkstätten an

dieses besondere Beleuchtungsnetz anzuschließen. Auf bequeme Schaltung (Treppenhaus- und Wechselschaltung) ist vor allem Rücksicht zu nehmen. Diese Beleuchtung soll mit der Hauptbeleuchtung gleichzeitig in Betrieb sein und kann beleuchtungstechnisch auch einen Bestandteil derselben bilden. Im Notfalle muß diese Beleuchtung aber auf jeden Fall ungestört bleiben. Im normalen Betrieb liegt auch dieser Teil der Beleuchtung an dem Hauptnetz. Beim Versagen desselben schaltet sich jedoch die Notbeleuchtung selbsttätig ein, so daß eine Unterbrechung der Stromzufuhr gar nicht zu bemerken ist. Für die Speisung der Notbeleuchtung kommt in erster Linie eine Akkumulatorenbatterie in Frage. Die Schaltung sollte nach Abb. 357 erfolgen; hierbei wird die Notbeleuchtung selbsttätig wieder auf das Hauptnetz geschaltet, sobald die Netzspannung zurückkehrt. Diese Schaltung ist jedenfalls der anderen Möglichkeit, ein besonderes Notlichtnetz einzuschalten, vorzuziehen, da in diesem Falle eine Rückschaltung von Hand erforderlich ist, so daß die Notbeleuchtung häufig des Nachts oder Sonntags bis zur Erschöpfung der Batterie weiterbrennt. Ein Vorteil des besonderen Notlichtnetzes liegt darin, daß man mit einer billigeren Batterie geringerer Spannung auskommen kann. Die Notlichtbatterie läßt sich jedoch auch für andere Zwecke ausnützen, so daß die zuerst beschriebene Ausführung der Notlichtschaltung vorzuziehen ist.

In besonderen Fällen kann es auch zweckmäßig sein, eine Kleinturbodynamo zur Speisung des Notlichtnetzes zu verwenden. Eine solche Kleinturbodynamo, wie sie zuerst für Lokomotivbeleuchtungszwecke entwickelt worden ist, kann automatisch durch ein Ventil eingeschaltet werden, das beim Wegbleiben der Netzspannung durch ein Gewicht geöffnet wird. Eine Notlichtbeleuchtung durch Ersatzlichtquellen kommt heute im Fabrikbau nicht mehr in Frage.

Beim Entwurf der Beleuchtungsanlage und bei der Auswahl der Leuchten ist zweckmäßig ein Lichtfachmann heranzuziehen, da die Erfüllung der verschiedenen oben angegebenen Forderungen praktisch ziemlich schwierig ist und eine große Erfahrung auf diesem Spezialgebiet erfordert.

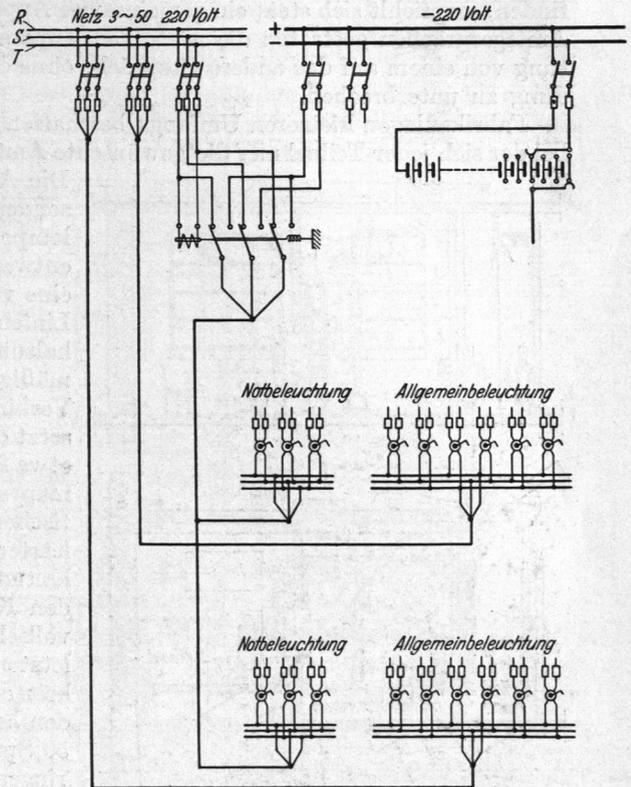


Abb. 357. Schaltungsdiagramm einer Beleuchtungsanlage; ein spannungsabhängiger Umschalter schaltet die Notbeleuchtung beim Ausbleiben der Netzspannung selbsttätig auf die Batterie um; sobald die Spannung zurückkehrt, wird die Notbeleuchtung wieder selbsttätig auf das Netz geschaltet.

16. Nachrichtenübermittlung.

Fernsprechanlagen. — Uhrenanlagen. — Feuermeldeanlagen. — Rufanlagen. — Kleinförderanlagen.

Die Nachrichtenübermittlung in Fabrikanlagen umfaßt ein Gebiet, das sich in den letzten Jahrzehnten ungemein entwickelt und eine hohe Bedeutung gewonnen hat. Im weiteren Sinne rechnen hierzu die Einrichtungen zur Fernübertragung von Gesprächen, Zeitangaben sowie handbetätigter und selbstwirkender Warn- und Schutzsignale und schließlich auch solche zum Transport leichter Gegenstände.

Die wichtigste Gruppe bilden die Fernsprechanlagen, die auch bezüglich ihrer Ausführungsformen die größte Mannigfaltigkeit aufweisen. Der Umfang solcher Anlagen ist von Fall zu Fall zu bestimmen; die Zahl der Sprechstellen in ein Verhältnis zur Zahl der Fabrik- oder Bürobelegschaft zu setzen, ist nicht angängig, da dies von zu viel Faktoren abhängig ist. Die meisten Apparate beanspruchen naturgemäß die Verkaufsabteilungen; es folgen ungefähr der Reihe nach die Verwaltungs-, Projekten-, Berechnungs- und Konstruktionsabteilungen, während der Bedarf der Werkstätten im allgemeinen gering ist. Die Organisation sowie die örtliche Lage