

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

H. Lur

Das moderne Beleuchtungswesen



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig

Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“

verdankt ihr Entstehen dem Wunsche, an der Erfüllung einer bedeutsamen sozialen Aufgabe mitzuwirken. Sie soll an ihrem Teil der unserer Kultur aus der Scheidung in Kasten drohenden Gefahr begegnen helfen, soll dem Gelehrten es ermöglichen, sich an weitere Kreise zu wenden, und dem materiell arbeitenden Menschen Gelegenheit bieten, mit den geistigen Errungenschaften in Fühlung zu bleiben. Der Gefahr, der Halbbildung zu dienen, begegnet sie, indem sie nicht in der Vorführung einer Fülle von Lehrstoff und Lehrsätzen oder etwa gar unerwiesenen Hypothesen ihre Aufgabe sucht, sondern darin, dem Leser Verständnis dafür zu vermitteln, wie die moderne Wissenschaft es erreicht hat, über wichtige Fragen von allgemeinstem Interesse Licht zu verbreiten, und ihn dadurch zu einem selbständigen Urteil über den Grad der Zuverlässigkeit jener Antworten zu befähigen.

Es ist gewiß durchaus unmöglich und unnötig, daß alle Welt sich mit geschichtlichen, naturwissenschaftlichen und philosophischen Studien befaßt. Es kommt nur darauf an, daß jeder an einem Punkte die Freiheit und Selbständigkeit des geistigen Lebens gewinnt. In diesem Sinne bieten die einzelnen, in sich abgeschlossenen Schriften eine Einführung in die einzelnen Gebiete in voller Anschaulichkeit und lebendiger Frische.

In den Dienst dieser mit der Sammlung verfolgten Aufgaben haben sich denn auch in dankenswertester Weise von Anfang an die besten Namen gestellt. Andererseits hat dem der Erfolg entsprochen, so daß viele der Bändchen bereits in neuen Auflagen vorliegen. Damit sie stets auf die Höhe der Forschung gebracht werden können, sind die Bändchen nicht, wie die anderer Sammlungen, stereotypiert, sondern werden — was freilich die Aufwendungen sehr wesentlich erhöht — bei jeder Auflage durchaus neu bearbeitet und völlig neu gesetzt.

So sind denn die schmuken, gehaltvollen Bände durchaus geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen kleinen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden. Durch den billigen Preis ermöglichen sie es tatsächlich jedem, auch dem wenig Begüterten, sich eine kleine Bibliothek zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt“ vereinigt.

Die meist reich illustrierten Bändchen sind
in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

Werke, die mehrere Bändchen umfassen, auch in einem Band geb.
Jedes Bändchen geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25

Leipzig

B. G. Teubner

Jedes Bändchen geheftet M. 1.—, in Leinw. gebunden M. 1.25

Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

Die Naturwissenschaften im Haushalt. Von Dr. J. Bongardt. 2 Bde. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 125, 126.)

I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb. (Bd. 125.)

II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abbildungen. (Bd. 126.)

Chemie in Küche und Haus. Von weil. Prof. Dr. G. Abel. 3. Aufl. von Dr. J. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)

Die Schmucksteine und die Schmuckstein-Industrie. Von Dr. A. Eppler. Mit 64 Abb. (Bd. 376.)

Die Spinnerei. Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit Abb. (Bd. 338.)

Weinbau und Weinbereitung. Von Dr. F. Schmitthener. (Bd. 332.)

Die Bierbrauerei. Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)

Agrikulturchemie. Von Dr. P. Krißche. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)

Elektrochemie. Von Prof. Dr. K. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)

Organische Chemie. Von Prof. Dr. G. Kümmell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)

Stickstoff und seine Verwertung. Von Prof. Dr. K. Kaiser. Mit 10 Abb. (Bd. 313.)

Luft- und Wasserversorgung. Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abbildungen.

Nachdem die Beleuchtungswesen. Von Dr. H. Lüg. Mit Abb. (Bd. 433.)

Briefdruck und den Webstuhl der Zeit. Von Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. (Bd. 23.)

Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat K. Merkel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.)

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Geh. Reg.-Rat M. Geitel. Mit Abb. (Bd. 462.)

Maschinenelemente. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)

Die Dampfmaschine I: Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 393.)

Die Dampfmaschine II: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit Abb. (Bd. 394.)

Industrielle Feuerungsanlagen und Dampfkessel. Von Ingenieur J. E. Mayer. (Bd. 348.)

Die neueren Wärmekraftmaschinen I: Einführung in die Theorie und den Bau der Maschinen für gasförmige und flüssige Brennstoffe. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 4. Aufl. Mit 33 Abb. (Bd. 21.)

Die neueren Wärmekraftmaschinen II: Gasmaschinen, Gas- und Dampfturbinen. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)

Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Kai. Geh. Reg.-Rat A. v. Jhering. 2. Aufl. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)

Die elektrische Kraftübertragung. Von Ingenieur P. Köhn. (Bd. 424.)

Die Wirtschaftlichkeit der Kraftanlagen. Von M. Gercke. (Bd. 425.)

Landwirtschaftliche Maschinenkunde. Von Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abb. (Bd. 316.)

Jedes Bändchen geheftet M. 1.—, in Leinw. gebunden M. 1.25

- Hebezeuge.** Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Geh. Bergrat Prof. R. Dater. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)
- Das Eisenbahnwesen.** Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinspektor a. D. E. Biedermann. 2. Aufl. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 144.)
- Die Klein- und Straßenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
- Grundlagen der Elektrotechnik.** Von Dr. A. Roth. Mit 72 Abb. (Bd. 391.)
- Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** Von Telegrapheninspektor H. Brück. Mit 58 Abb. (Bd. 235.)
- Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik.** Von Telegrapheninspektor H. Brück. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
- Die Funkentelegraphie.** Von Oberpostpraktikant H. Thurn. Mit 53 Illustr. 2. Aufl. (Bd. 167.)
- Nautik.** Von Dir. Dr. J. Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)
- Das Kriegsschiff.** Von Geh. Marinebaurat Krieger. (Bd. 389.)
- Die Luftfahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung.** Von Dr. R. Nimführ. 3. Aufl. von Dr. F. Huth. Mit zahlr. Abb. (Bd. 300.)
- Das Automobil.** Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ingenieur K. Blau. 2. Aufl. Mit 83 Abb. (Bd. 166.)
- Bilder aus der chemischen Technik.** Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abbild. (Bd. 191.)
- Chemie und Technologie der Sprengstoffe.** Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Die Handfeuerwaffen.** Ihre Entwicklung und Technik. Von Hauptmann R. Weiß. Mit 69 Abb. (Bd. 364.)
- Die Uhr.** Von Reg.-Bauführer a. D. H. Bodt. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)
- Wie ein Buch entsteht.** Von Prof. A. W. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Tafeln und 26 Abb. (Bd. 175.)
- Die Photographie, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre Anwendung.** Von Dr. O. Prelinger. (Bd. 414.)
- Die künstlerische Photographie.** Von Dr. W. Warstat. Mit Bilderanhang (12 Tafeln). (Bd. 410.)
- Die Kinematographie.** Von Dr. H. Lehmann. (Bd. 358.)
- Die Baustoffe des Hauses, ihre Eigenschaften, Verwendung und Erhaltung.** Von Prof. M. Girndt. (Bd. 447.)
- Der Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)
- Das Wohnhaus.** Von Reg.-Baumeister a. D. G. Langen. 2 Bde. (Bd. 444, 445.)
Bd. I: Sein technischer Aufbau. Bd. II: Seine Anlage und Ausgestaltung.
- Das Eisenhüttenwesen.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Wedding. 4. Aufl. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

433. Bändchen

Das moderne Beleuchtungswesen

Von

Dr. H. Lux, V. B. I.

Herausgeber der Zeitschrift
für Beleuchtungswesen

Mit 54 Abbildungen
im Text



Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1914

Vorwort.

In dem vorliegenden Bändchen wird der Versuch gemacht, einen möglichst vollständigen Überblick über den gegenwärtigen Stand des modernen Beleuchtungswesens zu geben. Hierbei sind die nur den Spezialisten interessierenden technischen Einzelheiten so kurz wie möglich behandelt, die prinzipiellen Gesichtspunkte aber in den Vordergrund gestellt worden. Deshalb wurden auch die wissenschaftlichen Grundlagen des Beleuchtungswesens ausführlicher besprochen, als es für eine populäre Darstellung vielleicht notwendig erscheint. — Da es mir aber darauf ankam, zu zeigen, in welcher Richtung das moderne Beleuchtungswesen sich weiter entwickelt, so findet das eingeschlagene Verfahren wohl in sich selbst seine Rechtfertigung.

H. Lux.

Copyright 1914 by B. G. Teubner in Leipzig

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.	Seite 1
---------------------	------------

I. Teil.

Die wissenschaftlichen Grundlagen des modernen Beleuchtungswesens.

A. Das Wesen des Lichtes . . .	4
B. Temperaturstrahlung . . .	11
a) Die Messung der Strahlungsenergie	13
b) Die Methode der Gesamtstrahlung	15
c) Die Energieverteilung im Spektrum einer Lichtquelle	16
d) Die Energieverteilung im Spektrum des Schwarzen Körpers.	20
e) Die Strahlungsgesetze des Schwarzen Körpers . . .	21
1. Das Gesetz von Stefan und Boltzmann	21
2. Das erste Wiensche Gesetz	22
3. Das zweite Wiensche Gesetz	22
4. Die Wien-Plancksche Strahlungsgleichung .	24
f) Die Strahlungsgesetze des Platins	25
g) Die strahlungstheoretischen Methoden der Temperaturbestimmung leuchtender Körper	25
1. Die spektroskopische Methode.	26
Pyrometer von Wanner	26
Optisches Pyrometer von Morse, bzw. Holborn und Kurlbaum	26
2. Temperaturbestimmung unter Benutzung des	

	Seite
Stefan = Boltzmannsches Gesetz	27
3. Temperaturmessung auf Grund des Wienschen Verschiebungsgesetzes .	27
C. Lumineszenzleuchten	27
D. Lichtmessungen (Photometrie)	29
a) Die allgemeinen Grundlagen der Photometrie.	29
1. Die deutsche Lichteinheit	31
2. Andere Lichteinheiten .	33
b) Die Durchführung photometrischer Messungen . . .	34

II. Teil.

Die künstlichen Lichtquellen.

A. Die künstliche Beleuchtung im allgemeinen	40
B. Die Beleuchtung mit flüssigen und festen Stoffen	44
a) Die Kerzenbeleuchtung	44
b) Die Ölbeleuchtung	45
c) Die Petroleumbeleuchtung	46
d) Die Davysche Sicherheitslampe	47
C. Die Gasbeleuchtung	49
a) Die Gaszerzeugung	49
1. Das Leuchtgas	49
2. Andere zur Lichterzeugung benutzte Gase	53
Öl- und Fettgas	53
Blaugas	54
Wassergas	54
Azetylen	55
Luftgas	56
b) Das Gasglühlicht	58
1. Das Niederdruckgasglühlicht	58

	Seite		Seite
2. Stehende Starflicht- brenner	66	Wolframlampe	89
3. Das stehende Preßgas- licht	67	3. Die Kernstlampe	95
4. Das hängende Glühlicht	68	4. Die Lampenglocken und Reflektoren	95
5. Preßgas- und Preßluft- hängebrenner	70	b) Die Bogenlampe	97
6. Glühlicht mit flammen- loser Verbrennung	73	1. Der Davy'sche Licht- bogen	97
7. Zündung von Gas- flammen	74	2. Die gewöhnlichen Bo- genlampen	99
Kleinsteller	74	3. Die Herstellung der Kohlenstifte.	102
Druckstoßzünder	74	4. Die Flammenbogen- lampe	102
Elektrische Zünder	75	5. Magnetit- und Titan- bogenlampe.	105
Chemische Zünder	75	6. Die optisch-photome- trischen Erscheinungen bei der Bogenlampe	106
c) Glühlichtbeleuchtung mit flüssigen Brennstoffen	76	c) Die Dampfslampen.	108
1. Petroleumglühlicht	76	1. Die Aronslampe	108
2. Spiritusglühlicht	79	2. Die Quarzlampe	111
D. Elektrische Beleuchtung	81	d) Vakuumlicht	114
a) Das Glühlicht	81	E. Vergleichende Wertung der verschiedenen Lichtquellen	116
1. Die Kohlenfadenlampe	82		
2. Die Metallfadenlampe	87		
Osmiumlampe	87		
Tantallampe	87		

Einleitung.

Ganz in unsere Zeit fällt die phänomenale Entwicklung des Beleuchtungswesens. Durch Jahrtausende hatte es sich technisch kaum über das Niveau erhoben, das durch das leuchtende Herdfeuer charakterisiert wird. Das einzelne dem Herdfeuer als Leuchte entnommene, brennende Holzsplit leitet die Trennung des künstlichen Lichtes vom Feuer ein. Der Kienspan, die Pechfackel und selbst die Kerze — eine verfeinerte Pechfackel — sind nur Abkömmlinge des Holzsplites. Auch mit der Benutzung flüssiger Brennstoffe in der antiken Lampe erhebt sich die Technik noch nicht über die primitive Anwendung des offenen Feuers zu Leuchtzwecken.

Der erste große Schritt in der Weiterentwicklung des Beleuchtungswesens wurde durch die Erfindung des Leuchtgases am Anfange des vorigen Jahrhunderts gemacht. Auch bei dem Herdfeuer, ebenso wie bei der Kerze und der Lampe muß der Flammenbildung eine Vergasung des Brennstoffes vorausgehen; aber bei der Gasbeleuchtung handelt es sich um eine zielbewußte, räumliche Trennung des Vergasungsvorganges von der Verwendungsstelle der Flamme. Diese Trennung erwies sich in der Folge als überaus fruchtbar. Sie bildete den Ausgang für die Ausbildung des modernen Beleuchtungswesens, denn sie leitete zur Erkenntnis des Wesens der Flamme und des Flammenleuchtens. Erst auf dieser Basis konnte die Weiterentwicklung einsetzen, die direkt zum Gasglühlichte hinleitete. Die Verwendung des Petroleums zu Leuchtzwecken, so wertvoll sie auch für die Kulturentwicklung gewesen ist, bedeutet weder erkenntnistheoretisch noch technisch einen Fortschritt über die Ölbeleuchtung; sie regte nicht einmal eine prinzipielle Weiterentwicklung an. Dieses Verdienst muß vielmehr ganz dem Leuchtgase zugeschrieben werden. Die Leichtigkeit mit dem Leuchtgase Licht in beliebiger Unterteilung erzeugen zu können, ist für die öffentliche Beleuchtung und vor allem für die Beleuchtung von Fabriken und anderen Produktionsstätten von einschneidender Bedeutung geworden. Gleichzeitig wurde durch die Gasbeleuchtung das allgemeine Lichtbedürfnis gesteigert.

Um möglichst starke Lichtquellen zu erzeugen, reichte das Leuchtgas in seiner anfänglichen Anwendungsart aber nicht aus und die Aufmerksamkeit der Techniker richtete sich auf Davys Laboratoriumsversuch mit dem zwischen Kohlenspitzen überspringenden leuchtenden elektrischen Funken, um auch diesen der künstlichen Beleuchtung dienstbar zu machen.

Die moderne Elektrotechnik ist das legitime Kind dieser Versuche. Nachdem die technische Bedeutung des Davyschen elektrischen Lichtes einmal erkannt war, widmeten sich die besten Köpfe der Aufgabe, Elektrizität in rationeller Weise zu erzeugen. Und als diese Aufgabe durch die Erfindung des dynamoelektrischen Prinzipes gelöst war, folgten sich die unwälzenden Erfindungen auf dem Gebiete des Beleuchtungswesens Schlag auf Schlag, indem bald die Gasbeleuchtung, bald die elektrische Beleuchtung einen kleinen Vorsprung gewann. Während sich die Gas-techniker bemühten, mit Regenerativlampen Lichtquellen zu liefern, die die Konkurrenz der elektrischen Bogenlampen auszuhalten vermochten, bemühten sich die Elektrotechniker, das elektrische Licht bis zu immer kleineren Einheiten herab zu teilen. Die elektrische Glühlampe erschien und rang den kleineren Gasflammen, den Schnitt- und Argandbrennern erhebliches Terrain ab. Einen Augenblick lang schien es, als ob der Kampf zugunsten der Elektrizität entschieden sei, als Auer von Welsbach mit seinem Gasglühlichte das Leuchtgas neuen Triumpfen zuführte. — Die Elektrotechnik antwortete darauf mit Intensivflammenbogenlampen, die alle anderen Beleuchtungssysteme wörtlich in den Schatten stellten; sie trat mit der Kernstlampe und schließlich mit den Metallfadenlampen auf den Plan, die der arg ins Hintertreffen geratenen elektrischen Kleinbeleuchtung neues Leben schufen. Dafür aber rückten die Gastechniker mit den Invertbrennern und Gasstarklichtlampen der elektrischen Beleuchtung von neuem energisch zu Leibe. In den Zwischenakten des heute noch immer unentschiedenen Kampfes zwischen Leuchtgas und Elektrizität tauchte die Azethlenbeleuchtung auf, es erschienen die Luftgasbeleuchtung, die Spiritus- und Petroleumglühlichtbeleuchtung, um auf dem weder von dem Gase noch der Elektrizität belegten Terrain für sich zu ernten.

Heute verfügen wir über eine Fülle verschiedener Methoden zur Erzeugung künstlichen Lichtes. Wir sind in der Lage in Wahrheit die Nacht zum Tage zu machen. Fluten künstlichen Lichtes berauschen den Blick in den Straßen unserer großen Städte, an den Plätzen, die der Er-

holung und dem Vergnügen dienen; und selbst in den bescheideneren Wohnräumen wird mit der künstlichen Beleuchtung verschwenderischer Luxus getrieben. Sind wir auf Grund der technischen Leistungen aber auch wirklich innerlich zu diesem Luxus berechtigt? Oder treiben wir nicht eine unerhörte Vergeudung von derselben Art wie die vornehmen Römer, die Rosenöl in ihren Lampen brannten?

Wer nur die Leichtigkeit betrachtet, mit der wir imstande sind, Lichtquellen von einer Stärke und einem Glanze zu erzeugen, die bis in die Gegenwart hinein unbekannt gewesen sind, kann in der stolzen Selbstüberhebung „daß wir es so herrlich weit gebracht“ leicht zu einer falschen Wertung des wirklichen Inhaltes unserer technischen Leistungen kommen. Nichts wäre verfehlter als der Glaube, daß, weil die Leuchttechnik unserer Tage so hoch über der der Alten steht, auch unsere Methoden über die der Altenbergehoch erhaben sind. An der äußeren Größe unserer Leistungen kann nicht gezweifelt werden. Aber hinsichtlich der Ausnutzung der aufgewandten Energie zur Erzeugung von künstlichem Lichte stehen wir doch noch in den allerersten Anfängen und sind hierin noch sehr wenig vor dem Altertume voraus. Und doch haben wir vor diesem einen nicht zu unterschätzenden Vorsprung. Dank der idealen Forschung haben wir heute — wenigstens in großen Zügen — wissenschaftliche Grundlagen der Leuchttechnik, auf denen die Technik systematisch weiterbauen kann und weiterbauen muß, wenn ihr der Vorwurf erspart bleiben soll, daß es ihr nur auf den blendenden Glanz ihrer Leistungen, aber nicht darauf ankomme, diese Leistungen mit einem Minimalaufwand an Energie zu erreichen.

I. Teil.

Die wissenschaftlichen Grundlagen des modernen Beleuchtungswesens.

A. Das Wesen des Lichtes.

Das Licht ist eine rein subjektive Erscheinung. Nur wo ein empfindendes Auge vorhanden ist, da ist Licht. Außer uns existiert weder Farbe noch Hell und Dunkel. Aber den Empfindungsvorgängen entspricht eine objektive Realität außer uns und unabhängig von unseren Sinnen. Ohne unser Ohr existiert kein Ton; aber dem Tone in uns entspricht eine rhythmische Bewegung der Luftteilchen außer uns, angeregt durch eine schwingende Saite oder durch die schwingende Masse einer Glocke. Die Zahl der Schwingungen außer uns bestimmt die Höhe des von unserem Ohr empfundenen Tones. Man kann sich sehr wohl Wesen anderer Art vorstellen, bei denen durch die Luftschwingungen nicht Tonempfindungen sondern vielleicht Wärmeempfindungen ausgelöst werden. Wir haben kein Organ, das uns die Vorgänge außer uns, die wir Elektrizität nennen, zur direkten sinnlichen Wahrnehmung brächte. Und doch existieren diese Vorgänge ganz real außer uns, und sie lösen Erscheinungen aus, die wir sinnlich aufnehmen: als Licht, als Wärme, als Fernwirkungen auf eine Magnetnadel, als Blitz und Donner. Das in uns ruhende Kausalitätsbedürfnis zwingt uns, aus den wahrgenommenen Erscheinungen auf das Vorhandensein einer Ursache für diese Erscheinungen zu schließen. Wenn wir diese Ursache dann eine „Naturkraft“ nennen, so sind wir in unserer Erkenntnis natürlich keinen Schritt weiter gekommen; wir haben für das Wesen des objektiven Etwas außer uns nur ein anderes Bild gesetzt, das selbst nur wieder ein Produkt unserer Sinnenwelt ist. Und selbst wenn wir auf Grund unserer Erfahrungen Licht und Elektrizität und Schall auf Bewegungen materieller Teilchen außer uns zurückführen, wenn wir den Rhythmus dieser Bewegungen als scharf definierte Gesetzmäßigkeiten analysieren, so um-

schreiben wir doch nur immer wieder die Vorgänge unseres Sinnenlebens. Das Wesen der Dinge außer uns bleibt uns für ewig gleich fremd.

Finden wir aber bei der Betrachtung der Erscheinungen, daß einzelne von ihnen auf unsere Sinne gleiche oder ähnliche Wirkungen ausüben, so sind wir trotzdem berechtigt anzunehmen, daß diese Erscheinung auch außerhalb unserer Sinne gleich oder ähnlich sein müssen, und wir sind weiter berechtigt, mit unseren Sinnen über ihre Wirkungen zu urteilen und auf Grund unserer sinnlichen Erfahrungen für sie Gesetze zu formulieren.

Auf Grund der neuen Forschungen über die elektrischen Vorgänge sind wir nun gezwungen anzunehmen, daß der Grundbaustein der Materie, das Atom, elektrische Ladungen enthält, die selbst wieder materieller Natur sind. Hiernach setzt sich das Atom aus Uratomen zusammen, die man Elektronen nennt. Wir sind heute bereits in der Lage diese Elektronen nicht nur experimentell nachzuweisen, sondern auch ihre Größe, ihre „Masse“, die Geschwindigkeit ihrer Bewegung zu bestimmen. Die Vorgänge bei der Elektrolyse, die Erscheinung der Kathodenstrahlen, die elektrische Leitfähigkeit der Flammen, die durch Radiumstrahlen für Elektrizität leitfähig gemachte Luft, die magnetische Einwirkung auf die Lichtemission glühender Gase u. a. m. haben die Annahme von Elektronen als Uratome der Masse geradezu erzwungen. Und wir sind heute bereits berechtigt, die Existenz dieser Elektronen und ihrer Bewegungen im Atom als Tatsachen anzuerkennen. Natürlich sind wir noch weit davon entfernt, uns eine Vorstellung von dem wirklichen Bau eines Atomes zu machen; nur so viel wissen wir mit ziemlicher Sicherheit, daß es sich aus schwer beweglichen positiven Ionen und leichter beweglichen negativen zusammensetzt. Wir vermögen durch bloßes Erhitzen aus den Substanzen negative Elektronen auszutreiben. Bestrahlen wir mit ultraviolettem Licht irgendein Metall, so werden aus diesem negative Elektronen abgestoßen, so daß sich das Metall positiv auflädt und Strahlen aussendet, die den Kathodenstrahlen entsprechen. Die sogenannten radioaktiven Substanzen sind dadurch charakterisiert, daß ohne äußeres Zutun von ihnen Elektronen mit einer Geschwindigkeit, die der des Lichtes nahekommt, weggeschleudert werden.

Durch den Ausbau der Elektronentheorie ist eine bereits von Maxwell vermutete und rechnerisch verfolgte Annahme zur größten Wahrscheinlichkeit gebracht worden, daß Licht und Elektrizität wesensverwandte Erscheinungen sind, und daß wir in dem Lichte eine elektromagnetische Er-

scheinung zu erblicken haben.¹⁾ Die Frage nach dem Wesen des Lichtes suchte Newton durch die Annahme einer stofflichen Emanation aus den leuchtenden Körpern zu beantworten. Im Gegensatz zu ihm stellte Huygens die Hypothese von der immateriellen Natur des Lichtes auf. Nach ihm ist das Licht nichts anderes als die wellenförmige Bewegung des „Lichtäthers“, eines hypothetischen Mediums, das alle Stoffe durchdringt, mit dem das ganze Weltall erfüllt ist. Dringen die Wellen des Lichtäthers durch unser Auge und erregen dort den Sehnerven, so faßt unser Gehirn die Ätherbewegung als Licht auf.

Der jahrhundertlang für unüberbrückbar gehaltene Gegensatz zwischen den beiden Hypothesen hat sich heute auf der Grundlage der Elektronentheorie fast vollständig gelöst. Die Auffassung der Elektrizität als Substanz und die Erkenntnis der Wesensverwandtschaft von Elektrizität und Licht haben die Versöhnung des ursprünglichen Gegensatzes herbeigeführt. Wir nehmen jetzt an, daß die Bewegung der negativen Elektronen im Lichtäther Wellen erregt, die je nach ihrer Länge und Schwingungszahl als elektrische Schwingungen, als Wärmestrahlung, als Licht oder als Röntgenstrahlen in Erscheinung treten, wenn sie auf einen geeigneten Detektor auftreffen. Für Schwingungen von 400 bis 800 Billionen in einer Sekunde bei einer Wellenlänge von 0,75 bis 0,375 tausendstel Millimeter²⁾ (1 tausendstel Millimeter = 1 Mikron, geschrieben: 1μ) ist unser Auge ein hochempfindlicher Detektor; (freilich nicht der empfindlichste, denn in den photoelektrischen Zellen von Elster und Geitel [vgl. S. 14] besitzen wir Lichtdetektoren, die noch $\frac{1}{5000}$ derjenigen Lichtmenge nachzuweisen vermögen, die das ausgeruhete Auge gerade noch als schwächsten Lichteindruck empfindet). Vollführen die Elektronen 400 Billionen Schwingungen oder haben bzw. die von dem schwingenden Elektron erregten Ätherwellen eine Länge von $0,75 \mu$, so hat unser Auge die Empfindung roten Lichtes. Bei einer Wellenlänge von rund $0,6 \mu$ empfinden wir gelbes Licht, bei $0,44 \mu$ sehen wir blaues, bei $0,41 \mu$ violette und bei $0,39 \mu$, der äußersten Grenze, für die das Auge noch empfindlich ist, grauviolettes Licht.

1) Vgl. u. a. D. J. J. Thomson. Die Korpuskulartheorie der Materie; übersetzt von G. Siebert, Braunschweig, Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn.

2) Beträgt die Lichtgeschwindigkeit 300 000 km in der Sekunde = 300 000 000 000 mm, so ergibt die Division der Wellenlänge $0,00075 \text{ mm}$ in diese Zahl: 400 Billionen; 300 000 000 000 dividiert durch $0,000375$ gibt 800 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Vgl. auch Dr. Leo Graeb, Das Licht und die Farben (MtuG Bd. 17).

Geht von einer Lichtquelle absolut einfarbiges Licht ganz bestimmter Wellenlänge aus, haben wir also eine einzige und einfache Schwingungsform vor uns, so sind wir zu der Annahme berechtigt, daß ein einziges in Bewegung befindliches Uratom (Uratomgruppe?) die Ätherschwingungen ausgelöst hat. Sendet dagegen ein chemisch einatomiges Gas, glühender Quecksilberdampf etwa, Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge aus, so sind wir zu dem Schlusse gezwungen, daß in dem Elementaratom mehrere voneinander verschiedene Schwingungsgruppen vorhanden sein müssen. Diese Tatsache allein schon drängt uns die Überzeugung auf, daß das Elementaratom des Quecksilberdampfes ein zusammengesetztes System sein muß, daß die Atome nicht die Urbestandteile der Materie sein können. Die Zahl der von einem leuchtenden Gase ausgehenden Strahlen verschiedener Wellenlänge gestattet demnach auch einen Rückschluß auf den mehr oder weniger komplizierten Bau des Elementaratoms dieses Gases aus Uratomen, Elektronen.

Das Problem der Erzeugung künstlichen Lichtes ist also auf das Problem zurückgeführt, die Uratome, die Elektronen, in Schwingungen zu versetzen. In der Art, wie das geschieht, unterscheiden sich die verschiedenen Systeme der Lichterzeugung wesentlich voneinander. An die Elektronen selbst können wir ohne weiteres nicht heran. Ihrer Größenordnung nach verhalten sich die Elektronen zum Atom, wie etwa ein einzelner Weltkörper zum ganzen Sonnensysteme. Und schon an die Atome können wir nur schwer heran. Wir müssen uns im allgemeinen damit begnügen, die Atomkomplexe, die Moleküle in einen lebhafteren Schwingungszustand durch Zufuhr von Bewegungsenergie zu versetzen. Das einfachste Mittel hierzu ist eine Temperaturerhöhung, denn die Temperatur eines Körpers ist im wesentlichen ein Maß für die kinetische Energie der intermolekularen Bewegung. Nach außen tritt diese Molekularbewegung als Wärme, als Licht oder Elektrizität in Erscheinung. Hier interessiert zunächst nur, daß mit der molekularen Bewegung eine Veränderung in der elektrischen Ladung der Moleküle Hand in Hand geht. Die Elektronenverbände werden gestört. Einzelne Elektronen werden aus den Molekülen hinausgeschleudert und treten in andere ein. Die Elektronenbewegung bedingt dann Ätherschwingungen verschiedener Art, die bei einer bestimmten Schwingungszahl (zwischen 400 bis 800 Billionen) als Licht empfunden werden können. Von den unendlichen nach außen gelangenden Schwingungszuständen der einzelnen Ätherteilchen ist das aber nur eine einzige Oktave. Der anscheinend so einfache Weg

erweist sich also als ein arger Umweg, denn um die eine Oktave von Schwingungen zu erzeugen, die wir allein als Licht empfinden und auf die es uns allein ankommt, müssen wir gleichzeitig die unendliche Anzahl von Schwingungsoktaven mit in Kauf nehmen, die als Wärmestrahlen, als elektrische Schwingungen und einfache Massenbewegungen wirken. So unrationell arbeiten die meisten unserer künstlichen Lichtquellen, gleichgültig ob wir die Temperatursteigerung durch elektrische Stromwärme oder durch chemische Verbrennungsvorgänge erzeugen. Ein nicht sehr erheblicher Quantitätsunterschied resultiert nur in Abhängigkeit von der Temperaturhöhe. Wir arbeiten so unwirtschaftlich, wie D. Lummer in einem schönen Vergleiche sagt, wie wenn man einen ganzen Glockenturm in Bewegung versetzen wollte, um eine einzige Glocke zum Tönen zu bringen.

Ganz anders werden jedoch die Verhältnisse, wenn man in verdünnten Gasen elektrische Entladungen vornimmt. Die Elektronen sind hier in ihren Bewegungen weit weniger gehemmt, sie können freier aus ihren Verbänden heraustreten, und sie werden auch direkter beeinflusst. Wir erhalten deshalb auch Ätherschwingungen in einem enger begrenzten Schwingungsintervall, und neben den reinen Lichtstrahlen treten die anderen Strahlungsgattungen nur noch in sehr beschränktem Umfang auf. Diese Erregungsart der Elektronen, die zu den noch wenig erforschten Lumineszenzererscheinungen¹⁾ gehört, unterscheidet sich also ganz wesentlich von der Erregung bei der Temperaturstrahlung, und hier liegt der Weg für eine rationelle Lichterzeugung vorgezeichnet. Noch aber sind unsere künstlichen Lichtquellen vornehmlich Temperaturstrahler, die nicht sehr wesensverschieden sind von den Lichtquellen der grauen Vergangenheit.

Wenn wir in rationeller Weise Licht erzeugen wollen, so muß unser Bestreben dahin gehen, die äußere Energiezufuhr zum Lichtstrahler so zu leiten, daß nur sichtbare Strahlen entstehen, also nur Ätherschwingungen innerhalb der Schwingungsoktave von 400 bis 800 Billionen; aber diese Schwingungszahlen dürfen dabei auf die schwingenden Äthertheilchen nicht gleichmäßig verteilt sein, wir müssen vielmehr noch Rücksicht auf den physiologischen Bau unseres Auges nehmen, das für die verschiedenen Lichtschwingungen durchaus nicht gleichmäßig empfindlich ist. Unser Auge ist morphologisch dem von unserem Zentralgestirne, der Sonne, ausgesandten Licht angepaßt. In der Gegend des Sonnen-

1) Vgl. Kümmerl, Photochemie (ANuG Bd. 227).

spektrums, wo das Energiemaximum vorhanden ist, ist unser Auge am empfindlichsten.¹⁾ Es faßt dort gelbgrünes Licht auf. Begnügten wir uns bei der Erzeugung künstlichen Lichtes lediglich mit der Erzeugung gelbgrüner Strahlen, so würden wir dementsprechend mit dem Minimum äußeren Energieaufwandes auskommen. In der Natur haben wir hierfür ein Vorbild in dem Lichte des Glühwürmchens und einiger anderer Leuchtorganismen. Aber bei einem lediglich gelbgrünen Lichte würde unser physiologisches Wohlbefinden leiden. Es dürfen unserem künstlichen Lichte diejenigen Lichtstrahlen nicht fehlen, die auch im Sonnenlichte vorhanden sind. Und die ideale künstliche Lichtquelle wäre die, bei der die einzelnen Strahlengattungen ihrer Intensität nach in dem gleichen Verhältnisse vorhanden sind, wie im Sonnenlichte. Wir empfinden dann weißes Licht.

Um zu dem idealen Lichtstrahler zu gelangen, müssen wir demnach zunächst das Sonnenlicht qualitativ und quantitativ analysieren. Die Trennung der einzelnen Strahlengattungen geschieht durch ein Prisma²⁾; sofern wir nur Wert auf diejenigen Strahlengattungen legen, die wir als Licht empfinden, genügt ein Prisma aus durchsichtigem Glase. Wollen wir aber auch die unendliche Zahl der verschiedenen anderen Strahlengattungen, die Röntgenstrahlen, Wärmestrahlen, elektrischen Strahlen in den Kreis unserer Untersuchungen mit einbeziehen, so versagt das Glasprisma sehr bald, da es für Strahlen von einer Wellenlänge unter $0,3 \mu$ und über $2,0 \mu$ fast undurchlässig ist und schon über $0,8 \mu$ merklich Strahlen verschluckt. Wir sind dann gezwungen zu Steinsalz-, Flußspath-, Quarzprismen Zuflucht zu nehmen, die einen erheblich größeren Durchlässigkeitsbezirk aufweisen; oder noch besser benutzen wir zu unseren Untersuchungen Beugungsgitter.

Wir beschränken uns zunächst auf diejenigen Strahlengattungen, die wir als Licht empfinden. Lassen wir ein sehr schmales, paralleles Lichtbündel durch ein Prisma fallen³⁾, so werden die einzelnen Strahlen-

1) Das Energiemaximum des Sonnenspektrums liegt nach Langley bei $0,5 \mu$. Unser Auge ist nach A. König für Lichtstrahlen von $\lambda = 0,57$ im Gelbgrünen am empfindlichsten. Wenn man die absolute Helligkeit des Spektrums verringert, so verschiebt sich infolge des Purkinje'schen Phänomens das Empfindungsmaximum nach dem blaugrünen Teile des Spektrums $\lambda = 0,51$. In der Literatur findet man meist die Angabe, daß unser Auge für die Strahlen $\lambda = 0,53 \mu$ am empfindlichsten sei.

2) Vgl. Grebe, Spektroskopie (ANuG Bd. 284).

3) Vgl. Grebe, Spektroskopie (ANuG Bd. 284).

gattungen je nach ihrer Wellenlänge verschieden stark in ihrer Geschwindigkeit verzögert und entsprechend verschieden stark aus ihrer Richtung abgelenkt. Fangen wir die Lichtstrahlen auf einem weißen Schirme auf, so sehen wir am wenigsten stark von der ursprünglichen Richtung abgelenkt rotes Licht, am stärksten abgelenkt violettes Licht und dazwischen orange, gelb, grün, blau. Das so auseinandergezogene, in seine Bestandteile zerlegte Lichtbündel nennen wir ein Spektrum. Und kam Sonnenlicht zur Zerlegung, so empfindet unser Auge die gelben und gelbgrünen Teile des Spektrums am hellsten, während nach dem roten und violetten Ende des Spektrums hin die Wirkung auf das Auge abnimmt. Die Helligkeitsverteilung im Sonnenspektrum wird durch das beistehende Schaubild (Abb. 1) illustriert. Die Ordinaten der Helligkeitskurve geben hierbei die Helligkeitswerte in Relativzahlen, die Abszissen die Wellenlänge an. Von dieser Intensitätskurve müssen wir ausgehen, wenn wir durch künstliche Mittel rein weißes, dem Sonnenlichte entsprechendes Licht zusammensetzen wollen. Diese Versuche sind in der Tat gemacht worden, da man in einzelnen Gewerben, so insbesondere in Färbereien, Webereien, Farbendruckereien, Modewarenhandlungen, bei der Bühnenbeleuchtung usw. ein künstliches Licht braucht, das eine dem Sonnenlicht entsprechende Zusammensetzung aufweist.

Ausgehend von der Young-Helmholtz'schen Farbenlehre brauchen wir aber zur Zusammensetzung künstlichen Sonnenlichts nicht alle Bestandteile des Farbenspektrums zu mischen. Es genügt bereits die Mischung aus roten, grünen und blauen Strahlen. Man kann dann in folgender Weise verfahren: Angenommen es stehen drei Lichtquellen, etwa elektrische Glühlampen, zur Verfügung, von denen jede nur rote, grüne oder blaue Strahlen von bestimmter Wellenlänge aussendet, so regulieren wir deren Lichtstärken nach dem Verhältnisse der Ordinaten in der Intensitätskurve Abb. 1. Verhalten sich dann die Lichtstärken von rot ($\lambda = 0,62 \mu$), gelbgrün ($\lambda = 0,56 \mu$) und blau ($\lambda = 0,48 \mu$) wie 10 : 100 : 3,5, so erhalten wir durch die Mischung der drei Strahlengattungen künstliches Tageslicht.¹⁾ Natürlich kann man auch bei einer Lichtquelle beliebiger Art, etwa wieder einer elektrischen Glühlampe,

1) Durch Änderung der relativen Helligkeitsverhältnisse können wir aus diesen drei Grundfarben jede beliebige Mischfarbe erzeugen. Von dieser Tatsache wird unter anderem bei der Farbenphotographie nach dem additiven Verfahren (Miethe, Lumière usw.) Gebrauch gemacht. Vgl. Graetz, Das Licht und die Farben (MuG Bd. 17) und Kümmel, Photochemie (MuG Bd. 227).

die bei normalem Betrieb ein Licht aussendet, das gelblich gefärbt ist, durch Schwächung der zu stark vertretenen roten und blauen Strahlen ein Licht erhalten, das dem Tageslichte wenigstens sehr ähnlich ist. Für die meisten Zwecke genügt schon die Schwächung der roten und orangefarbenen Strahlen, während die blauen Strahlen, die ohnehin nur schwach vertreten sind, ungeändert bleiben. In der Praxis wird in dieser Weise bei der sogenannten „Vericolampe“ von Sie-

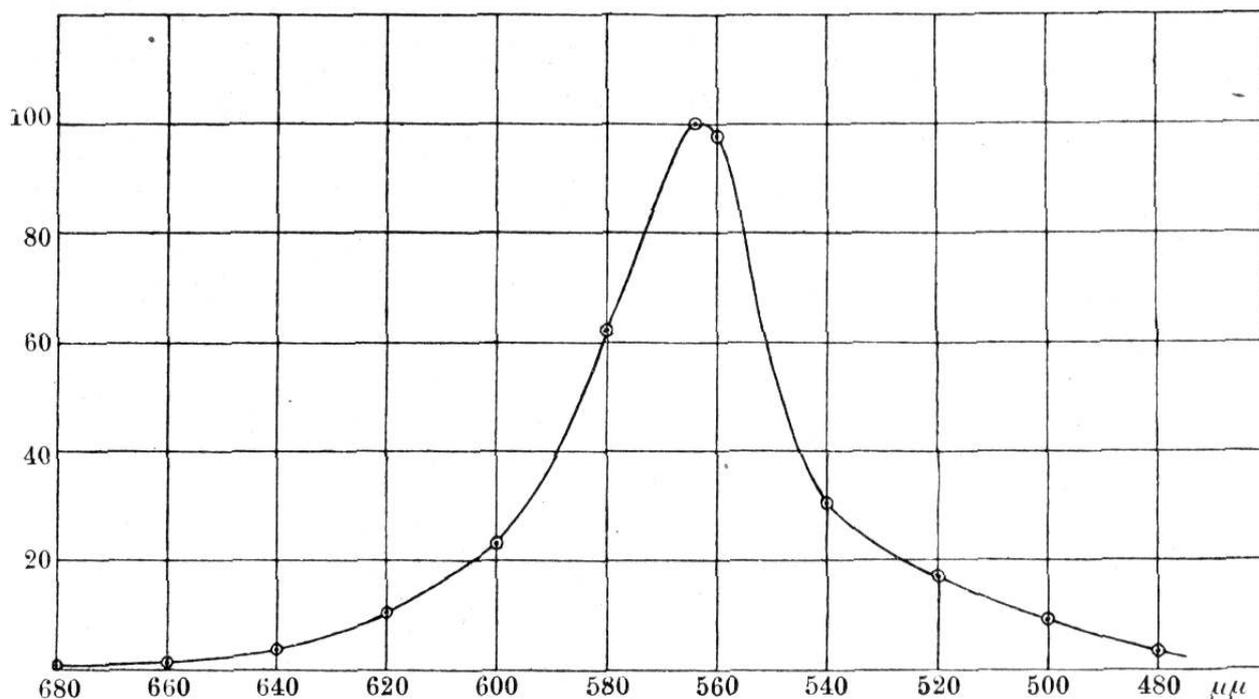


Abb. 1. Relative Empfindlichkeit des Auges für Licht verschiedener Wellenlänge.

mens & Halskeverfahren. Man stellt hier den Glühlampenballon aus einem schwach blaugrün gefärbtem Glase her, so daß die roten Strahlen in ihrer Helligkeit herabgesetzt werden, wobei man wenigstens für die roten und gelbgrünen Strahlen das in Abb. 1 dargestellte Intensitätsverhältnis erreicht und ein Licht erzielt, das sich recht wenig von dem Tageslicht unterscheidet.

In erster Linie kommen für die Lichterzeugung die Temperaturstrahler in Betracht. Die physikalischen Gesetze, die für die Temperaturstrahler gelten, sind also zunächst zu betrachten.

B. Temperaturstrahlung.

Bei den Temperaturstrahlern ist mit der Aussendung der auf das Auge als Licht wirkenden Strahlen die Erzeugung von Wärmestrahlen unloslich verbunden. Die Leuchtwirkung bei den Temperaturstrahlern wird

durch zwei Momente bedingt: erstens durch die Temperatur, bis zu der der leuchtende Körper erhitzt werden kann und zweitens durch seine spezifische Beschaffenheit. Die Leuchtwirkung wächst bei der Temperatursteigerung in erheblich stärkerem Maße als die Temperatur. Das gilt für alle Temperaturstrahler ohne Ausnahme; nur das Verhältnis der Lichtzunahme bei gegebener Temperaturzunahme ist bei verschiedenen Körpern verschieden. Die einzelnen irdischen Stoffe verhalten sich hinsichtlich der Ökonomie der Lichterzeugung bei Temperaturerhöhung sehr verschieden, indem das Verhältnis der emittierten Lichtstrahlen zu den gleichzeitig emittierten Wärmestrahlen sich ändert. Diejenigen Stoffe sind die günstigsten Lichtstrahler, bei denen das Verhältnis der Lichtstrahlen zu den Wärmestrahlen ein Maximum wird.

Zur Erzeugung hoher Temperaturen stehen verschiedene Mittel zur Verfügung. Das älteste Mittel ist die Verbrennung d. h. die Herbeiführung chemischer Verbindung brennbarer Stoffe mit dem Sauerstoff der Luft. Das neuere und vollkommene Mittel ist der elektrische Strom in zwei voneinander wesentlich verschiedenen Anwendungsformen. Im ersteren Falle wird die Stromwärme benutzt, die entsteht, wenn ein elektrischer Strom den Widerstand eines Elektrizitätsleiters überwindet. Im zweiten Falle ist es die Wirkung des elektrischen Lichtbogens, der entsteht, wenn in einem stromdurchflossenen Leiter eine Unterbrechung vorgenommen wird, die Elektrizität also einen Luftwiderstand zu überwinden hat. Von anderen Mitteln hohe Temperaturen zu erzeugen, etwa durch Reibung, kann bei der Behandlung des Beleuchtungswesens Abstand genommen werden.

Zunächst werde davon abgesehen, auf welche Weise ein Körper auf eine höhere Temperatur gebracht wird. Wir nehmen nur an, daß die zur Temperatursteigerung aufgewandte Energie: chemische Arbeit oder Wärme, oder Stromwärme, ihrer Größe nach bekannt sei, und daß sowohl die Temperatur als auch die Strahlung gemessen werden könne. Die verschiedenen Formen der aufgewandten Arbeit können auf das gleiche Maß zurückgeführt werden.¹⁾

- 1) Die Maßeinheit für die
 mechanische Arbeit ist das Meterkilogrammgewicht
 Wärme " die Kalorie
 elektrische Leistung " das Watt
 elektrische Arbeit " die Wattsekunde.

Und zwar bestehen hierbei die folgenden Beziehungen

a) Die Messung der Strahlungsenergie.

Am genauesten läßt sich die elektrische Leistung bzw. Arbeit messen. Es soll deshalb im folgenden die zur Lichterzeugung aufgewandte Leistung bzw. Arbeit immer in Watt bzw. in Wattsekunden oder Wattstunden ausgedrückt werden, gleichgültig in welcher Form die Energie ursprünglich aufgewandt worden ist. Die Temperatur wird in Celsiusgraden angegeben. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen empfiehlt es sich, bei Temperaturangaben und Temperaturmessungen von dem absoluten Nullpunkt auszugehen, der 273° unter der Temperatur des schmelzenden Eises liegt. Die Temperaturgrade erhöhen sich dann also um 273

$$1000^{\circ} \text{ C} = 1273^{\circ} \text{ abs. Temp.}$$

Zur Messung des Lichtes als physiologischer Erscheinung steht uns nur das Auge zur Verfügung. Mit dem Auge können wir aber nur bestimmen, ob eine Lichtquelle heller ist als eine andere. Das ist in einer großen Zahl praktischer Fälle wohl ausreichend, aber nicht in dem vorliegenden Falle, wo es unser Ziel ist, die Ökonomie einer Lichtquelle zu bestimmen, also auszusagen, welcher Anteil der gesamten Strahlung Licht und welcher Wärme- oder elektrische Strahlung ist. Unsere Organe vermögen zwar Licht- und Wärmeempfindungen auseinanderzuhalten aber sie vermögen nicht eine Beziehung zwischen ihren relativen Leistungen aufzustellen. Wir bedürfen also eines Organes, das für alle Ätherwellen gleich reagiert, das also auf die Energiequanten anspricht, die von allen Ätherwellen mitgeführt werden, gleichviel ob es Röntgenstrahlen, ultraviolette Strahlung, Lichtstrahlung oder elektrische Wellen sind. Da die Energiequanten der verschiedenen Wellenlängen einander äquivalent gesetzt werden können, so kann zum Messen

$$1 \text{ Meterfilogrammgewicht} = \frac{1}{427,1} = 0,002341 \text{ Kalorien}$$

$$1 \text{ Kalorie} = 427,1 \text{ Meterfilogrammgewicht}$$

$$1 \text{ Wattsekunde} = 0,2388 \text{ g-Kalorien} = 0,2388 \cdot 10^{-3} \text{ Kalorien}$$

Und übersichtlich zusammengestellt:

	Meterfilogramm	Kalorie	Wattsekunde
1 Meterfilogr. =	1	0,002341	9,806
1 Kalorie =	427,1	1	$4,188 \cdot 10^3$
1 Wattsekunde =	0,10197	$0,2388 \cdot 10^{-3}$	1

MuG 433: Zur, Beleuchtungsmessen

der gestrahlten Energie aller Arten von Ätherwellen jedes Thermometer herangezogen werden, wenn es nur auf sehr geringe von den Ätherwellen transportierte Energiemengen anspielt. Um wie geringe Energiemengen es sich hier handelt, erkennt man daraus, daß nach Angabe Lummers die in der Entfernung von 1 m in das Auge gelangende Energiemenge des Lichtes einer Kerze über ein Jahr lang aufgespeichert werden müßte, um 1 ccm Wasser um 1°C zu erwärmen.

Meßinstrumente, die auf noch weitniedrigere Mengen gestrahlter Energie ansprechen, besitzen wir in der elektrischen Thermosäule, besonders in der von Rubens angegebenen Form, und in dem Bolometer von Lummer und Kurlbaum. Mit diesen Instrumenten vermag man die Temperaturerhöhung von ein hunderttausendstel Grad noch auf wenige Prozente genau zu messen.

Die Rubens'sche Thermosäule besteht aus 20 hintereinandergeschalteten Thermolementen aus Eisen- und Konstantandraht von 0,1 mm Dicke, deren Lötstellen mit dünnsten, geschwärzten Silberplättchen versehen sind. Die auf die Thermosäule auftreffende Strahlung erwärmt die Lötstellen und erzeugt hierdurch eine elektromotorische Kraft, die mittels des Galvanometers nachgewiesen und gemessen wird. Die Bolometer bestehen aus geschwärzten Platinstreifen von $\frac{1}{2}$ bis 1 tausendstel Millimeter Dicke. Die auf das Bolometer auffallende Strahlung erwärmt gleichfalls die Bolometerstreifen. Wegen der starken Änderung des elektrischen Leitungsvermögens des Platins bei Temperaturänderungen wird bei der Bestrahlung eines Bolometerstreifens ein durch diesen hindurchgeandter elektrischer Strom in seiner Stärke geändert. Die Änderung der Stromstärke, die gleichfalls durch ein empfindliches Galvanometer gemessen werden kann, ist dann ein Maß für die Temperaturänderung des Bolometerstreifens bzw. für die Energie der auf das Bolometer auffallenden Strahlung.

Zur Messung kleinster Strahlungsmengen sind neuerdings noch von Elster und Geitel sog. photoelektrische Lichtzellen konstruiert worden, mit denen die Lichtstrahlung einer Kerze noch in einer Entfernung von mehr als 5 km gemessen werden kann.

Die photoelektrische Zelle besteht aus einem evakuierten Glasgefäße, das auf der Innenseite zum Teil mit einer dünnen Schicht von metallischem Kalium bedeckt ist. Diese Kaliumschicht ist mittels eines in die Glaswandung eingeschmolzenen Platindrahtes mit dem negativen Pol einer Akkumulatorenbatterie verbunden. Dicht über dem Kaliumbelag befindet sich ein Platinring, der mit einem eingeschmolzenen Platindrahte zum positiven Pole der Akkumulatorenbatterie führt. Das Glasgefäß ist mit verdünntem Argon gefüllt. Trifft auf die Kaliumschicht Licht, so kann die elektromotorische Kraft der Batterie den Widerstand zwischen Kaliumschicht und Platinring überwinden, und es verläuft im Stromkreise ein elektrischer Strom, dessen Intensität ein Maß für die auftreffende Lichtstrahlung ist.

Mit diesen Strahlungsmessern sind wir imstande, die Energie aller Strahlen zu messen, also nicht nur die der Lichtstrahlen und der Wärmestrahlen, sondern auch die der ultravioletten und der Röntgenstrahlen auf der einen, sowie der elektrischen auf der andern Seite. Bei der Bestimmung der Ökonomie der Lichtquellen kommt der Energiebetrag dieser letztgenannten Strahlengattungen aber kaum in Betracht, so daß wir ihn ganz vernachlässigen und uns auf die Wertung des Verhältnisses zwischen Licht und Wärmestrahlen allein beschränken können. Hierfür gibt es zwei wesentlich voneinander verschiedene Methoden. Nach der ersten Methode wird der Gesamtbetrag aller ausgesandten Strahlen und dann der Energiebetrag aller Lichtstrahlen zwischen $0,4$ und $0,8 \mu$ für sich bolometrisch gemessen. Nach der zweiten Methode wird jeder Wellenlängenbezirk für sich bolometrisch ausgewertet und aus den Messungsergebnissen eine Strahlungskurve konstruiert, die anschaulich zeigt, wie sich die Energie auf verschiedene Wellen verteilt. Die erstere Methode genügt für die Praxis, die zweite Methode ist jedoch für die Erforschung der Strahlungsgesetze von grundlegender Bedeutung geworden.

b) Die Methode der Gesamtstrahlungen.

Von Ungström wird in der Weise verfahren, daß mit dem Spiegelspektroskop (Abb. 2 auf Seite 17) ein Spektrum der zu untersuchenden Lichtquelle entworfen und aus diesem mit einer Blende das sichtbare Spektrum herausgeschnitten wird. Eine Zylinderlinse vereinigt die sichtbaren Strahlen dann wieder zu weißem Lichte. Dieses von allen unsichtbaren Strahlen freie Spaltbild wird bolometriert. Der gemessene Wert gibt unter Berücksichtigung der Absorptionsverluste durch die Zylinderlinse die Energie der Lichtstrahlung. Ebenso wird die Gesamtstrahlung bolometrisch gemessen. Die Differenz: Gesamtstrahlung minus Lichtstrahlung ergibt im wesentlichen die Wärmestrahlung. Damit sind alle Daten zur Wertung der Ökonomie einer Lichtquelle gegeben.

Einfacher, freilich auch ungenauer, ist die Benutzung von Strahlenfiltern. Wasser in dickerer Schicht absorbiert alle Strahlen, die eine größere Wellenlänge als $\lambda = 1,1 \mu$ besitzen. Gewisse Salzlösungen, insbesondere Kupferchlorid in 3,5 prozentiger Lösung, absorbieren praktisch alle Strahlen mit einer Wellenlänge von mehr als $0,8 \mu$. Kennt man dann noch die Größe des Lichtverlustes beim Durchgange durch ein derartiges Strahlenfilter, so kann man sehr leicht bolometrisch das

Verhältnis zwischen Lichtstrahlung und Wärmestrahlung feststellen. In dieser Weise arbeitete der Verfasser unter Benutzung einer konzentrierten Lösung von Ferro-Ammonium-Sulfat.¹⁾

Wie später W. W. Coblenz nachgewiesen hat,²⁾ läßt die Lösung von Ferro-Ammonium-Sulfat noch Wärmestrahlen durch, der Betrag ist aber nur gering, so daß die von dem Verfasser gewonnenen Daten für eine große Zahl verschiedener Lichtquellen doch immerhin als Näherungswerte Bedeutung haben. Es ergab sich beispielsweise, daß bei der gewöhnlichen Petroleumlampe die Lichtstrahlung nur 0,25% des ganzen Energieverbrauches, bei Gasglühlicht 0,5%, bei der elektrischen Kohlenfadenlampe 2,1%, bei der Osramlampe 5,4%, bei der gelben Flammenbogenlampe dagegen 15% betrug. Eine vollständige Zusammenstellung der einzelnen Werte wird am Schlusse dieses Bändchens gegeben werden.

c) Die Energieverteilung im Spektrum einer Lichtquelle.

Von grundlegender Bedeutung für die wissenschaftliche Vertiefung des Beleuchtungswesens ist die Messung der Energieverteilung im Spektrum einer Lichtquelle gewesen. Diese Untersuchungen sind in der Physik.-Techn.-Reichsanstalt vor allem von Otto Lummer und seinen Mitarbeitern durchgeführt worden.³⁾ Zur Messung der Energieverteilung im Spektrum dient das in Abb. 2 schematisch dargestellte Spiegelspektroskop. Die von einer Lichtquelle *L* ausgehenden Strahlen passieren den Spalt *S* und fallen auf einen silbernen Hohlspiegel *I* auf, der sie parallel macht. Die parallelen Strahlen werden von einem Steinsalz- oder Sylvinprisma *P* in ihre Elementarbestandteile zerlegt. Von einem zweiten Hohlspiegel *II* wird dann in seiner Brennebene *B* ein Spektrum entworfen, das durch die Lupe *O* betrachtet werden kann. Bringt man in der Brennebene eine lineare Thermosäule oder ein Bolometer an, so läßt sich die Energie von Spektralbezirk zu Spektralbezirk fortschreitend messen.

Die Untersuchung einer Kohlenfadenglühlampe liefert so eine Energiekurve (Abb. 3), die darstellt, wie sich bei ihr die ausgesandte Energie von

1) Zeitschrift für Beleuchtungswesen 1907, S. 165 u. ff.

2) Zeitschrift für Beleuchtungswesen 1911, S. 319.

3) Otto Lummer, Die Ziele der Leuchttechnik. München und Berlin, R. Oldenburg. 1903. Derselbe, Wissenschaftliche Grundlagen zur ökonomischen Lichterzeugung. Zeitschrift für Beleuchtungswesen 1904. Heft 1 u. ff.

Welle zu Welle ändert. Als Abszisse sind die Wellenlängen, als Ordinaten die gestrahlten Energien in willkürlichem Maße eingetragen.

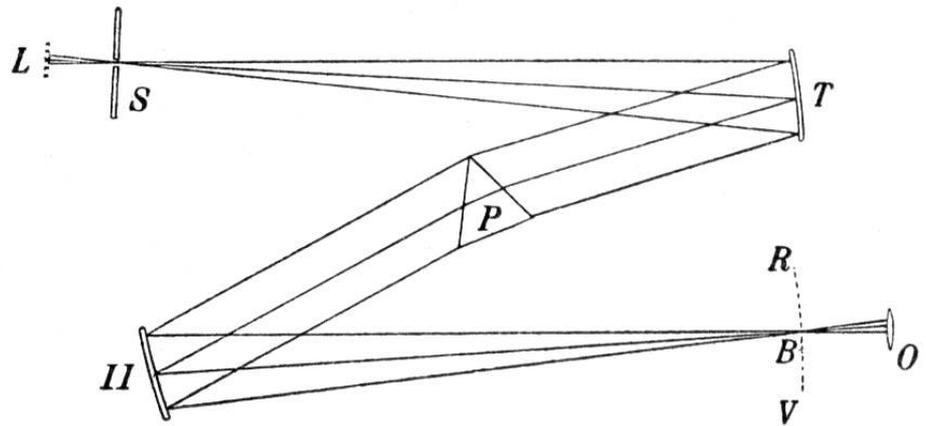


Abb. 2. Strahlengang im Spiegelspektroskop.

Mit wachsender Wellenlänge

steigt die Energiekurve sehr steil an, bei etwa $1,4 \mu$ erreicht sie ihren höchsten Punkt, hier findet also das Maximum der Energiestrahlung statt. Rechts von dem Maximum fällt die Energiekurve allmählich wieder ab. Die schraffierte Fläche gibt die Lichtenergie, die übrige von der Kurve begrenzte Fläche gibt die nicht sichtbare Strahlungsenergie an. Man erkennt auf einen Blick, daß die sichtbare Strahlenenergie im wesentlichen die gestrahlte Wärme, um ein Vielfaches die Lichtstrahlung übertrifft. Besonders charakteristisch für die Strahlungsverhältnisse der Glühlampe ist aber die Tatsache, daß das Maximum der Strahlungsenergie durchaus in das unsichtbare Gebiet fällt, daß also die Glühlampe ein ausgezeichnete Wärme- aber ein miserabler Lichtstrahler ist. Offenbar würden sich die Verhältnisse sofort umkehren oder wenigstens für die Lichtstrahlung wesentlich verbessern, wenn ähnlich wie bei der Strahlungskurve in Abb. 1 das Maximum der Strahlungsenergie in das sichtbare Gebiet hineinrücken würde. Die Aufgabe, die die Technik zu lösen hat, besteht also darin, Mittel für die Verschiebung des Strahlungsmaximums nach dem sichtbaren Teile des Spektrums aufzusuchen.

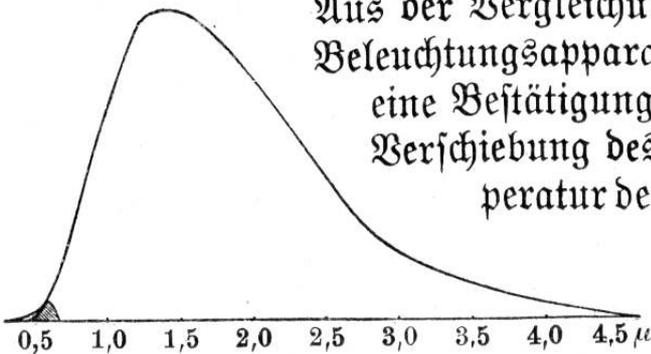


Abb. 3. Verhältnis der Energie der Lichtstrahlung (schraffierte Fläche) zur Gesamtstrahlung bei einer 4 Watt-Glühlampe.

Aus der Vergleichung der Energiekurven verschiedener Beleuchtungsapparate untereinander ergab sich zunächst eine Bestätigung der Vermutung, daß die erwähnte Verschiebung des Strahlenmaximums mit der Temperatur der Strahler im Zusammenhange stehen müsse. Aus diesem Grunde wurden von Lummer und Pringsheim systematische Versuche in dieser Richtung angestellt, indem strahlende Körper, deren Temperatur genau bestimmt

werden konnte, bei verschiedenen Temperaturen auf ihre Strahlungseigenschaften genau untersucht wurden.

Den Anfang machte die Untersuchung des durch Stromwärme erhitzten Platins. Hierbei wurde festgestellt, 1.) daß mit steigender Temperatur die Energie aller Wellen zunimmt, wobei sich das Maximum der Strahlung immer mehr nach der sichtbaren Seite des Spektrums verschiebt, daß also mit der Temperatur die Energie der kurzen Wellen schneller zunimmt als die der längeren. Dieses Ergebnis steht durchaus in Übereinstimmung mit der alten Erfahrung, daß bei Steigerung der Glühhitze ein glühender Platindraht aus der Dunkelglut zur Rotglut und schließlich zur Weißglut übergeht, d. h. daß sich den ursprünglich weit überwiegenden dunklen und roten Lichtwellen allmählich immer mehr gelbe und blaue hinzugesellen, bis weißes Licht entsteht. 2.) Aus den Energiekurven des bei verschiedenen Temperaturen glühenden Platins ersah man dann weiter, daß infolge der Verschiebung der Energiemaxima nach dem sichtbaren Teile des Spektrums die Ökonomie der Lichterzeugung ungleich schneller als die Temperatur anstieg. Eine Steigerung der Temperatur von 800° abs. auf 820° steigerte die Helligkeit um mehr als das Doppelte, erhöhte man die Temperatur auf das Doppelte, so wuchs die Helligkeit um das Viertausendfache.

Die Ermittlung der Strahlungsgesetze des Platins ist zunächst noch von geringer praktischer Bedeutung, denn Platin stellt nur einen Spezialfall der zahllosen verschiedenen Temperaturstrahler dar. Es mußten deshalb die Strahlungsgesetze eines solchen Körpers untersucht werden, der alle Spezialfälle umschließt. Ein solcher Körper ist der „absolut schwarze Körper“ G. Kirchhoffs. Ein absolut schwarzer Körper existiert nun in der Natur allerdings nicht; aber seine Realisierung mußte von fundamentaler Bedeutung werden, denn durch ihn konnte nicht nur das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz verifiziert werden, sondern es mußten sich durch sein Studium die Bedingungen ausfindig machen lassen, denen ein Leuchtkörper zu genügen hat, wenn er die günstigste Ökonomie liefern sollte.

Das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz sagt aus, daß ein Körper bei jeder Temperatur vorzugsweise diejenigen Wellenarten aussendet, die er bei der gleichen Temperatur absorbiert. Ein Körper, der bei den höchsten Temperaturen Lichtstrahlen ungeschwächt durchläßt, wie etwa eine Bunsenflamme oder eine Knallgasflamme, kann also nicht leuchten. Und umgekehrt muß der Körper am meisten Licht aussenden, der am meisten Licht zu absorbieren vermag,

also Lichtwellen weder durchläßt noch reflektiert. Ein Körper, der bei gewöhnlicher Temperatur diese Eigenschaft besitzt, erscheint uns schwarz. Ein Körper von der Eigenschaft, alle Strahlen absorbieren zu können, und zwar bei jeder Temperatur, wird dementsprechend „absolut schwarz“ genannt. — Aus dem Kirchhoffschen Gesetze sind aber auch die Bedingungen für die maximale Ökonomie eines strahlers abzuleiten. Er muß die Eigenschaft haben, Lichtstrahlen vollkommen zu absorbieren, dagegen alle anderen Strahlen, insbesondere die Wärmestrahlen, vollkommen zu spiegeln oder ungeschwächt durchzulassen. Ein solcher Körper wird nur Lichtstrahlen aussenden.

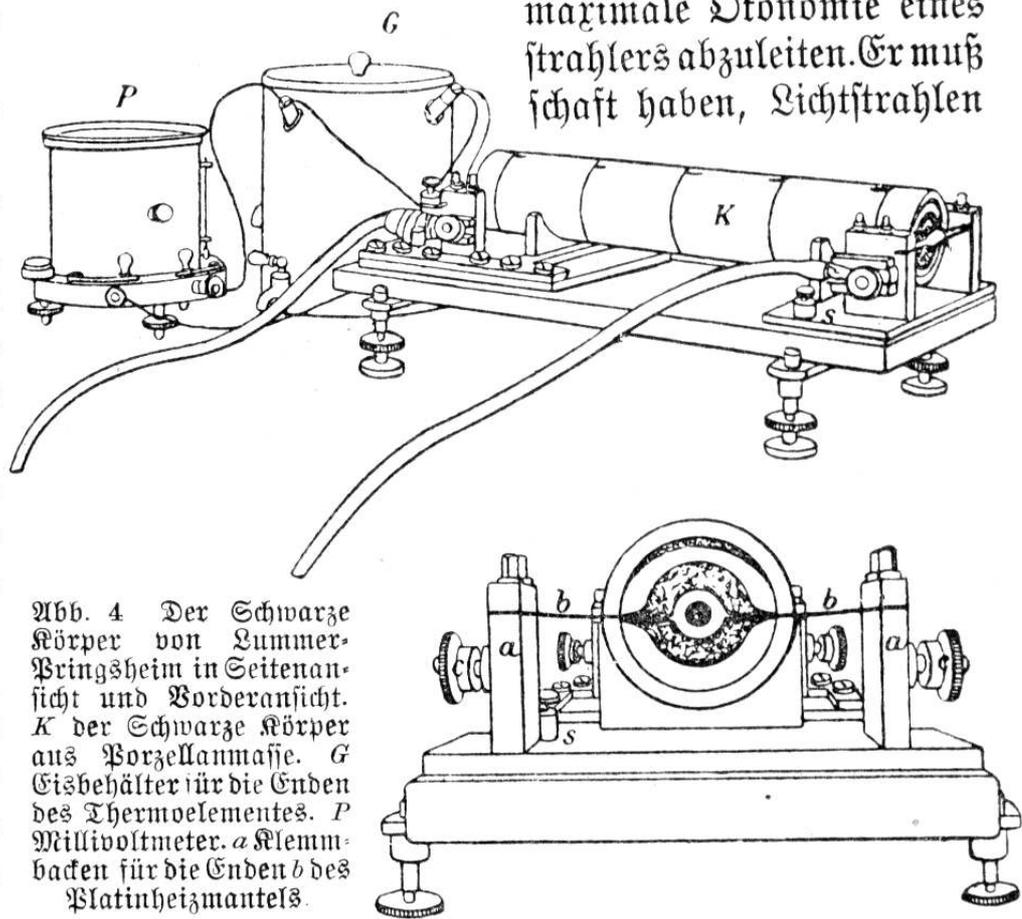


Abb. 4 Der Schwarze Körper von Lummer und Pringsheim in Seitenansicht und Vorderansicht. *K* der Schwarze Körper aus Porzellanmasse. *G* Eisbehälter für die Enden des Thermoelements. *P* Millivoltmeter. *a* Klemmblocken für die Enden *b* des Platinheizmantels.

Durch einen Kunstgriff gelang es nun Lummer und W. Wien, den „absolut schwarzen Körper“, den Maximalstrahler experimentell zu verwirklichen. Läßt man Strahlen irgendwelcher Art in einen Hohlraum mit kleiner Öffnung so hineinfallen, daß im Inneren des Hohlraumes zahlreiche Reflexionen stattfinden müssen, so kann nur ein ganz verschwindender Bruchteil der hineingesandten Strahlen wieder austreten. Dieser Teil wird noch vermindert, wenn man die Innenfläche des Hohlraumes an und für sich schon durch einen Überzug von Eisenoxyd, Uranoxyd usw. stark absorbierend macht. Der Hohlraum repräsentiert also nahezu vollkommen den absolut schwarzen Körper. Und umgekehrt: Bringt man einen mit kleiner Öffnung versehenen Hohlraum auf eine überall gleichmäßige Temperatur, so dringt aus der Öffnung die dieser Temperatur entsprechende schwarze Strahlung.

Der im Anschluß an die Lummer-Wienschens Vorarbeiten von Lummer und Kurlbaum konstruierte „Schwarze Körper“ ist in Abb. 4 abgebildet. Es besteht aus einem innen geschwärzten Porzellanrohre, das mehrere Diaphragmen im Innern und eine enge Austrittsöffnung besitzt. Das Porzellanrohr ist von einem Platinmantel umgeben, der durch Stromwärme erhitzt werden kann. Die Temperatur des Hohlraumes wird durch ein in diesen eingeführtes Platin-Platinrhodium-Thermoelement gemessen. — Ein derartiger schwarzer Körper läßt Untersuchungen bis zu Temperaturen von 1550°C zu. Für noch höhere Temperaturen dienten Kohlerohre, die direkt durch Stromdurchgang bis über 2000° hinaus erhitzt werden konnten.

d) Die Energieverteilung im Spektrum des Schwarzen Körpers.

Eine Schar von Energiekurven, wie sie von Lummer und Pringsheim bei der spektralbolometrischen Untersuchung des Schwarzen Körpers gefunden worden sind, ist in Abb. 5 abgebildet. Die einzelnen Kurven sind bei den eingeschriebenen Temperaturen in derselben Weise gewonnen worden wie bei der Untersuchung der elektrischen Glühlampe. (Seite 17.)

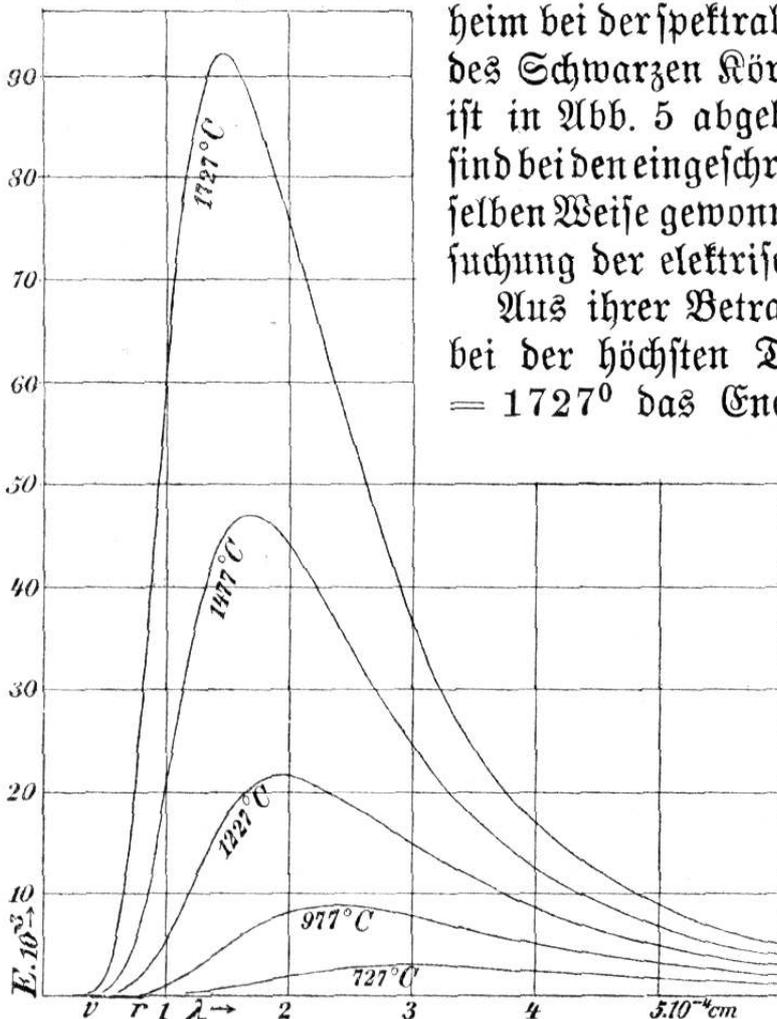


Abb. 5. Energiekurven des Schwarzen Körpers bei verschiedenen Temperaturen.

Aus ihrer Betrachtung ergibt sich, daß selbst bei der höchsten Temperatur von 2000° abf. = 1727° das Energiemaximum noch im Bereiche der nichtleuchtenden Wärmestrahlung liegt. Auf das sichtbare Gebiet fällt nur ein Bruchteil der gesamten gestrahlten Energie. Dieses Gebiet ist auf der Abszissenachse durch die Strecke ν bis r (violett bis rot) angedeutet. Bei heller Rotglut 1250° abf. = 977°C ist der Flächeninhalt, der die Wärmestrahlung repräsentiert, etwa 1000 mal größer und

Bei heller Rotglut 1250° abf. = 977°C ist der Flächeninhalt, der die Wärmestrahlung repräsentiert, etwa 1000 mal größer und

bei den höchsten Temperaturen noch immer 100 mal größer als der die Lichtstrahlung repräsentierende Flächenteil. „Diesen enormen Energieverlust kann man nur dadurch verkleinern, daß man statt des schwarzen Körpers einen Stoff strahlen läßt, bei dem das Verhältnis der Lichtfläche der Energiekurven zur Wärmefläche günstiger ist, oder besser ausgedrückt, der im Vergleich zum Lichte weniger Wärme ausstrahlt.“ Der Schwarze Körper ist also die denkbar unökonomischste Lichtquelle. Demgegenüber ist schon das erhitzte Platin eine wesentlich ökonomischere Lichtquelle. „Gäbe es einen ‚idealen‘ Strahler, der für die Lichtstrahlen ‚absolut schwarz‘ dagegen für alle anderen Strahlen ‚absolut spiegelnd‘ wäre, so würde dieser bei Rotglut 1000 mal weniger Energie und bei Weißglut immer noch 100 mal weniger Energie verbrauchen, als der absolut schwarze Körper gleicher Temperatur.“ Ein Körper, der nicht schwarz, sondern bei einer bestimmten Temperatur irgendwie gefärbt ist, sendet bei dieser Temperatur vornehmlich die seiner Farbe entsprechenden Strahlen aus. Er strahlt selektiv. Die Ökonomie der Lichterzeugung wird mit einem farbigen Strahler ungleich besser als beim Schwarzen Körper. Die Messung der Temperatur unserer Lichtquellen wurde durch die Formulierung und Verifizierung des Strahlungsgesetzes des absolut schwarzen Körpers ermöglicht.

e) Die Strahlungsgesetze des absolut schwarzen Körpers.¹⁾

Aus dem Kirchhoffschen Strahlungsgesetz ist von Stefan auf Grund von Strahlungsmessungen ein Fundamentalgesetz empirisch abgeleitet worden, das später von Boltzmann unter Zugrundelegung der elektromagnetischen Lichttheorie bewiesen worden ist. Dieses Stefan-Boltzmannsche Strahlungsgesetz sagt aus:

1. Die gesamte Energie der schwarzen Strahlung ist proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur

$$S = \sigma T^4,$$

worin σ eine Konstante ist, die im absoluten Maße gemessen den Wert

$$\sigma = 5,32 \cdot 10^{-12} \text{ Watt/cm}^2 = 1,28 \cdot 10^{-11} \frac{\text{gr. Cal}}{\text{cm}^2 \text{ sec}}^2)$$

1) Vgl. Grebe, Die Spektroskopie (MuG Bd. 284).

2) Dieser Wert ist von Kurlbaum bestimmt worden. Zummer und Pringsheim hatten ihn früher zu $\sigma = 1,238 \cdot 10^{-12} \frac{\text{gr. Cal}}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$ bestimmt. Neuerdings ist

hat, wenn unter S die zur Halbkugel gestrahlte Energie verstanden wird. Die Richtigkeit dieses Gesetzes ist durch Messungen am Schwarzen Körper unzweifelhaft bestätigt worden. Die Untersuchung der Strahlung des Schwarzen Körpers, insbesondere die Ermittlung der Energiekurven bei verschiedener Temperatur durch Lummer und Pringsheim, gaben dann Wien Anlaß, auf thermodynamischer Grundlage sein berühmtes Verschiebungsgesetz abzuleiten. Dieses Verschiebungsgesetz enthält zwei für die Beleuchtungstechnik besonders wichtige Gesetze, die folgendermaßen formuliert werden können:

2. Die Wellenlänge, bei der das Maximum der Energiestrahlung stattfindet, ist der absoluten Temperatur umgekehrt proportional, oder auch das Produkt aus der Wellenlänge, bei der das Maximum der Energiestrahlung stattfindet und die absolute Temperatur hat einen konstanten Wert; oder symbolisch ausgedrückt:

$$\lambda_{\max} \cdot T = C_1$$

Die Konstante hat nach neueren Untersuchungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt den Wert:

$$C_1 = 2894 \pm 8^1)$$

Aus diesem Gesetze folgt, daß sich mit steigender Temperatur das Energiemaximum nach den kurzwelligeren Strahlen des Spektrums verschiebt. Aus der mit steigender Temperatur sich immer mehr nach links verschiebenden Stellung des Energiemaximums in Abb. 5 ist dieses „Verschiebungsgesetz“ unmittelbar abzulesen.

Das zweite Wiensche Gesetz sagt aus:

3. Das Maximum der gestrahlten Energie ist proportional der fünften Potenz der absoluten Temperatur

$$S_{\max} = C_2 \cdot T^5.$$

Diese Konstante hat nach Kohlrausch²⁾ den Wert

$$C_2 = 2,87 \cdot 10^{-12}.$$

von W. Gerlach der Wert zu $\sigma = 5,90 \cdot 10^{-12}$ Watt/cm² bestimmt worden. Ann. d. Phys. IV. Folge Bd. 30, S. 489. 1912 u. Bd. 41, S. 112. 1913.

1) Lummer und Pringsheim hatten den Wert der Konstante zu $C_1 = 2940$ bestimmt. Für das strahlende Platin ist nach denselben Autoren die Konstante $C'_1 = 2630$.

2) Kohlrausch, Lehrbuch d. Prakt. Physik. S. 362. Leipzig und Berlin. B. G. Teubner, 1910.

Die praktische Bedeutung dieser beiden Gesetze ist sofort zu übersehen, denn sie geben die Mittel an die Hand, die Ökonomie unserer Lichtquellen zu verbessern. Angenommen man erhöhe die Temperatur eines Strahlers von 1500° abs. auf 3000° abs., so wird die maximale Energiestrahlung von 1 auf $2^5 = 32$ erhöht. Zugleich aber findet nach dem zweiten Strahlungsgesetz eine Verschiebung des Energiemaximums nach dem sichtbaren Gebiete zu statt.

Bei 1500° abs. liegt das Maximum der Energiestrahlung bei

$$\lambda_{\max} = \frac{2894}{1500} = 1,93 \mu,$$

bei 3000° abs. dagegen bei:

$$\lambda_{\max} = \frac{2894}{3000} = 0,965 \mu;$$

es ist also dem sichtbaren roten Ende des Spektrums schon sehr nahe gerückt. Um das Energiemaximum bis in das sichtbare Rot bei $0,8 \mu$ hineinzubringen, müßte eine Temperaturerhöhung bis auf 3617° abs. = 3344° C erfolgen. Und damit das Strahlungsmaximum auf $0,53 \mu$ fallen kann, wo unser Auge das Maximum der Lichtempfindlichkeit besitzt, müßte die Temperatur des Schwarzen Körpers auf 5460° abs. = 5187° C gebracht werden, und die maximale Energiestrahlung würde den 640 fachen Betrag der Strahlung bei 1500° erreichen.

Die gesamte als Licht empfundene Helligkeit ändert sich noch erheblich schneller mit der Temperatur als das Energiemaximum. Sind H_1 und H_2 die beiden relativen Helligkeiten und T_1 und T_2 die beiden zugehörigen absoluten Temperaturen, so kann die Beziehung

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^x$$

aufgestellt werden, worin x selbst eine von der Temperatur abhängige Funktion ist. In der Nähe der Rotglut ist $x = 30$, bei hoher Weißglut $x = 14$. Anscheinend nähert sich x asymptotisch dem Werte 12. Bei der Strahlung des Schwarzen Körpers wurden von Lummer und Pringsheim als Lichtstärke für 1 qmm strahlender Fläche gefunden

bei 1500° C	etwa	0,1 HK
„ 1700° C	„	0,5 „
„ 1800° C	„	1,0 „

Bei einer Steigerung der Temperatur von 2000° auf 4000° würde die Lichtstärke eines Strahlers von 1 auf 4000 anwachsen. Die Sonne,

die bei 5788° glüht, übertrifft eine gewöhnliche Kohlenfadenglühlampe an Helligkeit pro Flächeneinheit um das 600 000 fache.

4. Die Wien-Plancksche Strahlungsgleichung. Die bei der Untersuchung der Strahlungsgesetze des Schwarzen Körpers von Lummer und Pringsheim dargestellte Kurvenschar (Abb. 5.) gab W. Wien das experimentelle Material zur Aufstellung einer Spektralgleichung für die Energieverteilung, die aussagt, wie sich bei jeder beliebigen Temperatur die Energiestrahlung von Wellenlänge zu Wellenlänge ändert. Diese Gleichung lautet

$$S_{\lambda} = \frac{C\lambda^{-5}}{e^{c/\lambda T}}.$$

Hierin bedeutet C eine Instrumentalkonstante, c eine Naturkonstante, S_{λ} ist die Kirchhoffsche Strahlungsfunktion, T die absolute Temperatur, λ die Wellenlänge und e die Basis der natürlichen Logarithmen. Die Wiensche Gleichung ist für kürzere Wellenlänge, also im sichtbaren Gebiete bis zu den höchsten Temperaturen richtig. Für größere Wellenlänge deckt sie nicht die Beobachtungsergebnisse. Daher entschloß sich Planck, der ursprünglich die Wiensche Gleichung auf elektromagnetischer Grundlage unter Heranziehung des Entropiesatzes zu stützen versucht hatte, zu einer neuen Herleitung und gelangte zu der modifizierten Form:

$$S_{\lambda} = \frac{C\lambda^{-5}}{e^{c/\lambda T} - 1}.$$

Nach neueren Bestimmungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt hat hierin die Naturkonstante c den Wert $c = 14370^1$). Die Aufstellung der Wien-Planckschen Spektralgleichung ist für die Praxis des Beleuchtungswesens außerordentlich fruchtbar geworden, denn sie gestattet es, die Temperatur einer Lichtquelle durch rein optische Beobachtungen auf die Temperatur eines Schwarzen Körpers von gleicher Intensität der Lichtstrahlung in einem bestimmten Wellenlängenbezirke zurückzuführen. Die Strahlung eines gleichmäßig temperierten Hohlraumes, wie z. B. eines Hochofens, einer Bessmerbirne, eines Thomas-Martinofens, eines Glaswannenofens usw. kann sogar bis auf wenige Grade genau rein optisch gemessen werden, weil die Hohlraumstrahlung mit der absolut schwarzen Strahlung nahezu identisch ist.

1) Annalen der Physik, IV. Bd. 40. S. 609 ff. 1913.

f) Die Strahlungsgesetze des Platins.

Analoge Strahlungsgesetze wie für den Schwarzen Körper gelten auch für andere Temperaturstrahler, die zwar nicht absolut schwarz sind, die also die auffallenden Strahlen nicht vollkommen absorbieren, sondern teilweise reflektieren. Wenn alle Wellen im gleichen Verhältnis reflektiert werden, so kann man diese Temperaturstrahler nach dem Vorgange Lummers „Graue Körper“ nennen. Ob ein Temperaturstrahler als „Grauer Körper“ angesprochen werden kann, ersieht man aus der Aufnahme der Energiekurven; im Falle des „Grauen Körpers“ müssen sie den gleichen Verlauf haben, wie die des „Schwarzen Körpers“, wobei natürlich die Energiewerte in allen Spektralbezirken um den gleichen Betrag vermindert sind.

Für die Strahlung des reinen Platins haben Lummer und Pringsheim die folgenden Beziehungen aufgestellt:

1. Die Gesamtstrahlung ist proportional der fünften Potenz der absoluten Temperatur

$$S = C \cdot T^5.$$

2. Die Wellenlänge, bei der das Maximum der Energiestrahlung stattfindet, ist der absoluten Temperatur umgekehrt proportional

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{Const.} = 2630.$$

3. Das Maximum der gestrahlten Energie ist proportional der sechsten Potenz der absoluten Temperatur

$$S_{\max} = \text{Const.} T^6.$$

Die Aufstellung der Strahlungsgesetze des Platins ist in Verbindung mit den Strahlungsgesetzen des Schwarzen Körpers von sehr großer Bedeutung geworden. Platin strahlt wie ein „Grauer Körper“ und ist gegenüber dem Schwarzen Körper als „Minimalstrahler“ anzusehen. Die Eigenschaften der meisten Temperaturstrahler liegen zwischen den des grauen und des schwarzen Körpers, so daß die aus den Strahlungsgesetzen abgeleiteten Temperaturen der Lichtquellen zwischen die des Schwarzen Körpers und des glühenden Platins von gleicher Helligkeit eingeschlossen werden können.

g) Die Strahlungstheoretischen Methoden der Temperaturbestimmung leuchtender Körper.

Die außerordentliche Wichtigkeit genauer Temperaturbestimmungen für die gesamte Technik läßt es wünschenswert erscheinen, die neueren

Methoden der Temperaturbestimmung wenigstens andeutungsweise zu berühren.

In der Technik hat die größte Bedeutung das Wanner'sche Pyrometer gefunden, bei dem die Temperaturbestimmung, entsprechend der Wienschen Spektralgleichung, auf die Vergleichung von Helligkeiten in einem bestimmten Spektralbezirke zurückgeführt wird. Im sichtbaren Gebiete ist nämlich ein Helligkeitsverhältnis identisch mit einem Energieverhältnisse. Die Messung kann mit jedem beliebigen Spektralphotometer durchgeführt werden. Das Wanner'sche Pyrometer ist ein vereinfachtes Spektralphotometer mit grad-sichtigem Prisma, das die Helligkeitsvergleichung in nur einem einzigen Spektralbezirke, nämlich bei $\lambda = 0,6563 \mu$, gestattet. Als Vergleichslichtquelle dient eine kleine elektrische Glühlampe von konstant gehaltener Lichtstärke, die so einreguliert wird, daß bei einer bestimmten Temperatur des Schwarzen Körpers, etwa bei der Temperatur des schmelzenden Goldes $T = 1064^\circ \text{C} = 1337^\circ \text{abs.}$ Helligkeitsgleichheit zwischen der Lichtstrahlung des Schwarzen Körpers und der Glühlampe vorhanden ist. Visiert man dann den Körper an, dessen Temperatur zu bestimmen ist, so läßt sich nach der Wienschen Strahlungsgleichung aus seiner Helligkeit gegenüber der der Hilfslichtquelle sofort dessen absolute Temperatur berechnen oder aus einer Tabelle ablesen. Bei einzelnen Ausführungen des Wanner'schen Pyrometers kann die gemessene Temperatur direkt an der zur Einstellung der Helligkeitsverhältnisse benutzten Skala abgelesen werden, Selbst bei so verschiedenen Strahlern, wie sie durch den Schwarzen Körper einerseits und blankes Platin andererseits repräsentiert werden, stellen sich bei Temperaturmessungen in der Nähe des Platinschmelzpunktes (1780°C) keine größeren Differenzen als etwa 150° ein, der Fehler beträgt also weniger als 1% ; bei höheren Temperaturen ist der Fehler noch geringer. Bestimmt man die Temperatur von Hohlräumen, wie von Hochöfen, Martinöfen, Glaswannenöfen usw., in denen nahezu schwarze Strahlung vorhanden ist, so gibt die optisch bestimmte Temperatur bis auf $\frac{1}{2}\%$ genau die wahre Temperatur an. Der Meßbereich des Wanner'schen Pyrometers reicht von 1200 bis 2000° und unter Benutzung von Rauchgläsern zur Schwächung des Lichtes der anvisierten Leuchtfläche bis zu ca. 7000° .

Noch einfacher arbeitet das optische Pyrometer von Morse, das unabhängig von diesem auch von Holborn und Kurlbaum fast gleichzeitig angegeben worden ist. An Stelle der brechenden Prismen zur Einstellung eines bestimmten Wellenlängenbezirkes dienen hier farbige Gläser, die nur Strahlen bestimmter Wellenlänge durchlassen. Das ganze Pyrometer besteht aus einem schwach vergrößernden Fernrohr, in dessen Brennebene eine kleine Glühlampe angeordnet ist, und einer vor das Okular vorzuschlagenden farbigen Glasplatte. Blickt man durch das Fernrohrfokular nach der Leuchtfläche, deren Temperatur zu bestimmen ist, so hebt sich von dieser zunächst der Glühfaden der Glühlampe ab. Man reguliert nun den Strom der Glühlampe so lange, bis deren Glühfaden auf der Leuchtfläche verschwunden ist. Glühfaden und Leuchtfläche haben dann dieselbe Temperatur. Aus der Stromstärke des Glühlampen-Betriebsstromes und aus einer dem Pyrometer beigegebenen, durch Eichung am Schwarzen Körper gewonnenen Tabelle kann man dann die ge-

messene Temperatur unmittelbar ablesen. Der Meßbereich dieses Pyrometers geht von 900 bis 2000°, und unter Benutzung von lichtschwächenden Prismen von 900 bis 4000°.

Auf die Benutzung des Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetzes $S = \sigma T^4$ geht das Pyrometer von Féry zurück. Mit einer Thermosäule (oder einem Bolometer) vergleicht man in Galvanometerauschlägen die Gesamtstrahlung des Schwarzen Körpers bekannter Temperatur T_1 mit der Gesamtstrahlung des Körpers von der zu bestimmenden Temperatur T und erhält diese dann aus der Beziehung

$$T = \sqrt[4]{\frac{S}{S_1}} T_1.$$

Der Meßbereich dieser Pyrometer reicht bis 4000°.

Theoretisch am einfachsten ist die Temperaturmessung auf Grund des Wienschen Verschiebungsgesetzes. Man hat mit einem Spektralbolometer nur festzustellen, in welchem Spektralbezirke das Strahlungsmaximum vorhanden ist und erhält dann die Temperatur des strahlenden Körpers aus der Beziehung:

$$T = \frac{2894}{\lambda_{\max}}.$$

In der experimentellen Durchführung stellen sich bei dieser Methode jedoch erhebliche Schwierigkeiten ein. Sie hat deshalb auch nur wissenschaftliches Interesse. Mit Hilfe der beiden Beziehungen $\lambda_{\max} \cdot T = 2894$ für den Schwarzen Körper und $\lambda_{\max} \cdot T = 2630$ für das blanke Platin kann man aber die Temperatur eines strahlenden Körpers zwischen zwei Grenzen einschließen, die nicht sehr weit auseinander liegen. Für die Temperatur der Sonne, wenn man sie als Schwarzen Körper auffaßt, gilt:

$$T = \frac{2894}{0,5} = 5788^\circ \text{ abs.} = 5515^\circ \text{ C,}$$

und faßt man sie als blankes Platin auf:

$$T = \frac{2630}{0,5} = 5260^\circ \text{ abs.} = 4987^\circ \text{ C.}$$

C. Lumineszenzleuchten.

Von der Temperaturstrahlung unterscheidet sich das Lumineszenzleuchten vor allem dadurch, daß hier die Lichtstrahlung mit einer sehr geringen Wärmestrahlung verbunden ist. Während bei einer elektrischen Kohlenfadenlampe beispielsweise die Lichtstrahlung nur einen verschwindenden Bruchteil der Gesamtstrahlung ausmacht (vgl. Abb. 3), liegt bei dem klassischen Vertreter des Lumineszenzleuchtens, dem Glühwürmchen, das Verhältnis gerade umgekehrt. Fast der völlige Betrag der Gesamtstrahlung ist Lichtstrahlung wie aus Abb. 6 sofort zu ent-

nehmen ist.¹⁾ Der Leuchteffekt des Glühwürmchens wird zu 96 % berechnet, verglichen mit 0,4 % für die Kohlenfadenlampe und etwa 5,4 % für die wirksamsten Temperaturstrahler, er ist also sehr hoch. Allerdings liegt das Licht des Glühwürmchens fast ganz im gelbgrünen Teile des Spektrums mit einem Maximum bei $0,57\mu$ und einer Ausdehnung zwischen $0,51$ und $0,67\mu$. Hinsichtlich der Ökonomie der Licht-

erzeugung steht das Glühwürmchen ganz unübertroffen da. Die Lichtfarbe läßt allerdings zu wünschen übrig. Wären uns aber erst einmal die physiologischen Vorgänge bei der Mechanik des Leuchtens der Glühwürmchen bekannt, so daß wir künstlich die gleiche Erscheinung hervorrufen könnten, so würde sich dieser Fehler schon beseitigen lassen. Aber hier tappen wir noch ganz im Dunklen.

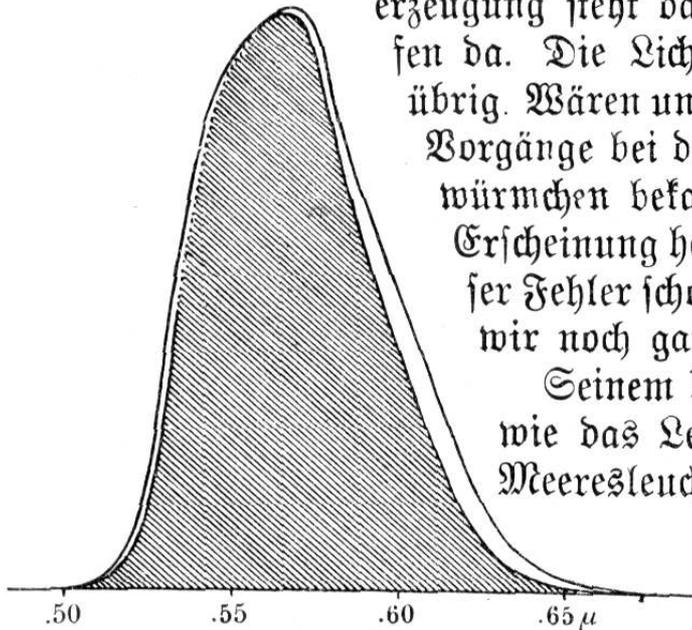


Abb. 6. Verhältnis der Energie der Lichtstrahlung (schraffierte Fläche) zur Gesamtstrahlung beim Glühwurm.

Seinem Ursprunge nach ebenso geheimnisvoll wie das Leuchten des Glühwürmchens ist das Meeresleuchten, das gleichfalls durch Lebewesen verursacht wird, das Leuchten geriebenen Zuckers, das Leuchten zusammengeschlagerener Kieselsteine, das Leuchten der Eierschalen beim Eintauchen in flüssige Luft. Auch

über die Ursache des Leuchtens faulenden Holzes, das Aufleuchten verschiedener Stoffe, wenn sie von ultravioletten, Röntgen- oder Radiumstrahlen getroffen werden, sind kaum die allerersten Ansätze zu ihrer wissenschaftlichen Untersuchung gemacht worden. Welche Überraschung hier aber zu erwarten sind, geht schon daraus hervor, daß nach den Untersuchungen H. Eberts mit einem Energieaufwande von einem Watt eine Lichtstärke von 25 000 Hefnerkerzen durch Fluoreszenzercheinungen hervorgerufen werden kann.

Bei der praktischen Verwertung der Lumineszenzercheinungen stehen wir erst am Anfange der Entwicklung. Ausgenutzt werden diese Ercheinungen wenigstens teilweise bei der Lichterzeugung durch Geißlerische Röhren (Moore's Vakuumlicht), durch Quecksilberdampflampen (Kronlampe, Quarzlampe) und durch Flammenbogenlampen.

1) H. E. Ives und W. W. Coblenz. Leuchtkraft des Glühwürmchens. Bulletin of the Bureau of Standards. Vol. 6, Nr. 3. Washington 1910 und Zeitschrift für Beleuchtungswesen. S. 29 ff 1911.

D. Lichtmessungen (Photometrie).

a) Die allgemeinen Grundlagen der Photometrie.

Während wir bei den Strahlungsmessungen imstande sind, physikalische Größen in absolutem Maße zu messen¹⁾, ist das gleiche nicht der Fall, wenn es sich um reine Lichtmessungen handelt. Hier können wir nur den sinnlichen Eindruck einer Lichtquelle mit dem einer anderen vergleichen. Als Vergleichsapparat kann aber immer wieder nur unser Auge dienen. Während wir aber bei anderen Vergleichen mit einiger Sicherheit abzuschätzen imstande sind, z. B. wievielmals höher ein Haus als das andere ist, sind wir bei der Vergleichung verschiedener Lichtquellen miteinander hierzu ganz außerstande. Es ist für unser Auge nicht möglich zu beurteilen, ob eine bestimmte Lampe zehn- oder zwanzigmal so hell leuchtet wie eine andere. Um eine derartige Vergleichung durchführen zu können, müssen wir einen besonderen Kunstgriff anwenden. Wir müssen von den miteinander zu vergleichenden Lichtquellen dicht aneinanderstoßende Flächen beleuchten und müssen die Beleuchtung durch die eine oder die andere der beiden Lichtquellen so verändern, daß die beiden beleuchteten, aneinanderstoßenden Flächenstücke gleich hell erscheinen. Ist das der Fall, und unser Auge vermag noch die minimalsten Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen, wenn die Beleuchtung innerhalb bestimmter Grenzen bleibt, dann können wir rückwärts einen Schluß auf die von jeder Lichtquelle ausgehende Lichtmenge machen. Zur Durchführung dieses Rückschlusses machen wir Gebrauch von einem von Lambert aufgestellten Gesetze, wonach die von einem leuchtenden Punkte ausgehende Lichtmenge umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung des leuchtenden Punktes von der beleuchteten Fläche ist.²⁾

Um zwei verschiedene Lichtquellen miteinander zu vergleichen, zunächst unter der Voraussetzung, daß sie beide punktförmig sind und

1) Vgl. Bloch, Maße und Messen (MuG Bd. 385).

2) Nehmen wir an, daß ein leuchtender Punkt in alle Richtungen des Raumes gleichmäßig Licht ausstrahlt, so verbreitet sich das Licht auf Kugeloberflächen, die zu dem leuchtenden Punkte konzentrisch sind. Da eine Kugeloberfläche im Abstande 2 vom leuchtenden Punkt einen viermal so großen Flächeninhalt besitzt als eine Kugeloberfläche im Abstand 1, so kann — bei gleichmäßiger Verteilung — auf das Flächenelement dieser Kugeloberfläche nur der vierte Teil des Lichtes auffallen, der auf ein Flächenelement der im Abstand 1 befindlichen Kugeloberfläche auffällt.

gleichmäßig in alle Richtungen des Raumes strahlen, können wir nun folgendermaßen verfahren: Wir lassen auf zwei dicht aneinanderstoßende Flächenelemente Licht von den beiden Lichtquellen auffallen, so daß jedes Flächenelement nur von einer einzigen Lichtquelle beleuchtet wird. Dann ändern wir den Abstand der einen Lichtquelle von dem von ihr beleuchteten Flächenelemente so lange, bis unserem Auge beide Flächenelemente gleich hell beleuchtet erscheinen. Messen wir dann die Abstände jeder Lichtquelle von den Flächenelementen und finden wir, daß sich die Lichtquelle L_1 im Abstände r , die Lichtquelle L_2 im Abstände R von den Flächenelementen befindet, so können wir aussagen, daß die von den Lichtquellen L_1 bzw. L_2 ausgehenden Lichtmengen sich verhalten wie $r^2 : R^2$

$$L_1 : L_2 = r^2 : R^2.$$

Die in den ganzen Raum gestrahlte Lichtmenge einer Lichtquelle nennen wir ihren gesamten Lichtstrom. Der in die Einheit des Raumwinkels ω gesandte Lichtstrom heißt die Lichtstärke der Lichtquelle in der Richtung dieses Raumwinkels. Bezeichnen wir den Lichtstrom mit Φ , die Lichtstärke mit J , so ist

$$J = \frac{\Phi}{4\pi}.$$

In der Technik hält man vielfach die Lichtstärke als das primäre Charakteristikum einer Lichtquelle. Das ist aber ein Irrtum. Der Begriff der Lichtstärke ist ein abgeleiteter Begriff; nur die gesamte in den ganzen Raum gesandte Lichtmenge ist als Charakteristikum einer Lichtquelle aufzufassen. — Solange es sich um punktförmige in den ganzen Raum Licht gleichmäßig ausstrahlende Lichtquellen handelt, könnte diese diffizile Unterscheidung als Spielerei aufgefaßt werden. Wenn man sich aber klar macht, daß alle unsere praktisch verwendeten Lichtquellen sehr ungleichmäßig Licht in den Raum ausstrahlen, daß also die in eine bestimmte Richtung fallende Lichtmenge — die Lichtstärke — unter Umständen sehr erheblich von der in eine andere Richtung fallenden Lichtmenge abweicht, so wird man die Berechtigung anerkennen, die verschiedenen Lichtquellen nach ihrem gesamten Lichtstrom zu werten.

Der für die beleuchtungstechnische Praxis wichtigste Begriff ist jedoch weder der Lichtstrom noch die Lichtstärke einer Lichtquelle, sondern deren praktische Leistung. Wir verlangen von ihr, daß sie eine Fläche, die unseres Arbeitstisches, die Bilderwand unseres Wohnzimmers, die

Fahrbahn der Straßen, die Schilder der Trambahn „beleuchten“ soll; diese Wirkung nennen wir „Beleuchtung“ und verstehen darunter das Auftreffen eines Lichtstroms auf eine nichtleuchtende Fläche. Die Größe der Beleuchtung E oder die Lichtstromdichte auf der leuchtenden Fläche ist offenbar proportional dem auffallenden Lichtstrome und umgekehrt proportional der Größe der leuchtenden Fläche. Nehmen wir im Interesse der einfacheren Betrachtung an, es handle sich um die Beleuchtung einer Hohlkugel vom Radius r und der Oberfläche S durch den vom Zentrum ausgehenden Lichtstrom Φ der Lichtquelle L , so ist offenbar

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad \text{oder} \quad \frac{4\pi J}{S};$$

und da die Kugeloberfläche

$$S = 4\pi r^2,$$

so ist auch

$$E = \frac{J}{r^2}.$$

Die Beleuchtung eines Flächenelementes ist also gleich der Lichtstärke, die die Lichtquelle in der Richtung des Flächenelementes besitzt, dividiert durch das Quadrat der Entfernung. Die oben erwähnte Vergleichung der Lichtquellen läuft also auf die Vergleichung von Beleuchtungen hinaus.

Eine vierte Größe zur Charakteristik einer Lichtquelle ist ihre „Flächenhelle“ oder ihr „Glanz“.¹⁾ Die Flächenhelle gibt an, wie groß die Lichtstärke von 1 qcm strahlender Fläche der Lichtquelle ist.

1. Die deutsche Lichteinheit. Da man Lichtquellen hinsichtlich ihrer charakteristischen Eigenschaften: — des Lichtstromes, der Lichtstärke der durch sie bewirkten Beleuchtung und der Flächenhelle — nur untereinander vergleichen aber nicht objektiv messen kann, ist man gezwungen, eine bestimmte Lichtquelle willkürlich zur Lichtnormale zu ernennen. Die Lichtnormale muß offenbar folgende Bedingungen erfüllen: 1. Sie muß in einer bestimmten Richtung unter bestimmten äußeren Bedingungen eine konstante Lichtstärke haben. 2. Sie muß leicht reproduzierbar sein, so daß die einzelnen nach bestimmten Vorschriften hergestellten Lichtquellen untereinander gleich sind, d. h. die gleiche Licht-

1) Die Bezeichnung „Glanz“ wurde früher häufig angewandt. Die Lichtmeßkommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker vom Jahre 1897 hat die Bezeichnung „Glanz“ als irreführend aber ausdrücklich abgelehnt.

stärke in einer bestimmten Richtung aufweisen. 3. Die Farbe des Lichtes soll möglichst weiß sein.

Von allen bisher vorgeschlagenen Lichtnormalien erfüllt diese Bedingungen am besten die mit Amylazetat gespeiste Lampe, die im Jahr 1884 von v. Hefner-Alteneck vorgeschlagen worden war. Sie gilt noch

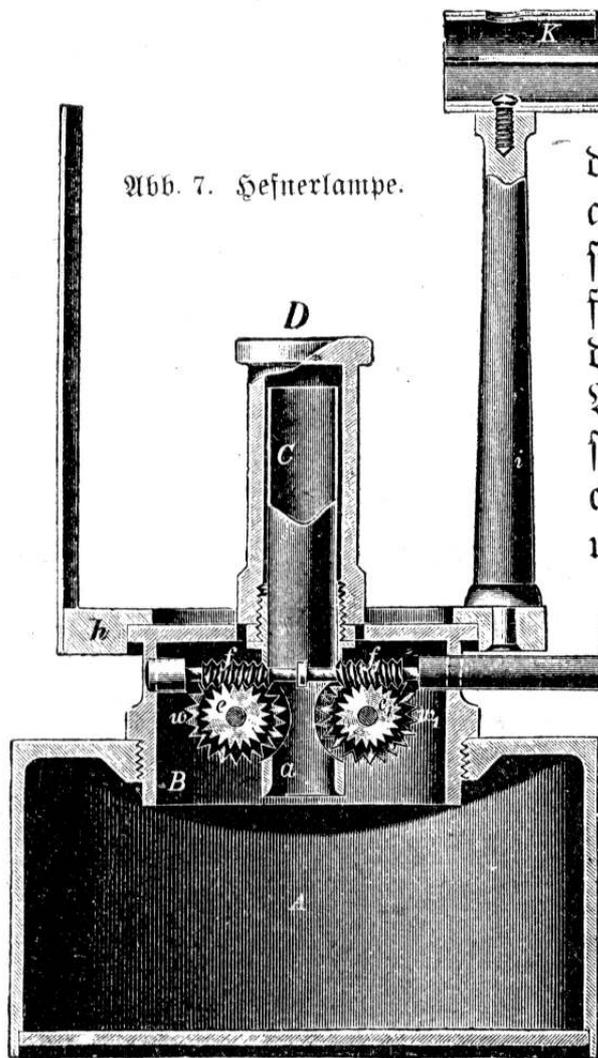


Abb. 7. Hefnerlampe.

heute in Deutschland als technische Lichteinheit unter folgender Definition: „Als Lichteinheit dient die (in horizontaler Richtung ausgestrahlte) Lichtstärke einer in ruhig stehender, reiner atmosphärischer Luft freibrennenden Flamme, welche aus dem Querschnitt eines massiven mit Amylazetat gesättigten Dochtes aufsteigt, der ein freisrundes Docht Röhrchen aus Neusilber von 8 mm inneren und 8,3 mm äußeren Durchmesser und 25 mm freistehender Länge vollkommen ausfüllt bei einer Flammenhöhe von 40 mm vom Rande des Docht Röhrchens aus und wenigstens 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen“.

Diese Einheit der Lichtstärke wird eine Hefnerkerze (HK) genannt.

Die in Abb. 7 abgebildete Hefnerlampe weist folgende Einrichtung auf: In dem das Amylazetat enthaltenden, einfach zylindrischen Gefäß A befindet sich der in das Rohr C (von 8 mm innerem und 8,3 mm äußerem Durchmesser) genau hineinpassende, aus Baumwollfäden von genügender Zahl hergestellte Docht. Dieser läßt sich in dem Rohre C vermittelt der durch g und die Schrauben ohne Ende f und f₁ betätigten Rädchen e und e₁ in sehr feiner Weise auf- und abschieben, sodaß man die Höhe der Flamme genau auf 40 mm einstellen kann. Die erfolgte genaue Einstellung wird durch Visieren längs der im Rohre K befindlichen dünnen Platte g über die Flammen spitze hinweg nach dem oberen Rande des vertikalen

Stabes h kontrolliert, oder es wird das optische Flammenmaß von Krüß benutzt. Die Kontrolle wird am besten von einem besonderen Beobachter während der Messungen fortwährend vorgenommen. Überaus sorgfältige in der Physikalisch-Technischen-Reichsanstalt von Prof. G. Liebenthal durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, daß die Hefnerlampe, wie alle Lampen mit offener Flamme, eine von dem Luftdrucke und der Luftfeuchtigkeit abhängige Lichtstärke aufweist. Zur Definition der Einheit der Lichtstärke tritt also noch die Bedingung hinzu, daß die Hefnerlampe bei 760 mm Barometerstand und einer Luftfeuchtigkeit von 8,8 Liter auf 1 cbm trockener, kohlensäurefreier Luft brennen muß.

Unter Zugrundelegung der Hefnerkerze gelten für die vier Grundeinheiten der photometrischen Größen die folgenden Beziehungen:

Größe		Einheit	
Name	Zeichen	Name	Zeichen
1. Lichtstrom	$\Phi = J \cdot \omega = \frac{J}{r_2} S$	Lumen	Lm
2. Lichtstärke	J	Hefnerkerze	HK
3. Beleuchtung	$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{J}{r_2}$	Lux	Lx
4. Flächenhelle	$e = \frac{J}{s}$	Kerze p. qcm	—

Hierin bedeuten: ω einen räumlichen Winkel

S eine Fläche in qm; s eine Fläche in qcm; beide senkrecht zur Strahlungsrichtung.

r eine Entfernung in Metern.

2. Andere Lichteinheiten. In Frankreich wird als Lichtnormale eine mit reinem Colzaöl gespeiste Runddochtlampe mit eingeschnürtem Zylinder verwandt, die sogenannte Carcellampe. Die Dimensionen der Lampe insbesondere die des Brenners und die des Zylinders sind natürlich genau definiert. Dagegen ist die Zusammensetzung des Colzaöles (Öl des Sommerapses) von dem 42 g in der Stunde verbrennen sollen, ziemlich variabel, so daß die Carcellampe eine sehr unzuverlässige Lichtnormale ist. Die internationale Lichtmeßkommission setzte im Jahre 1907 fest: 1 Carcel = 10,75 HK. In England wird die Vernon-Harcourtsche Pentanlampe als Normallampe benutzt. Der Argandbrenner dieser Lampe wird mit Luft gespeist, die mit Pentandämpfen gesättigt ist. Da das Pentan kein einheitlicher Körper ist, so kann auch die Pentanlampe nicht als zuverlässige Lichtnormale angesehen werden.

Bei einer Luftfeuchtigkeit von 8 l im Kubikmeter ist 1 Pentane-candle = 1,11 HK. Läßt man die Hefnerlampe bei 9 l Luftfeuchtigkeit brennen, so ist 1 Pentane-candle = 1 HK (9 l Feuchtigkeit). In den Vereinigten Staaten wird die Lichteinheit mit untereinander verglichenen elektrischen Kohlenfadenslampen aufrecht erhalten. Auf Grund von Konventionen zwischen Amerika, England und Frankreich einigte man sich im Jahre 1909 auf eine gemeinsame internationale Lichteinheit, die internationale Kerze. Es ist eine internationale Kerze = 1,11 HK. Die Übelstände, die mit der Verwendung von Flammenlampen verbunden sind, zwingen dazu, eine bessere unter allen Umständen reproduzierbare Lichteinheit ausfindig zu machen. In der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt sind gegenwärtig Versuche im Gange, die Lichteinheit durch die Strahlung des Schwarzen Körpers von bestimmter Temperatur zu definieren. Die Temperatur wird am besten durch das Strahlungsverhältnis zweier Wellenlängen festgelegt. Die Lichtstärke ist durch die Größe der Strahlungsöffnung bedingt.

b) Die Durchführung photometrischer Messungen.

Um zwei Lichtquellen miteinander zu vergleichen, vergleicht man die von ihnen auf dicht aneinanderstoßende Flächen erzeugte Beleuchtung. Hierbei soll jede Fläche nur von der zu ihr gehörigen Lichtquelle beleuchtet werden. Diese Bedingung wird am einfachsten von dem Bunsenschirm mit Fettfleck realisiert. Der Schirm besteht aus einem weißen, lichtundurchlässigen Papiere, das einen oder mehrere scharf begrenzte, mit Stearin hergestellte Fettflecken aufweist. Dieser Schirm wird zwischen die beiden miteinander zu vergleichenden Lichtquellen aufgestellt, so daß das Licht der zu messenden Lichtquelle, etwa von rechts, senkrecht auf den Schirm auffällt, während das Licht der Normallampe (oder Vergleichslichtquelle) von links gleichfalls senkrecht auf diesen Schirm auffällt. Ein Winkelspiegel gestattet die gleichzeitige Beobachtung beider Schirmseiten. Ist der von dem durchfallenden Lichte erhellte Fettfleck auf beiden Seiten des Schirmes ebenso hell wie die vom reflektierten Lichte erhellte Schirmfläche, so verschwindet der Fettfleck. Der Schirm ist dann auf beiden Seiten gleich stark beleuchtet. Das Verschwinden des Fettflecks wird durch Verschieben des Schirmes zwischen beiden Lichtquellen bewirkt. Das Verhältnis des Quadrates der Entfernungen R und r des Schirmes von den Lichtquellen gibt dann an, um wieviel die Lichtstärke der einen Lichtquelle in der beobachteten Richtung größer ist als die der Vergleichslichtquelle:

$$J = \frac{R^2}{r^2} \cdot i.$$

Benutzt man als Vergleichslichtquelle die Hefnerlampe, so ist $i = 1$ und

$$J = \frac{R^2}{r^2}.$$

Die Vergleichung mit dem Bunsenschen Fettfleck wäre absolut einwandfrei, wenn das eingefettete Papier an dieser Stelle vollkommen durchlässig wäre, und wenn die Schirmdicke gleich Null gesetzt werden könnte. Diese Bedingung wird durch den idealen Fettfleck im Photometerwürfel von Lummer und Brodhun realisiert. Lotrecht zur Achse einer Photometerbank (Abb. 8) steht der Schirm ik , der gar kein Licht hindurch läßt und dessen beide Seiten von den Lichtquellen n bzw. m erleuchtet werden. Das diffuse, von den Schirmseiten λ und l ausgehende Licht fällt auf die Spiegel e bzw. f , die es senkrecht auf die Kathetenfläche cb und dp der Prismen B und A werfen. Der Beobachter bei o blickt durch die Lupe w senkrecht zu ac und stellt scharf auf die Fläche $arsb$ ein. Der Schirm ik , die Spiegel e und f , der Würfel AB und das Okularrohr ow sitzen im Photometergehäuse, das auf dem Schlitten der Photometerbank befestigt ist. Der Photometerwürfel besteht aus zwei rechtwinkligen Prismen, von denen das eine an Stelle der ebenen Hypothenusenfläche eine Kugelfläche besitzt. Die kugelförmige Oberfläche des Prismas A wird bei sr (Abb. 8) eben angeschliffen und gegen die gleichfalls ebene Hypothenusenfläche von B innig gepreßt. Ist die Berührung von cd innig genug, so gehen alle auf diese Berührungsfläche auffallende Strahlen vollständig hindurch, als ob bei sr die beiden Prismen nur eine einzige Glasmasse bildeten. Blendet man also die Licht-

quelle n ab, so sieht man von o aus in der dunklen Fläche ab einen hellen elliptischen Fleck; blendet man aber m ab, so erscheint in der leuchtenden Fläche ab dieser elliptische Fleck absolut schwarz. Der Fleck hat äußerst scharfe Ränder und verschwindet bei gleicher Helligkeit der Felder vollständig. Diese Kombination genügt allen Anforderungen, die man a priori an zwei zu vergleichende Felder stellen muß.

Eine noch größere Genauigkeit gestattet die Anwendung des Kontrastprin-

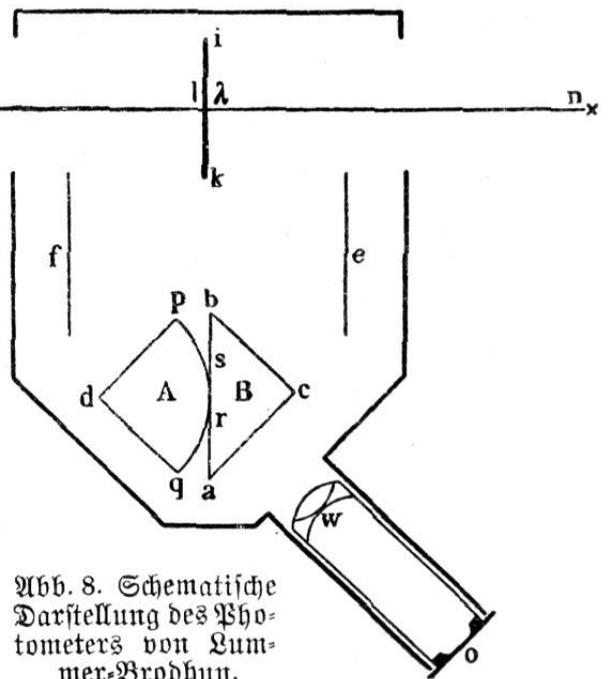


Abb. 8. Schematische Darstellung des Photometers von Lummer-Brodhun.

zipes bei dem Lummer-Brodhunschen Würfel. Beim Kontrastphotometer stellt man nicht auf die gleiche Helligkeit zweier Felder ein. Vielmehr beurteilt man, wann etwa zwei Felder wie a und b in Abb. 9 sich gleich deutlich von ihrer Umgebung c abheben, d. h. gleich stark kontrastieren. Daher der Name „Kontrastphotometer“. Die vorher beschriebene Prismenkombination läßt sich leicht so umwandeln, daß man das Kontrastprinzip verwenden kann. Die Genauigkeit steigt dann bei geeigneter Größe des Kontrastes (etwa 4 %) auf $\frac{1}{4}$ %.

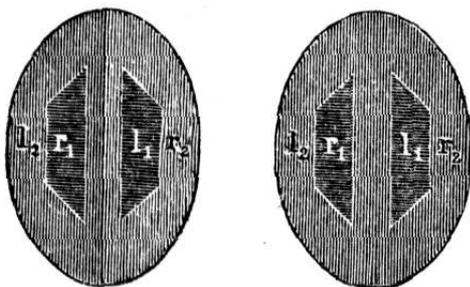


Abb. 9. Kontrastercheinung beim Photometer von Lummer-Brodhun.

Neben dem bei wissenschaftlichen Untersuchungen fast ausschließlich benutzten Photometer von Lummer-Brodhun gibt es noch zahlreiche andere Apparate, die für die meisten technischen Zwecke genügend genau arbeiten; ihre Beschreibung findet sich in den einschlägigen Spezialwerken über Photometrie.¹⁾ Alle diese Photometer sind aber nur zur Vergleichung von Lichtquellen geeignet, die in ihrer Färbung nicht zu stark voneinander abweichen. Die Vergleichung verschieden gefärbter Lichtquellen untereinander macht dagegen sehr erhebliche Schwierigkeiten, und die Frage ist noch offen, ob eine derartige Vergleichung überhaupt möglich ist. Mit Hilfe der sogenannten Flimmer- oder Flackerphotometer²⁾ wird die Farbenverschiedenheit durch Farbenmischung in unserem Auge verwischt, und man nimmt das Verschwinden des Flimmerphänomens als Kriterium für die gleiche Beleuchtung der beiden Photometerseiten. Es ist aber sehr zweifelhaft, ob das Flimmerphotometer die erhaltenen Resultate nicht prinzipiell fälscht. Verschiedenfarbige Lichtquellen können streng genommen nur so miteinander verglichen werden, daß man die von ihnen ausgehenden Strahlen spektral zerlegt und die Lichtstärken derselben Spektralbezirke miteinander vergleicht. Hierzu dienen die Spektralphotometer, deren Konstruktionsprinzip bereits auf S. 17 angedeutet ist, auf deren spezielle Einrichtung hier aber nicht eingegangen werden kann.

Auf einen anderen wichtigen Punkt bei der Photometrierung unserer Lichtquellen muß aber besonders hingewiesen werden. Die Ver-

1) E. Liebenthal. Praktische Photometrie. Braunschweig, Vieweg & Sohn 1907. — Uppenborn-Monach, Lehrbuch der Photometrie. Berlin und München, H. Oldenbourg 1912.

2) E. Liebenthal l. c.

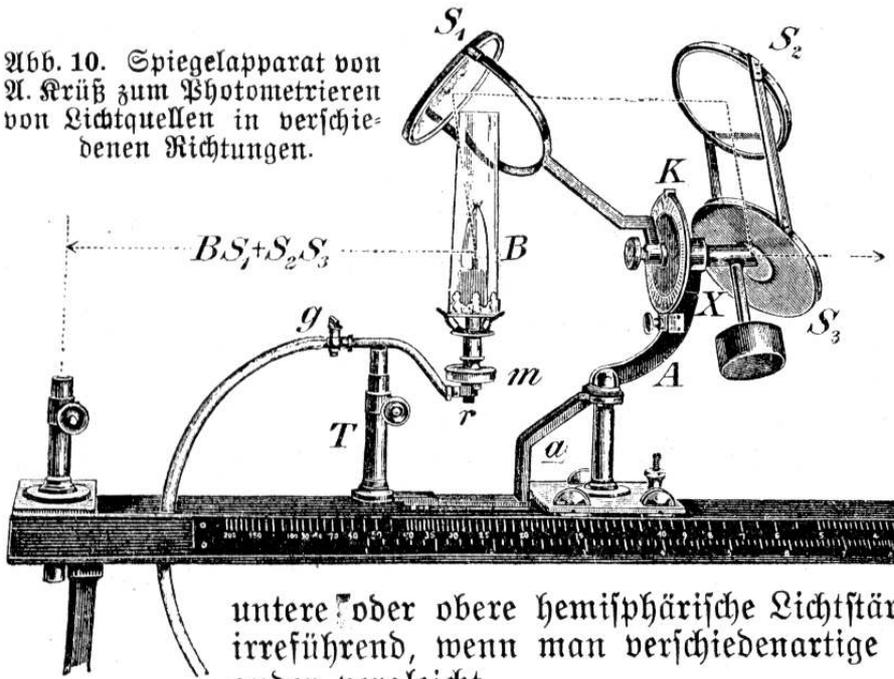
gleichung der Lichtstrahlungen unserer Lichtquellen in nur einer einzigen Richtung gewährt nur dann ein Urteil über ihre wirkliche Leistung, wenn die Lichtstrahlung nach allen Richtungen gleichmäßig in den Raum hinein erfolgt. Das gilt aber nur für punktförmige Lichtquellen. Alle gebräuchlichen Lichtquellen senden in die verschiedenen Raumwinkel sehr verschiedene Lichtströme. Zur Wertung einer Lichtquelle ist also die Summe aller Einzellichtströme, der Gesamtlichtstrom erforderlich. Und für die praktische Ausnutzung der verschiedenen Lichtquellen, für Straßen- oder Raumbelichtung ist auch die Kenntnis der Verteilung der Einzellichtströme ihrer Größe und Richtung nach erforderlich.

Man kann sich also nicht mit der Photometrierung der Lichtquellen in einer einzigen Richtung begnügen, sondern muß sie in möglichst zahlreichen Richtungen untersuchen. Bei Lichtquellen, die Rotationskörper sind, genügt die Untersuchung in einem einzigen Meridiane, wenn man von 5 zu 5° oder wenigstens von 10 zu 10° fortschreitend photometriert. Bei unsymmetrischen Lichtquellen muß diese Untersuchung aber mindestens in drei verschiedenen Meridianen geschehen. — Die in den verschiedenen Richtungen gemessenen Lichtstärken werden in ein Polarkoordinatensystem als Strecken eingetragen, deren Endpunkte durch eine Kurve verbunden werden. Diese photometrische Kurve¹⁾, durch die eine Lichtquelle eindeutig charakterisiert wird, kann vor allem dazu benutzt werden, um den gesamten Lichtstrom zu berechnen. Aus der Kenntnis des Gesamtlichtstromes ist dann durch Division mit 4π die mittlere räumliche Lichtstärke (mittlere sphärische Lichtstärke) J_0 zu ermitteln. Durch die Einführung des Begriffes der mittleren räumlichen Lichtstärke wird also eine Lichtquelle genau ebenso zuverlässig charakterisiert wie durch ihren gesamten Lichtstrom, und man kann die Ökonomie einer Lichtquelle ebensogut auf die mittlere räumliche Lichtstärke wie auf ihren gesamten Lichtstrom beziehen.

Bei Lichtquellen, die den Hauptteil des Gesamtlichtstromes nach oben senden und bei hängenden Lichtquellen, die hauptsächlich nach unten leuchten, hat man sich gewöhnt, von einer mittleren oberen bzw. unteren hemisphärischen Lichtstärke zu sprechen, die man mit J_Δ bzw. J_\ominus bezeichnet. Man versteht darunter den Mittelwert der Lichtstärken oberhalb bzw. unterhalb einer durch den Lichtschwerpunkt gelegten Horizontalebene. Der ganze Raum wird hierdurch in zwei Hälften geteilt, jede von dem Raumwinkel 2π . Bezeichnen Φ_Δ den in die obere, Φ_\ominus den in die untere Raumhälfte gesandten

1) Vgl. die bei den einzelnen Lichtquellen gegebenen Kurven.

Abb. 10. Spiegelapparat von A. Krüß zum Photometrieren von Lichtquellen in verschiedenen Richtungen.



Lichtstrom, der jedesmal den Raumwinkel 2π umfaßt, so ist

$$J_{\Delta} = \frac{\Phi_{\Delta}}{2\pi} \quad \text{und}$$

$$J_{\circ} = \frac{\Phi_{\circ}}{2\pi}$$

und

$$J_{\circ} = \frac{J_{\Delta} + J_{\circ}}{2}.$$

Die Kennzeichnung einer Lichtquelle nur durch die

untere oder obere hemisphärische Lichtstärke ist aber durchaus irreführend, wenn man verschiedenartige Lichtquellen miteinander vergleicht.

Zur Ermittlung der mittleren räumlichen Lichtstärke muß die Lichtquelle unter verschiedenen Winkeln photometriert werden. Hierzu sind zahlreiche technische Hilfsmittel in Benutzung; meist bedient man sich zweier oder dreier miteinander verbundener, geneigter Spiegel, die um die Lichtquelle herumgeführt werden und das reflektierte Licht in horizontaler Richtung auf den Photometerschirm werfen. Eine derartige Einrichtung ist in Abb. 10 abgebildet. Es ist klar, daß die Bestimmung des gesamten Lichtstromes einer Lichtquelle oder ihrer mittleren räumlichen Lichtstärke durch zahlreiche Bestimmungen der Lichtstärken unter verschiedenen Winkeln mühsam und zeitraubend ist. Hier leistet nun das integrierende Kugelphotometer von Ulbricht ausgezeichnete Dienste. Es besteht aus einer geräumigen im Inneren matt weiß gestrichenen Kugel, in die die zu untersuchende Lichtquelle hineingebracht wird. Ihr Licht wird an den Innenwandungen vielfach diffus reflektiert, so daß jedes Flächenelement die gleiche Beleuchtung erhält, die proportional dem gesamten Lichtstrom der Lichtquelle bzw. deren mittlerer räumlicher Lichtstärke ist. Der Innenraum der Kugel wird durch ein kleines Schauloch, gegen das die Lichtquelle abgeblendet sein muß, mit einem geeigneten Photometer anvisiert, wobei die Lichtstärke J gemessen wird. Diese Lichtstärke ist proportional der mittleren räumlichen Lichtstärke J_{\circ}

$$J_{\circ} = C \cdot J$$

worin C eine Konstante ist, deren Wert vermittelt einer Lampe von bekannter räumlicher Lichtstärke ermittelt wird. Je kleiner die Oberfläche der Lampe und der anderen in die Kugel eingebrachten Fremdkörper zur inneren Kugeloberfläche ist, um so genauer werden die Messungen. Aus diesem Grunde sind in Bogenlampenfabriken Ulbrichtsche Kugeln bis zu 3 m Durchmesser im Gebrauche.

Für die meisten praktischen Anwendungen der Lichtquellen ist die Kenntnis der Lichtstrahlungsverhältnisse unter verschiedenen Richtungen

unbedingte Voraussetzung. Insbesondere beim Entwerfen eines Straßenbeleuchtungsplanes, bei der Projektierung von Beleuchtungseinrichtungen in großen Räumen, Bahnhofshallen, Sälen, Warenhäusern usw. muß man von den photometrischen Kurven der Lampen ausgehen, um eine vorgeschriebene Beleuchtung der Bodenfläche oder der vertikalen Wände mit dem Minimum an Einzellichtquellen erzielen zu können.

Aus der photometrischen Kurve kann man bei gegebener Aufhängehöhe für jede Lichtquelle die Beleuchtung des einzelnen Punktes der Bodenfläche oder der Wände graphisch bestimmen. Derartige Beleuchtungskurven sind in Abb. 11 abgebildet. Aus diesen Kurven kann man direkt ablesen, daß etwa 4 m entfernt vom Fußpunkte der Lampe auf der Bodenfläche die Beleuchtung von 11,8 Lux, auf einer vertikal gestellten Fläche die Beleuchtung von 6 Lux vorhanden ist. — Bei mehreren gleichzeitig angewandten Lichtquellen kann man auch kombinierte Beleuchtungskurven aufstellen, die für die Projektierung von Beleuchtungsanlagen wertvolle Dienste leisten.

Die theoretisch einfachen Verhältnisse werden freilich sehr unübersichtlich, wenn es sich um die Projektierung von Beleuchtungsanlagen in Innenräumen handelt, weil die diffuse Reflexion des Lichtes an den Wänden, der Decke, an aufgestellten Möbel usw. die Beleuchtung einzelner Plätze des Raumes wesentlich beeinflusst. Aber immerhin kann man auch in diesen Fällen aus den photometrischen Kurven beurteilen, ob eine bestimmte Lichtquelle sich besser zur Platzbeleuchtung oder zur Allgemeinbeleuchtung eignet, welche Lampen man

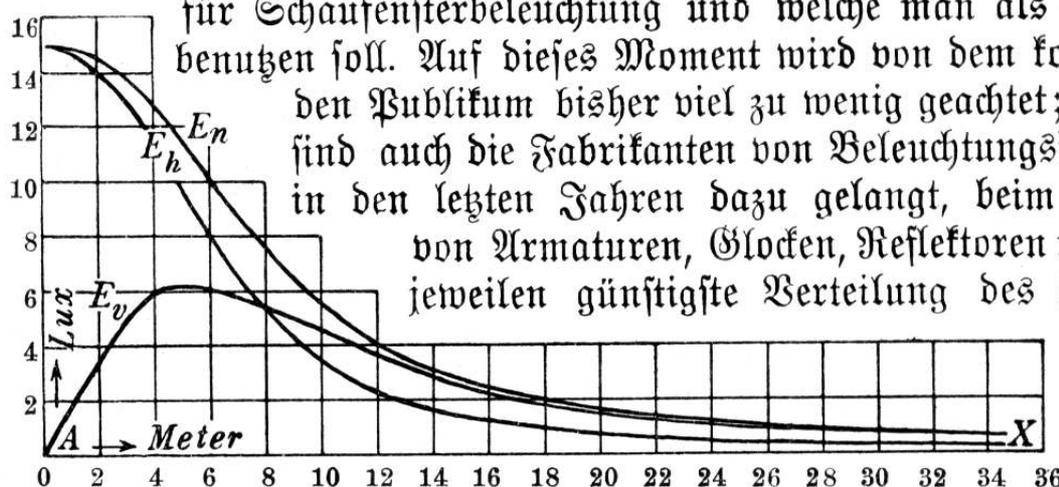


Abb. 11. Beleuchtungskurven. E_v die Beleuchtung auf einer vertikalen Fläche, E_h die Beleuchtung auf einer horizontalen Fläche, E_n die Beleuchtung auf einer zu den Lichtstrahlen senkrechten Fläche in Abhängigkeit vom Abstände der beleuchteten Fläche vom Fußpunkte der Lichtquelle.

für Schaufensterbeleuchtung und welche man als Tischlampe benutzen soll. Auf dieses Moment wird von dem konsumierenden Publikum bisher viel zu wenig geachtet; allerdings sind auch die Fabrikanten von Beleuchtungskörpern erst in den letzten Jahren dazu gelangt, beim Entwerfen von Armaturen, Glöcken, Reflektoren usw. auf die jeweiligen günstigste Verteilung des Lichtes ihr

Augenmerk zu richten.

Die großen Erfolge, die die Holo-

Beleuchtungs-gesellschaft mit ihren zweckmäßigen und schon infolge ihrer Zweckmäßigkeit schönen Beleuchtungskörpern erzielt hat; haben hier bahnbrechend gewirkt.

II. Teil.

Die künstlichen Lichtquellen.

A. Die künstliche Beleuchtung im allgemeinen.

Trotz der immensen Fortschritte von Wissenschaft und Technik sind wir noch sehr weit von dem Ideale entfernt, durch künstliche Beleuchtungsmittel eine dem Tageslicht auch nur annähernd äquivalente Beleuchtung unserer Wohnräume zu schaffen. Wir müssen uns also mit einem Surrogat begnügen, an das allerdings gewisse Minimalanforderungen gestellt werden müssen, damit in hygienischer Beziehung der Schaden des künstlichen Lichtes nicht größer als sein Nutzen werde. Diese Minimalanforderungen an die künstliche Beleuchtung bestimmen in sehr erheblichem Maße die Art der zu wählenden Beleuchtungsapparate.

Zunächst soll die Beleuchtung des Arbeitsplatzes ausreichend sein. Die Größe der erforderlichen Minimalbeleuchtung eines Arbeitsplatzes soll ca. 20 bis 100 Lux betragen. Mit den uns zur Verfügung stehenden Lichtquellen ist diese Bedingung leicht zu erfüllen, sogar durch eine gewöhnliche Petroleumlampe. Die künstliche Lichtquelle soll aber nicht nur auf dem Arbeitsplatz die notwendige Beleuchtung schaffen, sondern auch der ganze Raum soll beleuchtet sein, wenn auch nicht gerade mit der gleichen Stärke wie der Arbeitsplatz. Ist das nicht der Fall, so wird bei der leisesten Kopfbewegung das Auge Intensitätskontrasten ausgesetzt, die nicht nur dem Auge, sondern auch den Nerven überaus schädlich sind. Wenn das Auge gezwungen wird, bald intensive, bald schwache Lichtreize aufzunehmen, so wird der Pupille eine nicht unbeträchtliche Anstrengung zugemutet, sie muß sich bald stark zusammenziehen, bald wieder stark erweitern. Hierdurch wird zunächst die Augenmuskulatur ermüdet, in der Folge aber auch unsere ganze Stimmung nervös beeinträchtigt. Die „gemütliche“ Studierlampe kann also leicht zu einem Marterinstrumente werden, wenn nicht zugleich auch der ganze Raum beleuchtet wird. Nirgends mehr als bei der künstlichen Beleuchtung rächt sich falsche Sparsamkeit.

Unsere künstlichen Lichtquellen zwingen leider aber nicht nur in bezug auf diesen Punkt zur Energievergeudung. Fast alle zeichnen sich durch verhältnismäßig große Lichtstärke aus, die auf eine kleine strahlende Fläche konzentriert ist. Befindet sich nun die Lichtquelle in unmittelbarer Nähe unserer Augen, so kann die Pupille, wenn das Auge direkt in das Licht hineinschaut, leicht eine Beleuchtung erhalten, an die es nicht angepasst ist. Das Resultat ist eine vorübergehende Blendungserscheinung. Sehen wir aber längere Zeit hindurch das Auge den direkten Strahlen einer intensiven Lichtquelle aus, so können sehr schwere Augenentzündungen, Netzhautverbrennungen, Trübungen der Linse und anderes mehr die Folge sein. Für alle unsere künstlichen Lichtquellen ist also die Forderung aufzustellen, daß das Auge ihren direkten Wirkungen entzogen bleibt. Je intensiver eine Lichtquelle ist, desto mehr muß dafür gesorgt werden, daß ihre Lichtstärke durch mattierte Gläser, durch Glocken und Schirme herabgemindert und möglichst diffus verteilt wird. Die Technik befindet sich hier in einer sehr unangenehmen Zwickmühle. Auf der einen Seite ist sie bestrebt, immer intensivere Lichtquellen zu erzeugen, und auf der anderen Seite muß sie das Ziel von Licht wieder vernichten, um es für das Auge unschädlich zu machen.

Von nicht geringer Bedeutung für die künstliche Beleuchtung ist dann die Farbe des Lichtes. Unser Auge ist morphologisch der spektralen Zusammensetzung des Sonnenlichtes angepasst. Wir sehen also dann am besten und erkennen die Gegenstände am leichtesten, wenn das Licht aus allen Farben des Regenbogens zusammengesetzt ist und demgemäß weiß erscheint, und wenn zugleich die Bedingung erfüllt ist, daß das Intensitätsmaximum im gelb-grünen Bezirke des Spektrums vorhanden ist. Die vollkommenste künstliche Lichtquelle wäre also die, die rein weiß leuchtet. Von den bisher bekannten, künstlichen Lichtquellen erfüllt jedoch allein genommen nur die Bericolampe von Siemens & Halske annähernd diese Bedingung. Wir sind in der Lage, mit Hilfe verschieden gefärbter Lichtquellen, die miteinander kombiniert werden, ein annähernd weißes Licht zu erzeugen. Wenn man die Wahl zwischen verschieden gefärbten Lichtquellen hat, soll man im allgemeinen solche Lichtquellen bevorzugen, die schwach gelblich gefärbt sind. Bei Lichtquellen von einer etwas grünlichen Tönung, wie sie einzelnen Arten des Gasglühlichtes eigentümlich ist, wird das Erkennen feiner Gegenstände allerdings erheblich erleichtert, aber die

ästhetische Wirkung dieses Lichtes, ferner die Wirkung auf die Hautfarbe, auf farbige Stoffe und Bilder ist im allgemeinen doch so ungünstig, daß grünlich gefärbte Lichtquellen auf die Dauer Unbehagen hervorrufen.

In hygienischer Hinsicht ist dann weiter an die künstliche Lichtquelle die Forderung zu stellen, daß sie gleichmäßig und ruhig brennt. Von den für die Wohnungsbeleuchtung in Betracht kommenden Lichtquellen wird diese Bedingung zumeist erfüllt, denn unruhig und zuckend brennen von den modernen Lichtquellen eigentlich nur die elektrischen Bogenlampen, die aber zur Wohnungsbeleuchtung nicht benutzt werden. Das manchmal beim Gasglühlicht auftretende starke Zucken der Flamme ist nicht dieser Lichtart an sich eigentümlich, sondern beruht meist auf der schlechten Einregulierung der Brenner.

Von den zur Benutzung kommenden künstlichen Lichtquellen muß dann weiter verlangt werden, daß sie keine übermäßige Wärme entwickeln, und daß sie die Luft in dem Raume nicht durch giftige Verbrennungsgase verschlechtern. Im allgemeinen verbraucht eine gewöhnliche Lampe zur Unterhaltung der Verbrennung in der gleichen Zeit erheblich mehr Sauerstoff, als für die Atmung des Menschen erforderlich ist. Es wird infolgedessen durch eine offene Flamme ganz wesentlich mehr Kohlenäure produziert, als von der Lunge ausgeatmet wird. Das gleiche gilt auch von den verschiedenen Formen des Gasglühlichts. In jedem Falle wird gleichzeitig noch durch die Flamme Wasserdampf entwickelt und eine erhebliche Wärmemenge produziert. In einem vollständig hermetisch geschlossenen Raume würde demnach die Atmungsluft sehr bald so stark verschlechtert werden, daß der Aufenthalt in diesem Raum gesundheitschädlich würde. Außerdem aber würde noch eine erhebliche Belästigung durch die produzierte Wärme und den entwickelten Wasserdampf entstehen. In Wirklichkeit treten diese Nachteile bei den modernen Beleuchtungsapparaten aber in sehr beschränktem Maße auf, weil infolge der starken Erwärmung der umgebenden Luft durch den Leuchtapparat eine gute Luftzirkulation hervorgerufen wird. Durch die immer vorhandenen Fugen und Ritzen in Tür- und Fensteröffnungen werden dann die schädlichen Verbrennungsgase abgeführt und es tritt genügend frische Luft in den Raum wieder ein. In Versammlungsräumen, Theatern, Restaurants usw. wird man natürlich von vornherein für eine ausreichende künstliche Zuführung von Frischluft durch Ventilatoren u. dgl. sorgen.

Daß die künstlichen Lichtquellen feuersicher und explosionsicher sein müssen, versteht sich von selbst. Leider ist aber auch diese Bedingung nicht voll erfüllbar. Bei den künstlichen Lichtquellen, die mit offenen Flammen arbeiten, ist Feuerzgefahr natürlich immer möglich.

Beim Gase kommt neben der Feuerzgefahr aber auch noch die Explosionsgefahr in Betracht, die dann latent ist, wenn die Gasleitung undicht oder der Gashahn aus Versehen offen geblieben ist. Strömt unbeaufsichtigt Gas aus einer Leitung in die Luft, so entsteht schon bei einer Beimischung von etwa 6 bis 7 % Leuchtgas zur atmosphärischen Luft ein explosives Gemisch, das sich an jeder offenen Flamme entzünden kann und dann mit furchtbarer Gewalt explodiert. Freilich schützt das Leuchtgas sich selbst wieder vor Explosionsgefahr, da der charakteristische Geruch des Leuchtgases schon die geringsten Spuren seiner Beimischung zur Luft verrät. Sowie ein solcher Leuchtgasgeruch an irgendeiner Stelle bemerkbar wird, muß sofort durch Entfernung aller offenen Flammen und Herbeiführung eines scharfen Luftzuges einer eventuellen Explosion vorgebeugt werden. Das häufig übliche Ableuchten von Gasleitungen mit einer offenen Flamme, um die undichten Stellen zu ermitteln, ist unter allen Umständen zu vermeiden. Die geringste Feuerzgefahr haben die in luftleere Glocken eingeschlossenen elektrischen Glühlampen. Gefährlich kann diese Beleuchtungsart nur dann werden, wenn eine Glühbirne zertrümmert wird und die eingeschmolzenen Metalldrähte usw. in direkte Berührung miteinander gelangen. Bei sorgfältig ausgeführten elektrischen Anlagen ist aber die Feuerzgefahr und die Gefahr des berüchtigten Kurzschlusses so gut wie ausgeschlossen.

Bezüglich der künstlichen Beleuchtung sind dann natürlich noch neben den hygienischen Anforderungen auch die wirtschaftlichen Momente zu berücksichtigen. Die künstliche Beleuchtung soll vollkommen ausgenutzt werden, und die Bedienung und Instandhaltung soll möglichst geringe Mühe verursachen. Die verschiedenen Beleuchtungsarten verhalten sich in dieser Beziehung außerordentlich verschieden. In theoretischer Hinsicht gestattet das elektrische Licht die günstigste Ausnützung der aufgewandten Energie. Dagegen ist der Preis für die Einheit der Lichtmenge erheblich höher, als wenn die gleiche Beleuchtung durch Petroleumlicht zu erzeugen wäre. Bezüglich der physikalischen Ausnützung der zugeführten Energie steht die Gasbeleuchtung in der Mitte zwischen Petroleumbeleuchtung und elektrischer Beleuchtung. Da außerdem der Einheitspreis, bezogen auf die gleiche Lichtstärke, bei Gasglühlicht ganz erheblich geringer

als bei elektrischem Licht ist, so ist das Gasglühlicht das billigste und zugleich auch leistungsfähigste Licht der Gegenwart. Aber der Preis der verschiedenen Energieformen ist eine ganz zufällige Erscheinung, und das Verhältnis kann sich von heute zu morgen ändern. Und in der Tat wäre es schon jetzt möglich, die Elektrizität zu einem wesentlich niedrigeren Satze abzugeben. Für Großabnehmer, wie für Theater, große Restaurants usw. geschieht das auch in der Tat. Der kleine und mittlere Lichtkonsument ist aber für die Elektrizitätswerke ein sehr unbequemer Kunde. Sein Hauptbedarf fällt in die Wintermonate; und in der Zeit zwischen 5 bis 7 Uhr eines Dezemberabends fällt fast der gesamte Lichtkonsum mit dem Verbrauch von Fabriken an Strom für Motorenbetrieb und dem Verbräuche der elektrischen Bahnen zusammen. Der Verbrauch an Elektrizität für gewerbliche Zwecke ist während des ganzen Tages nahezu konstant, und ein Elektrizitätswerk kann hier mit sehr gleichmäßiger Belastung rechnen. Setzt dann aber in den Wintermonaten ein starker Verbrauch für Beleuchtungszwecke ein, so muß die Leistung des Elektrizitätswerkes für wenige Stunden um fast das 3- bis 4fache der normalen Durchschnittsleistung überschritten werden. Für diese enorme und nur ganz vorübergehende Überlastung aber müssen zahlreiche Maschinen in Reserve gehalten werden, die im ganzen Jahre nur wenige Stunden lang arbeiten, im übrigen aber gewaltige Summen für Verzinsung und Amortisation verschlingen. Da wir nur bei Gleichstromzentralen über rationelle Mittel zur Elektrizitätsaufspeicherung verfügen, deren Betrieb übrigens auch recht kostspielig ist, so kann es nicht wundernehmen, daß die Abgabe von Elektrizität zu Beleuchtungszwecken im allgemeinen zu einem erheblich höherem Satze erfolgen muß als zu gewerblichen Zwecken. In den Nachtstunden, wo die meisten gewerblichen Betriebe still liegen, ist dagegen der Lichtkonsument wieder ein willkommener Elektrizitätsabnehmer, und zahlreiche Elektrizitätszentralen bewilligen deshalb auch größeren Lichtkonsumenten erhebliche Nachlässe auf den Verbrauch in den Nachtstunden.

B. Die Beleuchtung mit festen und flüssigen Brennstoffen.

a) Die Kerzenbeleuchtung.

Die Lichterzeugung mit Hilfe fester Brennstoffe hat in der Gegenwart eine ganz untergeordnete Bedeutung. Harz- und Pechfackeln werden nur noch bei Fackelumzügen und da und dort zur Beleuch-

tung von Feuerwehrwagen benutzt. Auch die Kerzenbeleuchtung mit Wachs-, Paraffin-, Stearin- oder Talgkerzen findet nur noch in bescheidenem Umfang Anwendung. Da an der Kerze aber zuerst das Wesen der Flamme studiert worden ist, erfordert es die historische Gerechtigkeit, sie wenigstens zu erwähnen. Die Kerze besteht aus einem mit festen aber leicht schmelzbaren Kohlenwasserstoffen umhüllten Dochte. Der Docht wird gewöhnlich aus Baumwolle hergestellt. Um sein Herauskrümmen aus der Flamme und damit die vollständige Verbrennung seines Endes zu bewirken, wird er mit Borsäure- oder Boraxlösung imprägniert. Wenn der Docht durch irgendeine andere Flamme auf seine Entzündungstemperatur gebracht wird, brennt er und die Wärme seiner Flamme bringt das Kerzenmaterial zum Schmelzen. Flüssig steigt dieses im Docht in die Höhe, vergast in der Flamme und unterhält dadurch die Flamme selbst. Die Verbrennungsprodukte der Flamme sind im wesentlichen Wasserdampf und Kohlendioxid; aber die vollständige Verbrennung findet im äußersten Flammensaume statt. Ganz im Innern der Flamme, wo Luft nur in geringerem Maße Zutreten kann, findet nur die Vergasung des Brennstoffes statt, in der diesen inneren Kern umgebenden Zone verbrennt der Brennstoff unvollständig und scheidet Kohlenstoff ab, der durch die Flammwärme in Weißglut versetzt wird und die Flamme leuchten läßt. Die Leuchtzone der Flamme ist schließlich noch von einer nichtleuchtenden Hülle umgeben, in der der Kohlenstoff vollständig verbrennt.

Die Ökonomie der Kerzenbeleuchtung ist überaus schlecht. Der Materialverbrauch einer Stearinkerze beträgt rund 8 gr in der Stunde, wobei eine horizontale Lichtstärke von 1,13 HK geliefert wird. Bei einem Preise von M. 1,50 für 1 kg Stearin betragen demgemäß die Betriebskosten für die Kerzenstunde 1,06 Pfg. Das ist ungefähr ebensoviel, wie die Erzeugung von 75 HK durch Gasglühlicht stündlich beträgt. Da außerdem das Kerzenlicht dauernd flackert, und da die Verbrennungsprodukte die Atemluft sehr erheblich verschlechtern, wenn man mit einer umfangreichen Kerzenbeleuchtung einigermaßen Helligkeit schaffen will, so kann es nicht wundernehmen, daß die Kerzenbeleuchtung heute nur noch als Not- oder Aushilfsbeleuchtung in Betracht kommt.

b) Die Ölbeleuchtung.

Die Ölbeleuchtung mit vegetabilischem Öl ist heute gleichfalls antiquiert. Sie findet nur noch in Bergwerken, die frei von schlagenden

Wettern sind, als Notbeleuchtung in Theatern, auf einigen Eisenbahnnebenlinien und hie und da als Nachtbeleuchtung in Krankenzimmern bescheidene Anwendung. Die Ölbeleuchtung ist durch das im Jahre 1859 entdeckte Petroleum sogar in noch stärkerem Maße verdrängt worden als die Kerzenbeleuchtung. Bei den Öllampen macht sich der besondere Übelstand geltend, daß das Öl nur schwer in den Dochten in die Höhe steigt, und daß es daher durch künstliche Mittel auf die Höhe der Dochoberfläche gehoben werden muß. Zur Erreichung dieses Zweckes ist sehr viel Erfindungsgeist aufgewandt worden. Die Sammlungen im Beleuchtungsmuseum in Berlin-Charlottenburg und im Deutschen Museum in München legen hierfür beredtes Zeugnis ab.¹⁾

c) Die Petroleumbeleuchtung.

Von allen Beleuchtungsmitteln hat auch heute noch das Petroleum die ausgedehnteste Anwendung. Ein genial organisierter Petroleumhandel schafft dieses wertvolle Leuchtmittel in die Hütten der Steppen und an die Grenzen des Polarmeeres. In den höchsten Schutzhütten der Alpen ist die Petroleumlampe ebenso vertreten, wie in dem luxuriösesten Haushalte der Großstädte. Es dürfte nur wenige Wohnräume auf der Welt geben, wo das Petroleum noch nicht oder nicht mehr vertreten ist. In den mit Gas oder mit Elektrizität versorgten Kulturgebieten nimmt die Verwendung des Petroleums allerdings stark ab; aber als Reservebeleuchtungsapparat ist die Petroleumlampe auch hier überall vorhanden. Durch die Erfindung des Petroleumglühlichtes hat sich das Petroleum in den letzten Jahren sogar wieder erhöhte Beachtung errungen.

Der einfachste und beste Brenner für Petroleum ist der „Kosmosbrenner“, (Abb. 12). Er besteht aus einem konischen Doppelrohr, in dem ein breiter Flachdocht durch Regulierschraube und Zahnrädchen auf und nieder geschraubt werden kann. Der Flachdocht schließt sich an der Brennermündung zu einem völligen Kreise zusammen. Hier kommt das Petroleum zur Verbrennung. In das Innere des Dochtdoppelrohres wird Verbrennungsluft durch einen keilförmigen Schliß eingeführt, und außen wird weitere Verbrennungsluft durch Öffnungen im sog. Brennerkorb emporgeführt. Ein die Brennermündung und die

1) Eine schöne Zusammenstellung der verschiedenen Formen und Konstruktionen von Öllampen findet sich in „Der Mensch und die Erde“ Bd. VII. Deutsches Verlagshaus Berlin 1911.

Flamme umgebender Glaszylinder mit Einschnürung sorgt für die genügende Luftzufuhr zur Flamme. Die Bildung der Leuchtflamme geschieht in gleicher Weise wie bei der leuchtenden Kerzenflamme. Das leuchtende Prinzip ist gleichfalls fein verteilter Kohlenstoff. Außer dem Kosmosbrenner gibt es noch zahllose andere Brennerkonstruktionen, die alle darauf hinauslaufen, durch Vergrößerung der Flamme und durch Verbesserung der Luftzufuhr die Lichtstärke zu erhöhen. Zu diesem Zwecke werden in die Achse des Dochtdoppelrohres Flammteiler, sog. Brandscheiben eingesetzt, die bei einigen Formen massiv bei anderen wieder hohl und mit Öffnung zur Zuführung eines zentralen Luftstromes versehen sind. Bei den Brennern mit Flammteilern müssen kugelig erweiterte Zylinder angewandt werden. Durch die angegebenen Mittel wird zwar die Lichtstärke absolut erhöht, aber die Ökonomie wird nicht wesentlich über die des Kosmosbrenners hinaus verbessert.

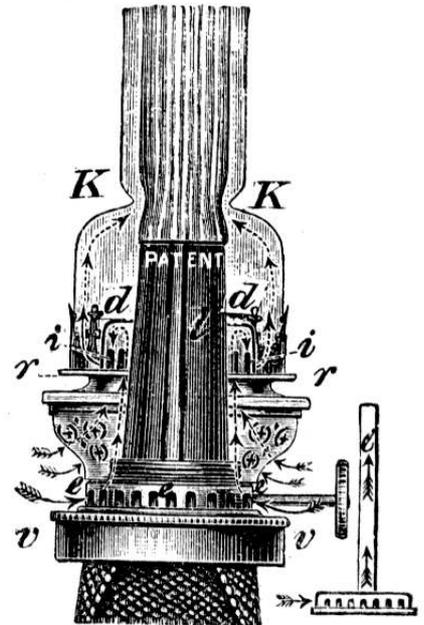


Abb. 12. Kosmosbrenner.

Der sog. 14" Kosmosbrenner verbraucht in der Stunde rund 40 g Petroleum und liefert hierfür 14,2 HK in horizontaler Richtung gleich 12 HK₀. Bei einer Verbrennungswärme von ca. 11000 Kalorien entspricht dies einem spezifischen Verbrauch von 42,3 Watt/HK₀. Von der gesamten zugeführten Energie werden rund 0,25% in Licht umgesetzt und von der Gesamtstrahlung sind 98,77% Wärmestrahlen und nur 1,23% Lichtstrahlen. Der Hauptbeleuchtungsapparat des „kleinen Mannes“ ist also, abgesehen von den Kerzen, die unwirtschaftlichste Lichtquelle, die wir überhaupt haben. Wegen dieser Energieverschwendung wird schon seit Jahrzehnten versucht, das Prinzip des Gasglühlichtes auch auf die Petroleumlampe zu übertragen. (Vgl. Seite 77.)

d) Die Grubensicherheitslampe.

Von Davy war die Entdeckung gemacht worden, daß ein in eine Flamme gehaltenes Drahtnetz die Flamme verhindert über dem Drahtnetz zu brennen, oder daß sie nicht auf den Brenner zurückschlägt, wenn der Gasstrom oberhalb des über den Brenner gehaltenen Drahtnetzes angezündet wird. Das liegt daran, daß das Drahtnetz die Flammwärme lange Zeit hindurch stark ableitet. Die von dem Drahtnetz ge-

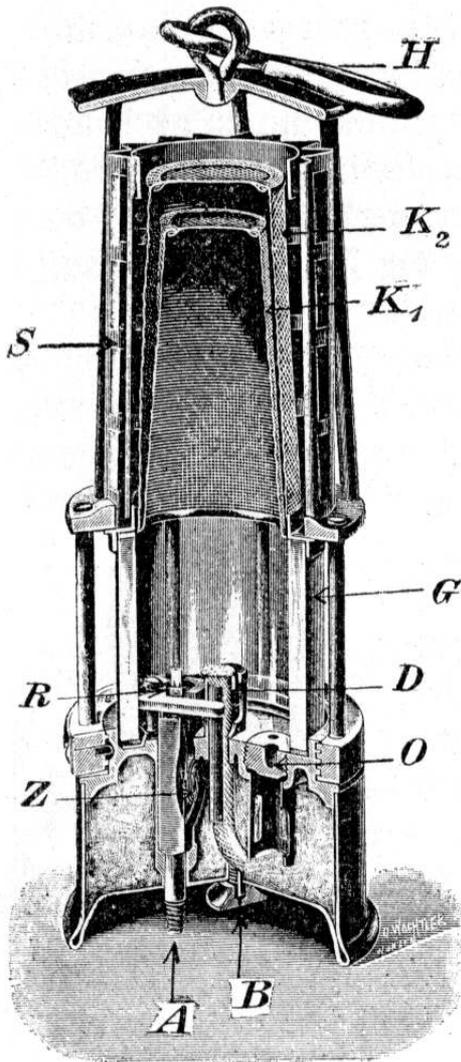


Abb. 13. Davys Sicherheitslampe.

schützten Teile des Gasstromes gelangen deshalb zunächst nicht auf die Entzündungstemperatur.

Dieses Prinzip ist auf die Konstruktion von „Sicherheitslampen“ (Abb. 13) übertragen worden. Eine offene von Benzin gespeiste Flamme brennt am Dochtende innerhalb eines starkwandigen Glaszylinders G , der nach oben durch zwei konische Drahtneze K_1 und K_2 abgedeckt ist. Während sonst jede offene Flamme unfehlbar eine Gasexplosion auslöst, wenn sie in ein Gemisch von Luft und brennbarem Gase hineingebracht wird, ist das bei der Davyschen Sicherheitslampe nicht der Fall. Hält man eine solche Sicherheitslampe in ein explosibles Gasgemisch, so dringt dieses zwar bis zur Flamme und entzündet sich hier, die Fortpflanzung der Explosion nach außen wird aber durch das doppelte Drahtnetz verhindert, solange es nicht selbst glühend wird.

Für den Betrieb von Steinkohlenbergwerken, in denen sich Grubengas (Methan) befindet, sind diese Sicherheitslampen ganz unentbehrlich. Durch ihre Benutzung wird die Entzündung, sog. „schlagender Wetter“, wirksam verhindert. Da diese Sicherheitslampen daneben aber noch das Auftreten schlagender Wetter zuverlässig anzeigen, so ist die Davysche Lampe durch tragbare elektrische Lampen, die ebenfalls als Sicherheitslampen ausgebildet werden, noch nicht verdrängt worden. Tritt nämlich Grubengas in eine Davysche Lampe ein, so bildet sich um die Flamme eine bläuliche Aureole, die dem erfahrenen Bergmann die drohende Schlagwettergefahr anzeigt. Die im Steinkohlenbergbau benutzten Sicherheitslampen sind mit Magneten sicher verriegelt, so daß der Bergmann die Lampe nicht öffnen kann. Den Docht kann er von außen mit der am Lampenboden befindlichen Schraube A regulieren; geht die Lampe einmal aus, so kann er sie mit einem durch den Schnepfer B betätigten Zündbände wieder anzünden.

C. Die Gasbeleuchtung.

a) Die Gaszerzeugung.

1. **Das Leuchtgas.** Unterwirft man die Steinkohle bei Rotglut der trockenen Destillation, so wird sie in ihre Bestandteile zerlegt. Die Zusammensetzung der Steinkohle schwankt außerordentlich stark je nach ihren verschiedenen Fundstellen. Immer aber finden sich bei ihr: Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel, Wasser und Mineralsalze (Asche).¹⁾ Die gasförmigen oder bei Rotglut dampfförmigen Bestandteile entweichen bei der Destillation, Kohlenstoff und Mineralsalze bleiben zurück. Während der Erhitzung der Steinkohle in geschlossenen Gefäßen vollziehen sich chemische Bindungen der mannigfaltigsten Art, bei denen besonders Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff unter Bildung neuer Stoffe aufeinander einwirken. Die Art und die Menge der neugebildeten Stoffe ist — abgesehen von der Zusammensetzung der Kohle — wesentlich von der Temperatur und dem Druck abhängig, bei der die trockene Destillation stattfindet. Von der größten Wichtigkeit bei der Leuchtgasbereitung ist der Gehalt der Kohlen an Wasserstoff, er bestimmt die Gasausbeute. Durch die Einwirkung von Wasserstoff auf Kohlenstoff entstehen Methan (CH_4), Äthylen (C_2H_4) Benzol (C_6H_6) und andere schwere Kohlenwasserstoffe: durch die Einwirkung von Wasserstoff auf den Sauerstoff entsteht Wasserdampf; Sauerstoff und Kohlenstoff vereinigen sich zu Kohlenoxyd (CO) und Kohlendioxyd (CO_2) (häufig, aber fälschlich Kohlen Säure genannt). Daneben entsteht durch das Zusammenwirken von Kohlenstoff und Stickstoff noch Cyan (CN). Wasserstoff und Stickstoff bilden Ammoniak (NH_3). Aus Schwefel, Wasserstoff und Kohlenstoff entstehen Schwefelwasserstoff (H_2S), Schwefelkohlenstoff (CS_2) und andere kompliziertere Schwefelverbindungen.

Die bei der trockenen Destillation entstehenden gas- und dampfförmigen Verbindungen gelangen aus den Destillationsapparaten, den Retorten, zunächst in eine teilweise mit Wasser gefüllte Vorlage, dort kondensieren die bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Bestandteile: Wasser und flüssige Kohlenwasserstoffe, die zusammen den Teer bilden, während die gasförmigen Stoffe durch Kühl- und Waschapparate weiter geführt werden. Hierbei wird in der Hauptsache Ammoniak in Wasser

1) Die Ruhrkohle hat beispielsweise folgende Zusammensetzung: Kohlenstoff 79,72%; Wasserstoff 4,85%; Stickstoff 1,48%; Sauerstoff 5,76%; Schwefel 1,29%; Wasser 1,37%; Asche 5,53%.

gelöst, und die Reste mitgerissenen Teeres werden aus dem Gase entfernt. Schließlich gelangt das Gasgemisch noch in besondere Reinigungsrichtungen, in denen Schwefelwasserstoff und Cyan ausgeschieden werden. Das so gereinigte Gas besteht im wesentlichen aus: Wasserstoff, Methan, Äthylen und seinen Homologen, Benzol, Kohlenoxyd, Kohlendioxyd, Sauerstoff und Stickstoff.¹⁾ Außerdem sind noch Spuren von Schwefelverbindungen in ihm enthalten. Dieses Gasgemisch ist brennbar und verbrennt mit leuchtender Flamme. Auf die Ausnutzung der bei der Gasverbrennung entstehenden Verbrennungswärme kommt es bei der Verwendung des Leuchtgases in erster Linie an. Sie beträgt rund 5100 Kalorien per Kubikmeter. (Von der Verwendung des Leuchtgases zur Füllung von Luftballons und von sonstigen gelegentlichen technischen Anwendungen kann hier füglich abgesehen werden.) Die Verbrennungswärme des Leuchtgases wird für Beleuchtungs- und Heizzwecke ausgenutzt. Ursprünglich wurde es ausschließlich zu Beleuchtungszwecken verwendet, woher auch der Name Leuchtgas schlechthin für das Destillationsprodukt der Steinkohle.

In den ersten Zeiten der Leuchtgasindustrie ließ man das Gas aus engen zylindrischen oder schließförmigen Öffnungen ausströmen und zündete es an. Da eine derartig freibrennende Gasflamme zur vollständigen Verbrennung mehr Luft gebraucht als bis zur Mitte des Gasstromes dringen kann, so findet eine nur teilweise Verbrennung statt, wobei sich Kohlenstoff ausscheidet. Die festen Kohlenstoffteilchen werden hoch erhitzt und strahlen Licht aus. In einer offenen Gasflamme kann man dementsprechend drei voneinander verschiedene Zonen unterscheiden. In der inneren Zone wird das Gas vorgewärmt, sie erscheint dunkel; in der diese umgebenden zweiten Zone vollzieht sich die teilweise Verbrennung, in dieser Zone kommt der Kohlenstoff zum Leuchten, in der dritten äußersten Zone schließlich wird die Verbrennung vollendet, sie strahlt in schwach bläulichem Lichte.

Die Temperatur, bei der der Kohlenstoff in der offenen Gasflamme leuchtet, ist von Lummer und Bringsheim zwischen die Grenzen 1700 bis 1900° abs. eingeschlossen worden (1427°—1627° C). In der Nähe des äußeren Flammensaumes, wo die Verbrennung sich vollendet, ist die Temperatur wesentlich höher, sie wird von Nichols zu 1780° C an-

1) Ein normales Leuchtgas hat etwa folgende Zusammensetzung: Wasserstoff 52,70%; Methan 31,48%; Äthylen, Benzol usw. 3,8%; Kohlenoxyd 8,75%; Kohlendioxyd 1,73%; Sauerstoff 0,1%; Stickstoff 1,53%.

gegeben. Diese Temperaturbestimmungen sind aber äußerst unzuverlässig. Die Physik besitzt noch keine einfachen Methoden, um die Temperatur offener Flammen mit Sicherheit festzustellen.

Die Temperatur der Flamme hängt überdies sehr wesentlich von der Geschwindigkeit ab, mit der sich der Verbrennungsvorgang vollzieht. Bei einer sehr dünnen Flamme, bei der die äußere Verbrennungsluft tiefer ins Innere eindringen kann, ist die Temperatur höher als bei einer sehr voluminösen. In dem ersteren Falle kommt daher auch weniger Kohlenstoff zur Ausscheidung und die Lichtstärke einer solchen Flamme ist geringer. Bestimmt man die Temperatur der Flamme nach einer der optischen Methoden, so wird sie offenbar niedriger gemessen werden als im zweiten Fall, obwohl sie gerade im zweiten Falle niedriger ist. Erst vor kurzem ist von H. Schmidt¹⁾ eine Methode zur Bestimmung der Flammentemperaturen ausgearbeitet worden, die einwandfreiere Resultate liefert, die aber zur Untersuchung leuchtender Flammen noch nicht angewandt wurde.

Bis zum Anfang der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde das Leuchtgas ausschließlich zur Erzeugung leuchtender Flammen benutzt. Mit dem Auftreten des Auer'schen Gasglühlichtes nahm diese Verwendungsart immer mehr und mehr ab, und heute hat sie nur noch historisches Interesse. In Abb. 14 und 15 sind die beiden Hauptrepräsentanten der älteren Gasbeleuchtungsapparate abgebildet. Bei dem Schnittbrenner (Abb. 14) läßt man den Gasstrom aus einem schmalen Spalte austreten, die Flamme erhält hierdurch eine breite Form. Die Luft kann deshalb an den Breitseiten ungehindert Zutreten, wodurch eine rasche Verbrennung und damit eine möglichst hohe Temperatur ermöglicht wird. Bei den Argandbrennern (Abb. 15) tritt das Gas aus einem Speckstein- oder Porzellanringe mit zahlreichen Einzelöffnungen aus. Durch das Innere des Ringes und an seinen Außenwandungen kann die Luft bequem an die Flamme herantreten. Durch einen gläsernen Zylinder, der die Flamme umgibt, wird dieser Luftzutritt noch wesentlich gefördert.

Durch Vorwärmung des Gases und besser noch durch Vorwärmung der Verbrennungsluft, suchte man damals in den verschiedenen Formen von „Regenerativbrennern“ die Temperatur und die Lichtwirkung zu steigern. Die Ökonomie der Lichterzeugung blieb aber immer auf einer sehr bescheidenen Höhe. Man mußte ungefähr 10 l Gas stündlich auf-

1) Ann. d. Physik IV. Bd. 29 S. 971, 1909.

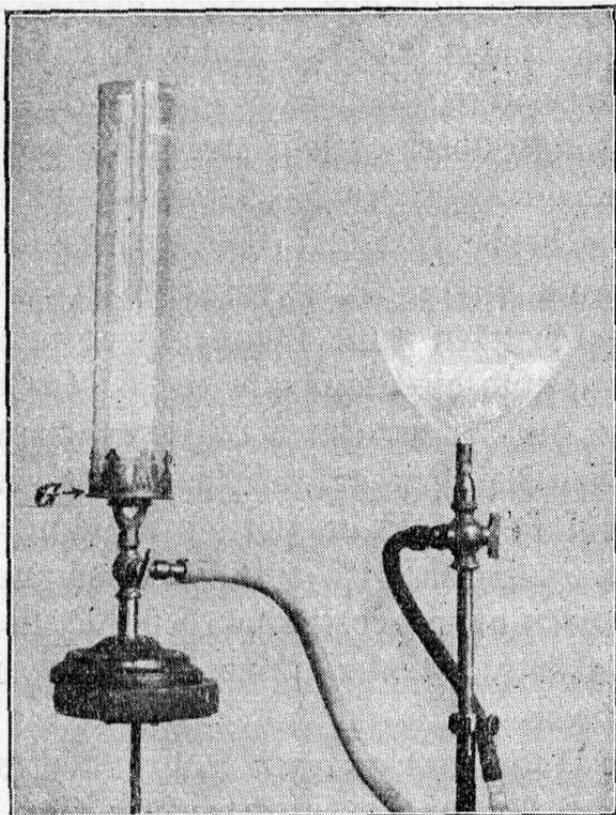


Abb 15.
Argandbrenner.

Abb 14.
Schnittbrenner.

wenden, um eine HK zu erzeugen, und dabei war das Licht noch stark rötlich gefärbt und zeichnete sich durchaus nicht durch Ruhe und Stetigkeit aus. In den ersten Zeiten der Gasbeleuchtung und bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr bescheiden. Man war schon zufrieden, wenn man die Ökonomie der Lichterzeugung auch nur um kleine Beträge steigern konnte, und die Bestrebungen der Gas Techniker liefen vielmehr darauf hinaus, überhaupt nur hohe Lichtstärken zu erzeugen, um den elektrischen Bogenlampen ein Paroli zu bieten. Die Frage der Ökonomie rangierte erst in zweiter Linie.

Und doch war die Erfindung des Regenerativbrenners durch Friedrich Siemens, absolut genommen, ein sehr beträchtlicher Fortschritt, denn hier wurde zum erstenmal in bewußter Weise eine Temperatursteigerung dazu ausgenutzt, um die Lichtausbeute zu erhöhen. Während der Schnittbrenner 375 l Gas in der Stunde verbrauchte, um 25 HK zu erzeugen, beim Argandbrenner 300 Liter Gas in der Stunde aufgewandt werden mußten, und der Effekt nur 30 HK waren, lieferte die Regenerativlampe bei einem Stundenkonsume von 560 l Gas 140 HK. Das war immerhin ein beträchtlicher Fortschritt. Aber das Gasglühlicht übertrumpfte den Regenerativbrenner doch bei weitem und schlug ihn demgemäß sehr rasch aus dem Felde.

Bei dem Gasbrenner, bei dem glühender Kohlenstoff die Lichtwirkung hervorbringt, befand sich der Beleuchtungstechniker in einer fatalen Situation. Er mußte eine möglichst hohe Temperatur erzeugen, um die Helligkeit der Flamme zu steigern. Die Steigerung der Temperatur ist bei Flammen aber nur möglich durch Beschleunigung der Verbrennung, also durch Luftzufuhr in die Flamme selbst. Führt man dann Luft in die Flamme ein, so scheidet sich gar kein Kohlenstoff aus, weil er gleich von Anfang an vollständig verbrennt und die Flamme

leuchtet nicht. Es war deshalb ein Kompromiß notwendig und infolge dieses mißlichen Kompromisses ist es nicht möglich, die Lichtstärke einer offenen Flamme durch Temperatursteigerung bei der Verbrennung ebenso ins Ungemessene zu steigern, wie etwa bei einer überlasteten Kohlenfadenglühlampe. Man kommt bei den Flammen sehr bald zu einer oberen Grenze, über die hinaus eine Erhöhung der Lichtstärke nicht mehr möglich ist.

Aus diesem Grunde suchte man sich von der Lichtstrahlung durch den glühenden Kohlenstoff zu emanzipieren und versuchte die Verbrennungswärme des Leuchtgases zur Erhitzung in die Flamme eingebrachter, feuerbeständiger Körper auszunutzen. Gelang es geeignete Körper ausfindig zu machen, dann konnte man die Verbrennung in einer Flamme so regulieren, daß man die überhaupt höchstmögliche Temperatur erreichte und damit auch Lichtstärken erzielte, die die bei der reinen Flammenbeleuchtung erreichten weit übertrafen. In diesem Falle brauchte der Gasbrenner nur als Heizapparat zu dienen. Ein solcher Heizbrenner war der Technik bereits seit 1850 in dem von Bunsen konstruierten und nach ihm benannten Brenner bekannt.

Der Bunsenbrenner (Abb. 16) besteht aus einem glatten Metallrohr R_2 mit zwei oder mehr seitlichen Öffnungen O an seinem unteren Ende. Das Rohr ist auf einen mit der Gasleitung verbundenen Fuß R_1 aufgeschraubt. Die Gasleitung mündet in einem engen Röhrchen, der Gasdüse A . Das aus der Düse austretende Gas reißt durch die Öffnungen O durch Injektormwirkung Luft mit und vermischt sich mit dieser. An der Mündung des Brenners tritt dann ein Gas-Luftgemisch aus, das mit nichtleuchtender Flamme verbrennt. Die Temperatur der Bunsenflamme ist durch Schmidt zu 1802° C bestimmt worden.¹⁾ Mit einem solchen Bunsenbrenner können in die Flamme eingebrachte Körper zu erheblich höherer Glut gebracht werden als der Kohlenstoff in den offenen Gasflammen. Erst durch Verwendung des Bunsenbrenners wurde die Erzeugung von Gasglühlicht ermöglicht.

2. Andere zur Lichterzeugung benutzte Gase. Neben dem Steinkohlengase, dem Leuchtgas par excellence, werden in der Beleuchtungstechnik noch verschiedene andere brennbare Gase benutzt, von denen das Öl- oder Fettgas, das Wassergas, das Aethylen und das Luftgas besondere Bedeutung gewonnen haben.

Das Öl- oder Fettgas wird in ähnlicher Weise gewonnen wie das Steinkohlengas, nur daß in den Retorten flüssige Öle wie Paraf-

1) Ann. d. Physik, IV. Bd. 29 S. 971, 1909.

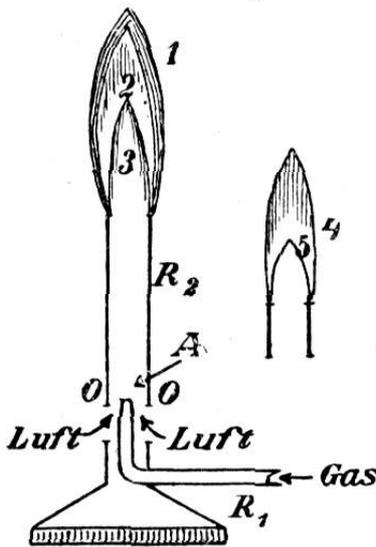


Abb. 16. Bunsenbrenner.

finöl, Petroleum, aber auch vegetabilische Öle zur Vergasung gelangen. Auch animalische Fette können zur Gasbereitung herangezogen werden. Es entstehen dann Gemische, die besonders reich an Äthylen und seinen Homologen sind, bei denen Methan und Wasserstoff zurücktreten und Kohlenoxyd meist ganz fehlt. Diese Ölgase, die durch eine sehr hohe Verbrennungswärme ausgezeichnet sind, (bis zu 16000 Kalorien per

Kubikmeter) liefern schon in sehr kleinen Quantitäten verbrannt eine leuchtende, offene Flamme. Die Verwendung der Öl- und Fettgase beschränkt sich aber auf transportable Beleuchtungsanlagen in Eisenbahnwagen, Seezeichen u. dgl. Das Gas wird in besonderen Gasanstalten erzeugt und unter Druck in schmiedeeiserne Behälter eingebracht, die direkt an den zu beleuchtenden Wagen usw. angeordnet sind. Mit Hilfe von Reduzierventilen wird das aus den Behältern ausströmende Gas auf einen niedrigen Druck gebracht, unter dem es zu den Brennern gelangt. Früher benutzte man ausschließlich die leuchtende Flamme des Öl- oder Fettgases,

neuerdings entleuchtet man die Flamme aber ebenso wie beim Steinkohlengase und benutzt nur ihre Heizwirkung zur Glühlichterzeugung.

Eine Abart des Ölgases ist das Blaugas, das, in einem besonderen Verfahren hergestellt, Verdichtungen bis zu 150 Atmosphären verträgt. Bei diesem Drucke wird das Gas flüssig und kann in Stahlflaschen an die Verwendungsstelle versandt werden. Es dient gleichfalls in erster Linie der Beleuchtung von Eisenbahnwagen, Seezeichen u. dgl. Da es im flüssigen Zustand aber leicht transportabel ist, so wird es auch häufig zur ortsfesten Beleuchtung an solchen Stellen verwandt, wo keine Gasanstalten vorhanden sind.

Das Wassergas und seine Abarten unterscheiden sich von dem Steinkohlengase dadurch, daß sie bei der Verbrennung nur eine sehr schwach leuchtende Flamme liefern. Wenn das Gas nur zu Heizzwecken angewandt werden soll, (hierzu gehört auch die Anwendung bei der Gasglühlichtbeleuchtung), so ist die Erzeugung eines mit leuchtender Flamme brennenden Gases zwecklos und unnötig kostspielig.

Die Herstellung des Wassergases ist einfach und billig. In eine mit Kohlen, Koks oder dergleichen beschickte Feuerung wird von unten Gebläsewind eingeführt. Beschränkt man die Luftzufuhr so, daß sie zur völligen Verbrennung des Kohlenstoffes nicht genügt, so entsteht ein Gemenge von Kohlen-

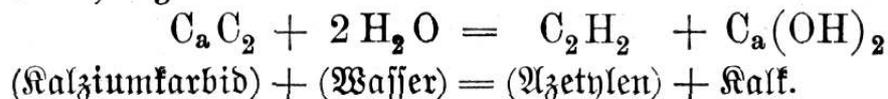
oxyd, Kohlendioxyd und Stickstoff. Wenn die Brennstoffschicht in helle Glut gekommen ist, wird nach luftdichtem Abschlusse der Feuerung Wasserdampf durch die glühende Kohlen- oder Koks-schicht geleitet. Der Wasserdampf zerfällt in seine beiden Bestandteile: Wasserstoff und Sauerstoff. Der Sauerstoff verbindet sich gleich mit dem Kohlenstoffe. Bei hohen Temperaturen bildet sich überwiegend Kohlenoxyd, bei niedrigeren überwiegend Kohlendioxyd. Man ist also in der Lage, durch zweckmäßige Leitung der beiden aufeinanderfolgenden Prozesse ein Gasgemisch von hohem Wasserstoff- und Kohlenoxydgehalte zu erzielen. Ein normales Wassergas enthält rund 50 % Wasserstoff, 40 % Kohlenoxyd, 4 bis 7 % Kohlendioxyd, 3 bis 6 % Stickstoff und 1 % Sauerstoff. Dieses Wassergas besitzt eine Verbrennungswärme von rund 2500 Kalorien per Kubikmeter.

Gegenwärtig erzeugen die meisten Steinkohlengasanstalten neben dem Leuchtgas auch Wassergas, das sie bis zu $\frac{1}{3}$ dem Leuchtgase beimischen; dieses zugesetzte Wassergas wird gewöhnlich noch durch Benzoldämpfe karburiert, so daß das Mischgas noch immer mit leuchtender Flamme verbrennt; aber wenn auf Brenner für Leuchtflammen gar keine Rücksicht mehr genommen zu werden braucht, wird man von der Karburierung des Wassergases ganz absehen können.

Das Azethlen erzeugt von allen brennbaren Gasen die intensivste Leuchtflamme. Als es daher Mitte der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts gelungen war, das Kalziumkarbid, das Rohprodukt für die Azethlenerzeugung, im elektrischen Ofen relativ billig herzustellen, schoß mit einem Schlage eine gewaltige Azethlenindustrie ins Kraut. In kleineren Ortschaften wurden Azethlenzentralen gebaut und besonders für die Beleuchtung einzelstehender Gebäude, bei denen Anschluß an eine Gasanstalt oder ein Elektrizitätswerk nicht möglich war, wurden Azethlenbeleuchtungsanlagen in großem Umfange errichtet. Die großen in das Azethlen gesetzten Hoffnungen haben sich jedoch nicht realisiert. Das Licht kam zu teuer; bei der Bedienung der Azethlenerzeuger, die häufig von technisch ganz ungebildeten Leuten gebaut wurden, traten nur zu oft Störungen ein; und schließlich verhinderten auch zahlreiche, folgenschwere Azethlenexplosionen die weitere Ausbreitung der Azethlenbeleuchtung. Heute spielt das Azethlen eine wesentliche Rolle nur bei der Speisung von Fahrzeuglaternen und in der Metallbearbeitung. Besonders für den letzten Verwendungszweck ist das Azethlen unübertroffen, da eine mit Sauerstoff gespeiste Azethlenflamme eine überaus hohe Temperatur (etwa 2800° C) zu erzeugen gestattet.

Die Darstellung des Azethlengases ist recht einfach. Man braucht nur Kalziumkarbid und Wasser aufeinander einwirken zu lassen, um sofort

Azethlen zu erhalten. Der chemische Vorgang vollzieht sich nach der folgenden Gleichung:



Die Azethlenapparate sind demnach auch sehr einfach. Der beste und einfachste Apparat besteht aus einem geschlossenen Wassergefäße, in das von Zeit zu Zeit durch eine verschließbare Einwurfsöffnung Kalziumkarbid hineingeworfen wird. Das sich sofort bildende Azethlen wird nach Reinigung von Phosphorwasserstoff, Schwefelwasserstoff, Siliziumwasserstoff usw., die sich aus den von unreiner Kohle und unreinem Kalk herrührenden Verunreinigungen des Kalziumkarbides und der Kohle bilden, in gewöhnlichen Gasbehältern aufgefangen und kann sofort zur Verwendung gelangen. Bei den tragbaren Azethlenapparaten läßt man noch einfacher Wasser tropfenweise auf eine Schicht von Kalziumkarbid auffallen, und das sich entwickelnde Azethlen wird ohne weitere Reinigung und Auffpeicherung verbrannt.

Das Azethlen wird meist zur Erzeugung offener Flammen benutzt. Da das Azethlen sehr kohlenstoffreich ist, so müssen diese Flammen äußerst dünn sein, weil sie sonst stark rußen würden. Das Azethlen besitzt eine Verbrennungswärme von 13900 Kalorien per Kubikmeter. Der spezifische Verbrauch beträgt etwa 1 l per HK₀. Da aus 1 kg Kalziumkarbid rund 300 l Azethlen erzeugt werden können und das Kalziumkarbid per Kilogramm rund 40 Pf. kostet, so ist die Azethlenbeleuchtung recht kostspielig. Auch die physikalische Ökonomie ist ganz wider Erwarten schlecht. Der spezifische Verbrauch beträgt 15,9 Watt/HK₀. Von der aufgewandten Energie werden nur 0,65 % in Licht umgesetzt. Von der Gesamtstrahlung in den Raum kommen 6,36 % auf das Licht, die übrigen 93,64 % auf Wärmestrahlen.

Dem Azethlen ist in den letzten Jahren eine sehr starke Konkurrenz durch das sogenannte Luftgas entstanden. Dieses Luftgas besteht aus einer innigen Mischung der Dämpfe einer leicht siedenden, brennbaren Flüssigkeit mit Luft. Als geeignete Flüssigkeiten kommen die leichteren Petroleumdestillate in Betracht. Diese Stoffe entwickeln schon bei gewöhnlicher Temperatur Dämpfe, die nur sehr allmählich wieder kondensieren. Von dieser Eigenschaft der leicht siedenden Bestandteile des Rohpetroleums wird bei den Luftgasapparaten Nutzen gezogen.

Durch eine geeignete Saugvorrichtung wird ein Luftstrom erzeugt, dem Solin- oder Benzindämpfe beigemischt werden. Trägt man dafür Sorge, daß

die kondensationsfähige Menge an Flüssigkeitsdämpfen sich wirklich niederschlägt, ehe das Gemisch von Luft und Benzindämpfen weiter fortgeleitet wird, so ist man sicher, daß in der Rohrleitung keine weitere Kondensation mehr stattfindet. Die in der Rohrleitung befindliche Luft ist mit Dämpfen einer brennbaren Flüssigkeit gesättigt und selbst brennbar gemacht worden, und das so erzeugte „Luftgas“ kann wie gewöhnliches Leuchtgas benutzt werden.

Das Prinzip der Luftgasapparate wird noch klarer werden, wenn wir eines der Systeme näher beschreiben. In dem sogenannten Benzoidgasapparate von Thiem & Löwe, Halle a. S. wird durch einen leicht zu betätigenden Gewichtsaufzug ein Räderwerk angetrieben, das einerseits (vgl. die Abb. 17) ein Luftgebläse *b*, andererseits ein Becherwerk *f* in Bewegung setzt. Das Luftgebläse saugt bei *c* durch ein Rohr einen Luftstrom an, der sich in der Richtung der Pfeile bewegen muß. Diesem Luftstrom entgegen wird nun durch das rotierende Becherwerk *f* aus dem in einem Gefäße aufgespeicherten Vorrat Petroleumdestillat in genau abgemessenen Quantitäten gefördert, das in den Vergasungsstanz *d* gelangt, wo es restlos verdampft. Das damit fertige Gasgemisch wird weiter in einen kleinen Gasometer *e* gebracht und gelangt von da in die Verbrauchsleitung. Der Gasometer *e* hat dabei noch die Funktion zu erfüllen, die Gasproduktion zu regulieren. Wenn der Gasverbrauch aufhört, hemmt nämlich der Gasometer *e* vermittelst der Bremse *g* das Räderwerk der Luftaugenvorrichtung *b* und zugleich das Schöpfrad *f*, so daß keine Gasproduktion mehr stattfindet. Wird aber an irgendeiner Stelle der Leitung ein Gashahn aufgedreht, so wird die Gasbereitung sofort wieder aufgenommen.

In prinzipieller Hinsicht weisen die übrigen Luftgasapparate keine wesentliche Abweichung von dem beschriebenen auf. Die Unterschiede sind meist nur konstruktiver Art.

Das Luftgas besitzt je nach dem Benzingehalte eine Verbrennungswärme von 2700 bis 3400 Kalorien per Kubikmeter. Es steht also dem Wassergase in dieser Beziehung nahe. Die Gestehungskosten des Luftgases hängen in erster Linie vom Benzinpreise ab. Bei einem Benzinpreise von Mk. 50 für 100 kg Benzin und einem Benzingehalte von 280 g im Kubikmeter Luftgase kostet 1 cbm Luftgas rund 14 Pf.

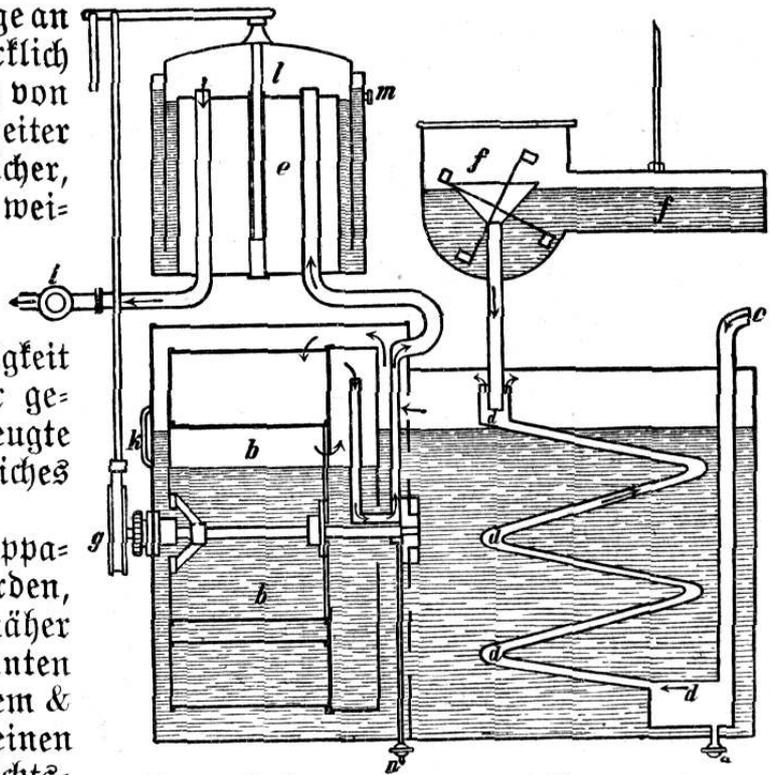


Abb. 17. Luftgasapparat von Thiem und Löwe.

Alle die genannten Gasarten werden, abgesehen von Acetylen, in der Gegenwart kaum noch zur Erzeugung von direkt leuchtenden Flammen benutzt. Man nutzt vielmehr ihre Verbrennungswärme zu Heizzwecken aus. Auch bei der Erzeugung von Gasglühlicht kommt diese Heizwirkung ausschließlich in Betracht. Beim Acetylen kann man durch Beimischung von Luft im Bunsenbrenner zwar auch entleuchtete Flammen herstellen und diese dann zur Glühlichterzeugung benutzen. Da aber einerseits bei einer sehr geringen Beimischung von Luft zum Acetylen und andererseits auch bei sehr hohem Acetylengehalte eines Gasluftgemisches dieses stark explosibel ist, so ist es ziemlich schwierig, Acetylenbunsenbrenner zu konstruieren, bei denen die Flamme nicht sofort auf die Düse zurückschlägt.

b) Das Gasglühlicht.

1. Niederdruckglühlicht. Der Vorläufer des heute allgemein angewandten Gasglühlichts ist das im Jahre 1826 erfundene Drummondsche Kalklicht. Leitet man eine Wasserstoff-sauerstofflamme auf ein massives Stäbchen aus gebranntem Kalk, so erhält man ein sehr intensives, weißes Licht. Dieses Drummondsche Kalklicht hat sich bis in die Gegenwart hinein für Projektionszwecke erhalten. Man wendet allerdings heute an Stelle des rasch zerfallenden Kalkes Körper aus Zirkonoxyd an, und an Stelle des Wasserstoffes benutzt man meist Steinkohlengas, kann aber auch jedes andere brennbare Gas benutzen (Vgl. Abb. 18).

Für die eigentliche Beleuchtungspraxis ist das Drummondsche Kalklicht bedeutungslos geblieben. Weit wichtiger für die Entwicklung der Gasbeleuchtung sind die Versuche von Berzelius und Bunsen gewesen, die bei der Erhitzung gewisser seltener Erden in der Bunsenflamme festgestellt hatten, daß diese durch ein besonderes hohes Lichtstrahlungsvermögen ausgezeichnet sind. Auf diesen Versuchen baut sich ganz direkt die Erfindung Auer's auf. Bis zum Auftauchen des Auerlichtes ist aber noch eine große Reihe tastender Versuche gemacht worden, die Lichtstrahlung glühender fester Körper zu Leuchtzwecken nutzbar zu machen. Willard und Lewis führten in die nichtleuchtende Flamme des Bunsenbrenners Körbchen aus dünnem Platindraht ein. Clammond schlug vor, an Stelle des Platindrahtes dünne Geflechte aus Magnesia und anderen Oxiden zu benutzen. Fahnejelem benutzte zur Lichterzeugung Rämme aus dünnen Magnesiastäbchen (Abb. 19), die mit einer Wasserstoff- bzw. Wassergasflamme erhitzt wurden. Alle diese Unternehmungen führten jedoch nur ein Eintagsdasein. Die erhitzten Massen waren

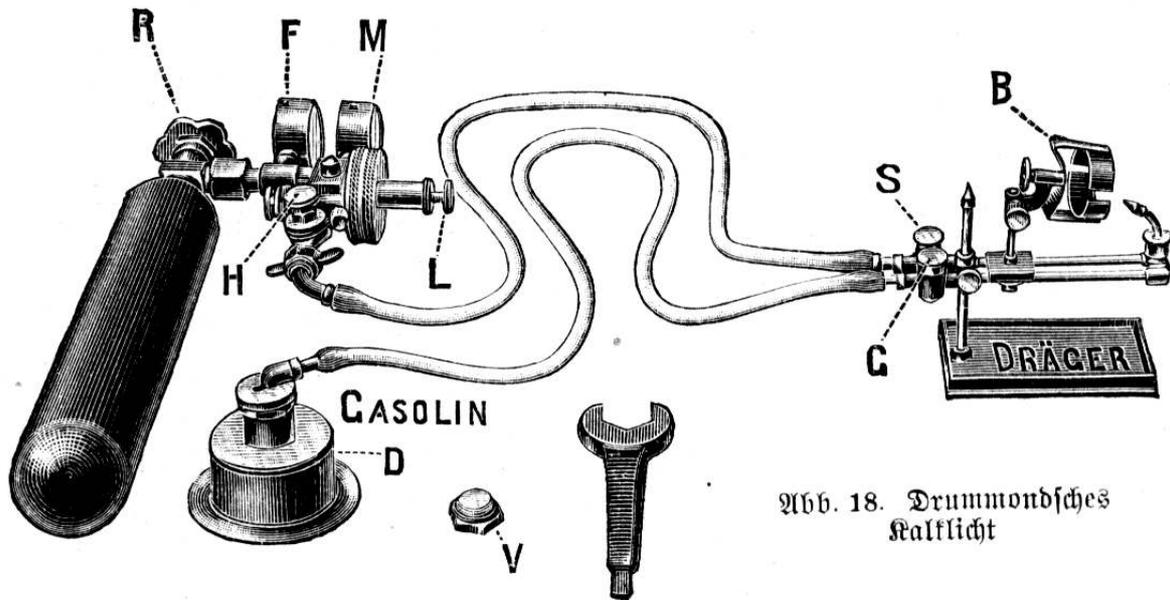


Abb. 18. Drummondsches Kalklicht

in allen Fällen viel so groß. Sie setzten infolgedessen die Temperatur der Flamme erheblich herab. Wollte man auf diesem Wege Erfolge erzielen, so mußte Bedacht darauf genommen werden, die zu erhitzenden festen Stoffe in feinsten Verteilung in die Flamme zu bringen. Auf einem richtigen Wege befand sich Frankenstein mit seinem „Solar“- und „Lunar“-Lichte. Frankenstein tauchte 1842 Gazestückchen in einen Brei aus Gips, Magnesia und Gummiarabikum, formte aus der Gaze tütenförmige Glühkörper und hängte diese in die Flamme einer Spirituslampe. Hierbei veraschte das Gewebe, und es blieb ein dünnes Skelett als Kalk und Magnesia übrig, das zum Leuchten kam. Da die Lichtstrahlung der Frankensteinschen Solarlampe nicht sehr beträchtlich war, so führten auch diese Versuche zu keinem Ziele.

Erst im Jahre 1886 machte Auer v. Welsbach einen bedeutsamen Schritt vorwärts. Er imprägnierte Gazeschläuche mit den Oxiden von Zirkon, Lanthan, Yttrium und Magnesium. Diese Körper brachte er in die Bunsenflamme und erzielte hiermit Inkalandeszenzwirkungen. Die Versuche Auer's fanden zunächst aber keine Anerkennung in der Beleuchtungstechnik. Die elektrotechnischen Zeitschriften, besonders das Zentralblatt für Elektrotechnik, überschütteten Auer mit grausamem Hohne, indem sie das fahlgrüne Auerlicht zur Beleuchtung von Begräbniskapellen und dergleichen empfahlen. Und selbst das Journal für Gasbeleuchtung konnte dem Auerlichte keine Lichtseite ab-

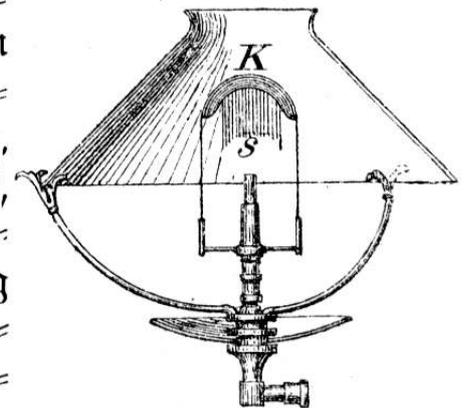


Abb. 19. Fahnejelms Kamm.

gewinnen. Die ersten Erfolge Auer's waren in der Tat auch nicht sehr verheißungsvoll, verbrauchte sein Licht doch stündlich 6 l Gas per Kerze.

Auer ließ sich jedoch nicht entmutigen. Und bei seiner rastlosen Forschungsarbeit fand er schließlich, daß mit dem damals für chemisch rein gehaltenen Thoroxyde die besten Lichtwirkungen zu erzielen seien. Mit dem im Jahre 1892 an die Öffentlichkeit gebrachten neuen Auerlichte vermochte er eine Ökonomie von 2 l Gas für 1 Kerzenstunde zu erzielen.

Damit hatte er hinsichtlich der Gestehungskosten alle damaligen Lichtquellen außer dem elektrischen Bogenlichte geschlagen, und das Auerlicht eroberte sich im Sturme die Welt. Der Verbreitung stand allerdings anfänglich der hohe Preis des Thoroxydes im Wege — ein einzelner Glühkörper kostete anfänglich 5 M. — aber bald fand man unerschöpfliche Lagerstätten eines Rohmaterials für die fabrikmäßige Herstellung des Thoroxydes. Es sind dies die noch heute ausgebeuteten Ablagerungen von Monazitsand in Brasilien, Kanada und Australien. Der Preis des Glühlichtes ging infolgedessen sehr rasch bis auf 3 M. für einen Glühkörper herab. Zugleich bemächtigte sich die Konkurrenz der Auer'schen Erfindung, und die besten Köpfe wurden gewonnen, um die Auer'schen Patente zu Fall zu bringen. Auer hatte sich ursprünglich die Anwendung reinen Thoroxydes schützen lassen. Als er erkannte, daß dieses damals für rein gehaltene Thoroxyd etwa 1 % Zeroryd enthielt, beantragte er ein neues Patent auf den Zusatz von Zeroryd zum Thoroxyd. Dieses Patent wurde nicht erteilt und Auer versäumte es, gegen die Abweisung Beschwerde zu erheben. Dieser Formfehler war es wesentlich, der die Nichtigkeitserklärung des grundlegenden Auerpatentes im Jahre 1896 durch das Reichsgericht bewirkte. Hiermit hatte der Wettbewerb freie Bahn erhalten, und es setzte ein gewaltiger Aufschwung der Gasglühlichtbeleuchtung ein, der alle älteren Gasbeleuchtungsapparate rasch verdrängte.

Der freie Wettbewerb förderte übrigens auch sehr erheblich den technischen Fortschritt. An Stelle der trifotierten Baumwollgewebe, die Auer im Jahre 1892 angewandt hatte, traten Rohgewebe aus Kamiefaser, die wegen ihrer rauheren Oberfläche die Ökonomie der Lichtstrahlung wesentlich verbesserten. Man lernte es, die ursprünglich überaus zerbrechlichen Glühkörper durch Behandlung auf Preßgasflammen zu härten. Durch Eintauchen der fertigen Glühkörper in Kollodiumlösung gelang es, die fertigen Glühkörper auch transportfähig zu machen. Und

schließlich wurde durch Verwendung von Kunstseide als Rohmaterial für den Glühkörper dieser auch im unkolodinierten Zustande außerordentlich fest gemacht.

Parallel mit der technischen Entwicklung ging allerdings auch eine Preisherabsetzung der Glühkörper, die für zahlreiche, besonders kleinere Fabriken verhängnisvoll wurde, die aber auf der anderen Seite das Glühlicht überaus populär machte. Heute gibt es infolgedessen in Ortschaften mit Gasanstalten nur noch recht wenige Häuser, wo keine Gasbeleuchtung zu finden ist. Parallel mit der Verbesserung der Glühkörper ging auch eine Verbesserung der Brenner.

Ursprünglich kam nur der gewöhnliche Bunsenbrenner zur Anwendung. Von Jul. Birtsch wurde sodann ein Brenner mit erweitertem Brennerkopfe (Abb. 20) konstruiert, der eine innigere Mischung von Gas und Luft und damit eine Erhöhung der Verbrennungstemperatur bewirkte. Indem man bei diesem Brenner die Flamme aus einem mit Drahtgaze abgedeckten Ringschlitze austreten ließ, wurde die Flammenform dem Glühkörper angepaßt, und damit an Gasverbrauch gespart. In der neueren Zeit ist man von dieser Brennerform allerdings teilweise wieder abgegangen und wendet wieder engere Brenner an — den Olsobrenner und seine Abarten — die eine noch bessere Lichtausbeute ermöglichen. Und schließlich kehrte man den Bunsenbrenner um, ließ die Flamme nach unten schlagen und einen nach unten hängenden Glühkörper beheizen, so daß auch noch die Lichtverteilung in den Raum verbessert wurde. Heute werden diese „Hängebrenner“ (vgl. S. 69) besonders bevorzugt.

Der stehende Brenner weist eine für die meisten Anwendungszwecke unvorteilhafte räumliche Lichtverteilung auf. Der größere Teil des Gesamtlichtstromes fällt in die obere Raumhälfte. Beim Hängebrenner fällt dagegen fast der gesamte Lichtstrom in die untere Raumhälfte. Zur Erzielung einer guten Platzbeleuchtung sind also beim stehenden Brenner Reflektoren oder Lampenglocken anzuwenden, um eine günstige

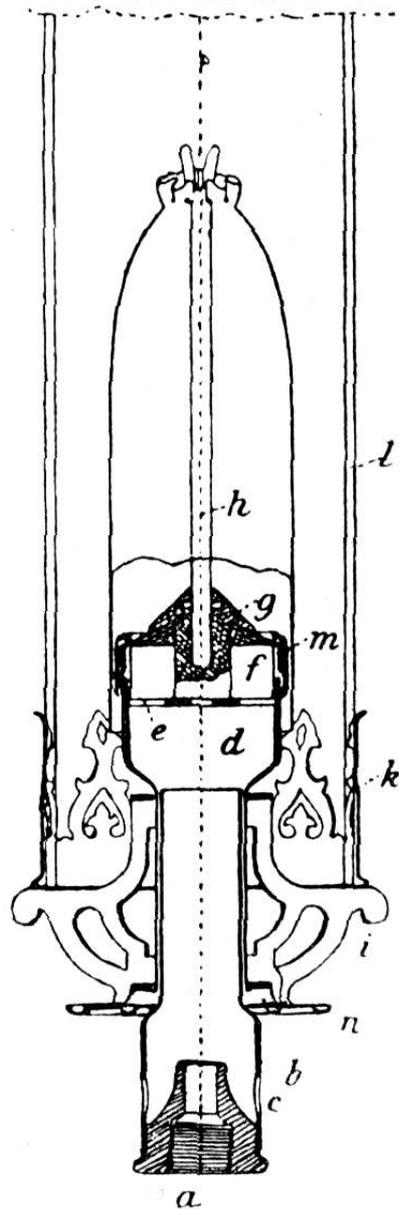


Abb. 20. Normaler Auerbrenner.

Lichtstrahlung nach unten zu bewirken. In Abb. 21 ist die photometrische Kurve eines stehenden Gasglühlichtbrenners ohne Glocke (stark ausgezogen) und die photometrische Kurve desselben Brenners mit einem Albatringlasschirme (gestrichelt ausgezogen) gezeichnet. Zum Vergleich ist in Abb. 22 auch die räumliche Lichtverteilung eines Hängebrenners wiedergegeben.

Legt man bei der Vergleichung der Leistungen verschiedener Glühlichtbrenner nur die untere hemisphärische Lichtstärke zugrunde, so kann man leicht zu einer Überschätzung des Hängebrenners gelangen, und in bewußt irreführender Weise wird so von den Fabrikanten der Hängebrenner verfahren, die in ihren Reklamen von 45—50 % Gasersparnis bei gleicher Lichtleistung sprechen. Führt man dagegen korrekterweise die Vergleichung auf der Basis der gesamten räumlichen Lichtstrahlung durch, so ergibt sich nur eine ganz geringe Überlegenheit des Hängebrenners über den Stehbrenner. Die nachstehende Tabelle gibt die Hauptdaten für die Vergleichung des stehenden Brenners und des Hängebrenners.

	stehendes Glühlicht	hängendes Glühlicht
Gasverbrauch in 1 p. Stunde	121,5	96,8
horizontale Lichtst. (HK)	107,0	106,8
mittl. sphär. Lichtst. (HK)	89,6	82,3
Ökonomie in 1 Gas p. HK ₀ u. Stunde .	1,356	1,178
Ökonomie in Watt p. HK ₀	7,98	6,97
Verhältnis der Lichtstrahlung zur Gesamtstrahlung %	2,92	2,97
Verhältnis der Lichtstrahlung zur aufgewandten Energie %	0,46	0,51

Diese Tabelle zeigt zugleich, daß sowohl bei dem hängenden, als auch bei dem stehenden Glühlicht die physikalische Ökonomie der Lichterzeugung gleich schlecht ist. Sie bleibt weit hinter der sämtlicher elektrischer Lampen, selbst hinter der der Kohlenfadenlampen zurück (vgl. S. 83). Hierbei ist allerdings ganz von den Gestehungskosten der aufzuwendenden Energie abgesehen. Bei einem Einheitspreise von 13 Pf. für das cbm Gas und von 40 Pf. für die Kilowattstunde wird das Gasglühlicht allerdings wesentlich billiger als selbst das

Licht von Metallfadenlampen.¹⁾ Schon bei einem Preise von 20 Pf. für die Kilowattstunde wird das elektrische Licht auch billiger als das Gasglühlicht.

Das Gasglühlicht darf aber eigentlich nicht mit dem elektrischen Lichte verglichen werden, wenn man den durch die Auerische Erfindung inaugurierten Fortschritt werten will, man muß es vielmehr mit den älteren Formen der Gasbeleuchtung in Parallele stellen. Und hier ergibt sich dann auch eine ganz gewaltige Überlegenheit hinsichtlich der Ökonomieverbesserung bei der Lichterzeugung.

Die Erklärung der günstigen Ökonomie des Gasglühlichtes hat lange Zeit erhebliche Schwierigkeiten gemacht, und es sind verschiedene Hypothesen aufgestellt worden, die aber nach der Aufstellung der Strahlungsgesetze aufgegeben werden mußten. Heute wird allgemein anerkannt, daß das Gasglühlicht auf selektiver Temperaturstrahlung beruht. Schon Le Chatelier und Nernst zogen aus optischen Versuchen den Schluß, daß beim

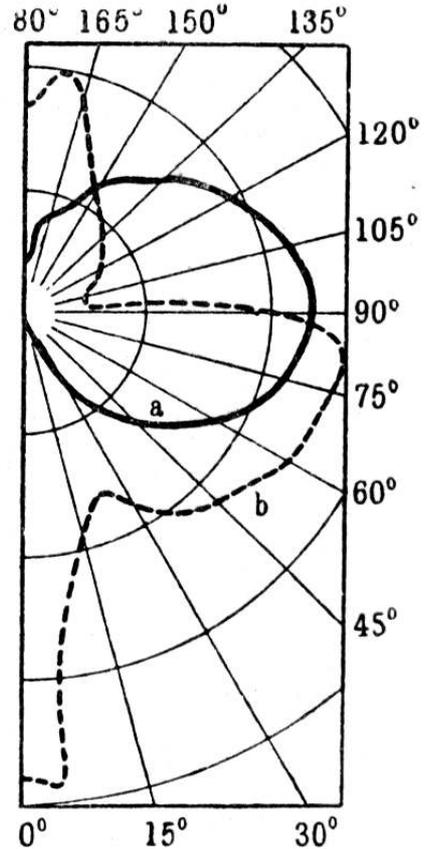


Abb. 21. Lichtverteilung beim Normal-Auerbrenner (a) beim Auerbrenner mit Albatrinschirm (b)

180° 165° 150° 135° 120°

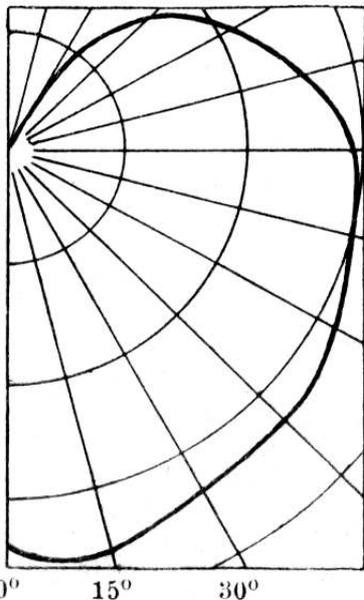


Abb. 22 Lichtverteilung beim Hängebrenner.

Gasglühlicht eine verhältnismäßige geringe Strahlung im Ultraroten die hohe Ökonomie begründet. Durch eine sehr sorgfältige Untersuchung von Rubens hat dieser Schluß seine volle Bestätigung gefunden.

Rubens durchforschte die Energiestrahlung im Spektrum des Glühkörpers von $\lambda = 0,45$ bis $\lambda = 18\mu$ (Abb. 23) und fand, daß die Energiestrahlung im Blauen sehr hoch sei ($S_\lambda = 0,86$), wenn man die Energiestrahlung eines mit dem Glühkörper gleichtemperierten Schwarzen Körpers im gleichen Gebiete = 1 setzt. Nach dem Rot hin nimmt sie stark ab ($S_\lambda = 0,062$), zwischen 1 bis 5μ , in welchem Gebiete bei den meisten unserer Lichtquellen die hauptsächlichste

1) Als Verbrennungswärme von Leuchtgas kosten 5000 Kalorien 13 Pf. Die äquivalente Stromarbeit von 5,31 Kilowattstunden kostet dagegen 2,12 M.

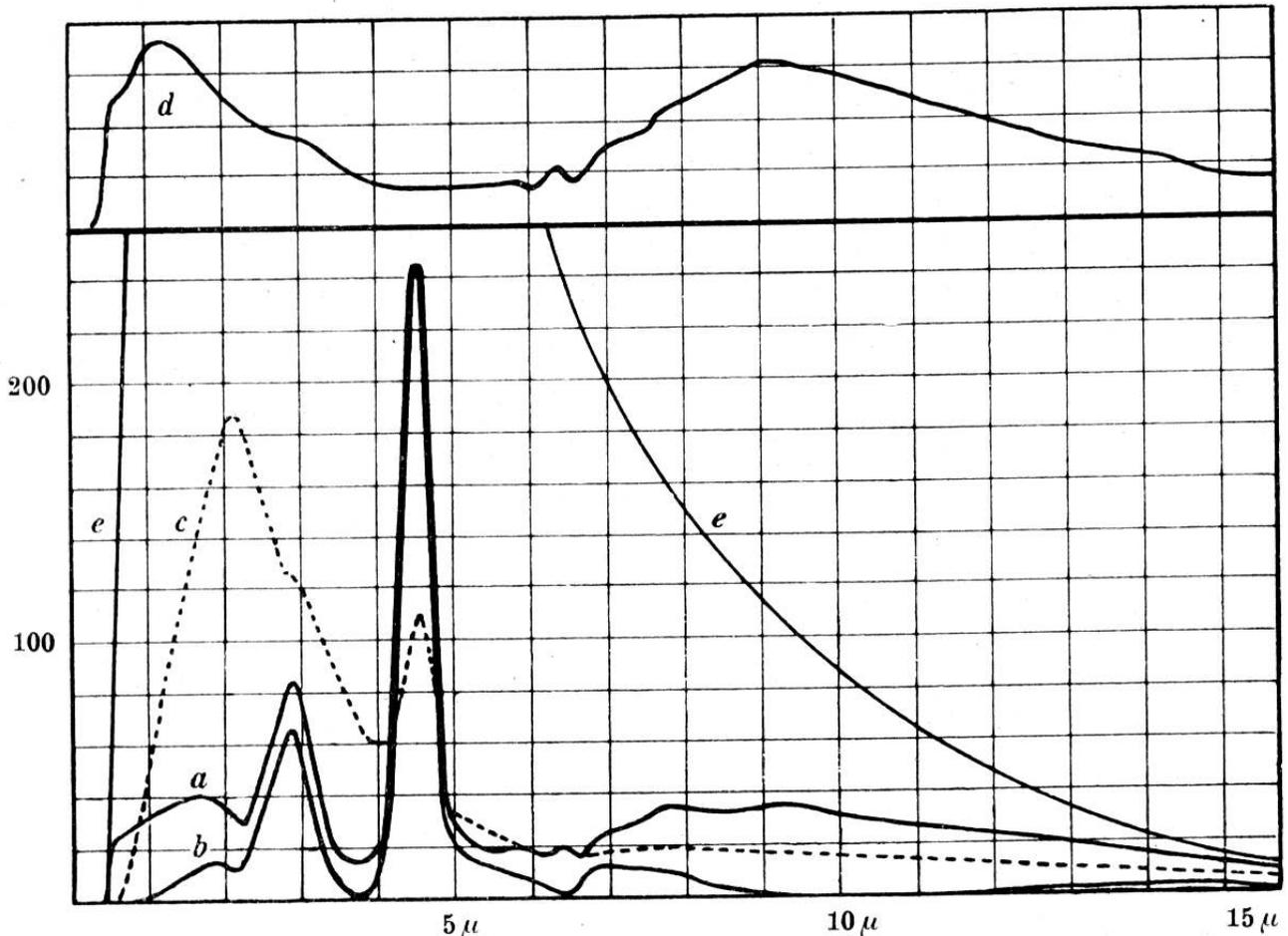


Abb. 23. Emissionskurve *a*) des Muerbrenners mit Degeastrumpf, *b*) der Bunsenflamme, *c*) des Muerbrenners mit entleuchtetem (Eisenoxyd-)Strumpf, *d*) des Muerkörpers allein [Kurve *a*) abzüglich *b*), die Ordinaten sind hier, gegenüber den Ordinaten der anderen Emissionskurven, verdoppelt], *e*) des Schwarzen Körpers von 1800° abs.

Energiestrahlung erfolgt, ist S_2 kleiner als 0,02. Erst im Gebiete der langen Wellen beginnt die Strahlungsintensität wieder zu wachsen und erreicht bei $\lambda = 18 \mu$ den Wert 0,81. Hier spielt die gestrahlte Energie im Verhältnis zur Gesamtstrahlung aber keine wesentliche Rolle mehr. Von Wichtigkeit ist nur die geringe Strahlung zwischen 1μ und 5μ . Die Wärmeverluste durch Ausstrahlung werden infolgedessen auf ein geringes Maß reduziert, und die Flammentemperatur wird sehr wesentlich für die Lichterzeugung ausgenutzt. Die Temperatur des Glühkörpers wurde von Rubens in guter Übereinstimmung mit Untersuchungen von Holborn und Kurlbaum zu 1800° abs. bestimmt. Während bei dem Schwarzen Körper von gleicher Temperatur nur wenige Promille der Gesamtstrahlung Licht sind, steigt der prozentuale Anteil der Lichtstrahlung auf ca. 3 % der Gesamtstrahlung an. Die Untersuchungen von Rubens lieferten auch eine vollständige Erklärung der relativen Rolle, die das Thoroxyd und das Zeroxyd im Glühkörper spielen.

Bei einem Glühkörper aus reinem Thoroxyd fällt die Energiestrahlung im sichtbaren Gebiete fast vollständig fort. Er leuchtet kaum. Erst bei den langen Wellen nimmt die Energiestrahlung entsprechend der eines normalen Thor-Zer-Glühkörpers zu. Bei einem Glühkörper aus reinem Zeroryd dagegen ist die Strahlungsenergie im ganzen Spektrum sehr groß, am größten bei den kurzen Wellen und bei sehr langen Wellen und am kleinsten zwischen 1 bis 8 μ . Ein geringer Zusatz von Zeroryd zu einem aus reinem Thoroxyd hergestellten Glühkörper muß also die Strahlung gerade im sichtbaren Gebiete wesentlich erhöhen. Das Zeroryd wirkt demnach bei hoher Temperatur als färbende Substanz, freilich nur im Gebiete der sehr kurzen Strahlen und leider auch wieder im Ultraroten. Ein ideales Färbemittel ist also auch das Zeroryd noch nicht. Könnte ein Stoff ausfindig gemacht werden, der ähnliche Wirkungen wie das Zeroryd im Gelben und Roten ausübte, ohne zugleich im Ultraroten färbend zu wirken, so könnte nach Rubens die Lichtausbeute des Gasglühlichtes auf das Dreifache gegen heute erhöht werden.

Aus den Untersuchungen von Rubens ergibt sich eine Widerlegung der früher von verschiedenen Forschern gemachten Annahmen, daß teilweise Lumineszenzerscheinungen die hohe Lichtemission der Glühkörper bedingten; denn die Lichtstrahlung des Auerglühkörpers bleibt im ganzen untersuchten Spektralgebiete unterhalb der Strahlung des gleichtemperierten Schwarzen Körpers.

Alle brennbaren Gase können, wenn man sie im Bunsenbrenner verbrennt, zur Gasglühlichterzeugung benutzt werden. Merkwürdigerweise ist aber die physikalische Ökonomie bei denjenigen Gasen, die ärmer an schweren Kohlenwasserstoffen sind, besser als bei den reicheren Gasen. Auf die Einheit der Verbrennungswärme bezogen, liefert also beispielsweise Wassergas und auch Luftgas mehr Licht als Ölgas oder Acetylen. Diese Erscheinung ist eingehend studiert worden, aber nicht ganz einfach zu erklären, jedenfalls spielen hier verschiedene Momente eine wesentliche Rolle. In erster Linie kommt die Verbrennungstemperatur in Betracht. Die Verbrennungstemperatur hängt aber von der Geschwindigkeit der Verbrennung ab. Ist einem Gase gerade so viel Luft beigemischt als zur vollständigen Verbrennung erforderlich ist, so vollzieht sich die Verbrennung explosionsartig und gleichzeitig wird die höchstmögliche Temperatur erzeugt. Zur Glühlichterzeugung eignet sich eine solche „Knallgas“-Flamme aber nicht, weil sie nur sehr kurz ist. Man muß deshalb im Bunsenbrenner immer weniger Luft beimischen als zur vollständigen Verbrennung notwendig ist. Die Menge erforderlicher Mischluft ist aber bei den verschiedenen brennbaren Gasen sehr verschieden. Gase, die reich an schweren Kohlenwasserstoffen sind, brauchen mehr Mischluft als die ärmeren Gase. Ist man dann gezwungen, einem Gase im Bunsenbrenner sehr viel Mischluft zuzuführen, so bringt man neben dem die Verbrennung allein unterhaltenden Sauer-

stoff auch noch die fünffache Menge Stickstoff in die Flamme, der, weil er unnötig mit erwärmt werden muß, als toter Ballast wirkt und der Flamme Wärme entzieht. Durch die Zufuhr großer Luft- bzw. Stickstoffmengen in die Flamme wird diese auch voluminöser und erleidet stärkere Wärmeverluste durch Abstrahlung als eine konzentrierte Flamme. Schließlich vermischen sich die schweren Kohlenwasserstoffe im Bunsenbrenner auch schlechter mit der Mischung als Wasserstoff, Methan oder Kohlenoxyd, so daß auch schon aus diesem Grunde bei einem großen Reichtum an schwereren Kohlenwasserstoffen eine Verzögerung in der Verbrennung eintritt. Mischt man dem Gase von vornherein ein gewisses Luftquantum bei, wie das bei der Selasbeleuchtung und vor allem dem Luftgas geschieht, so kommt dieses letzterwähnte Moment in Wegfall und es resultiert dann in der Tat auch wieder eine beträchtliche höhere Ökonomie.

Unter diesem Gesichtspunkt ist eine Vergleichung der physikalischen Ökonomie der Gasglühlichterzeugung bei verschiedenen Gasarten von großem Interesse.

Gasart	Verbrennungswärme Kalorien p. cbm.	physik. Ökonomie Watt/HK ₀
Luftgas	3300	6,31
Steinkohlengas	5000	7,98
Blaugas	16470	8,79

2. Stehende Starklichtbrenner. Das Studium der Flamme bei Gasglühlichtbrennern führte zu systematischen Versuchen, die Ökonomie des Glühlichtes zu verbessern und vor allem auch dazu, Lampen von hohen Lichtstärken zu bauen, die mit den elektrischen Bogenlampen konkurrieren konnten.

Der erste gelungene Versuch in dieser Richtung war die Lucaslampe, die in Abb. 24 abgebildet ist. Bei dem Auerbrenner kann die Außenluft unbeschränkt zur Flamme Zutreten, und dem Gasstrom werden im Brenner nur etwa 2—3 Teile Luft auf 1 Teil Gas zugemischt, während zur vollständigen Verbrennung rund 6 Teile Luft erforderlich sind. Lucas schloß dagegen den Brennerkopf und den Glühkörper in eine Glasglocke ein, die der Außenluft nur beschränkten Zutritt zur Flamme gestattete. Dafür setzte er auf die Glasglocke einen hohen Schornstein, durch dessen Zugwirkung die Injektorwirkung des Gasstromes auf die Mischung beträchtlich erhöht wurde. Auf diese Weise mischte Lucas der frei brennenden Flamme mehr als 6 Teile Luft auf 1 Teil Gas zu und erzielte eine Flamme, die sehr wesentlich in Form und Farbe von der Flamme eines gewöhnlichen Glühlichtbrenners abweicht. Während nämlich die

letztere einen ausgesprochenen grünen Flammenkern aufweist, der von einem bläulichen Flammenmantel umgeben ist, besteht die aus einem Drahtneze herausbrennende Flamme der Lucaslampe aus einzelnen tiefblauen Spitzchen, die von einem gemeinsamen Flammenmantel umgeben sind. Die Flamme ähnelt sehr einer echten Knallgasflamme und sie hat auch sonst die Eigenschaften einer solchen, nämlich eine sehr rasche Verbrennung, der eine hohe Temperatur entspricht. Die Flamme schlägt aber trotzdem nicht auf die Brennerdüse zurück, weil durch die Zugwirkung des Schornsteines die Austrittsgeschwindigkeit des Gasluftgemisches aus der Brennermündung größer ist als die stattete, die der einer Reinkohlenbogenlampe von 8 Ampère entsprach. Sie wurde deshalb in großem Umfange zur Straßenbeleuchtung, zur Beleuchtung von Fabrikräumen und dgl. benutzt. Auch heute findet sie noch vielfache Anwendung. Ihre Leistungen sind zwar von der Preßgasbeleuchtung wesentlich übertroffen worden, dafür zeichnet sie sich durch unübertroffene Einfachheit in der Konstruktion aus.

3. Stehendes Preßgaslicht. Anstatt nach dem Vorgange von Lucas die Injektorwirkung des Gasstromes durch die Zugwirkung eines hohen Schornsteines zu unterstützen, um große Luftmengen dem Gase innerhalb des Brenners zuzuführen, kann man natürlich die Injektorwirkung durch Drucksteigerung des Gasstromes direkt erhöhen. Das

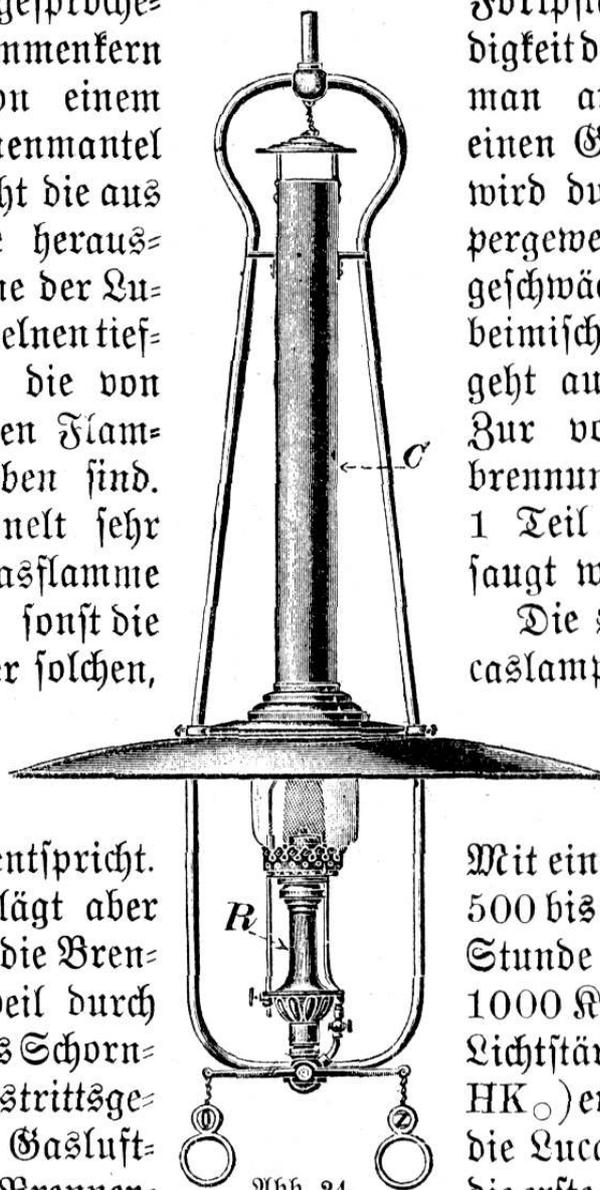


Abb. 24.
Lucaslampe.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion. Setzt man auf diese Flamme einen Glühkörper auf, so wird durch das Glühkörpergewebe die Zugwirkung geschwächt, und die Luftbeimischung zur Flamme geht auf 5 Teile zurück. Zur vollständigen Verbrennung muß dann noch 1 Teil Außenluft angesaugt werden.

Die Ökonomie der Lucaslampe ist bereits erheblich günstiger als die einer Auerlampe.

Mit einem Aufwande von 500 bis 1000 l Gas in der Stunde können 500 bis 1000 Kerzen horizontaler Lichtstärke (400 bis 800 HK₀) erzeugt werden. Und die Lucaslampe war auch die erste Gaslampe, die eine Lichtstärke zu erzeugen ge-

geschieht bei den Preßgaslampen. Bei dem gewöhnlichen Auerlicht und auch bei der Lucaslampe wird nur der Druck ausgenutzt, der in den Gasleitungen herrscht, und der dem einer Wassersäule von 40 bis 60 mm entspricht. Bei den Preßgaslampen dagegen wird das den Gasleitungen entnommene Gas durch Kompressoren auf einen Überdruck von 800 bis 2000 mm Wassersäule gebracht. (In einzelnen Fällen ging man sogar bis auf einen Überdruck von 1 Atmosphäre [entsprechend ca. 10 000 mm Wassersäule] hinauf.) Man erzielt auf diese Weise bei einem Gasverbrauche von 1000 bis 1200 Liter in der Stunde Lichtstärken von 1200 bis 1500 HK in horizontaler Richtung (bzw. 1000 bis 1200 HK₀.)

Eine besondere Art der Preßgasbeleuchtung wird durch das Selaßlicht repräsentiert. Bei dieser Beleuchtung wird dem Leuchtgase schon vor der Kompression die gleiche bis doppelte Menge atmosphärischer Luft beigemischt, und das Gasgemisch wird dann auf einen Druck von 300 bis 800 mm Wassersäule gebracht. Man erzielt hierbei eine noch günstigere Ökonomie als bei der Kompression des Gases allein, und man kann bei der Selaßbeleuchtung auch kleine Brenner von 100 bis 150 HK Lichtstärke benutzen, während bei der gewöhnlichen Preßgasbeleuchtung nur Brenner für hohen Konsum vorteilhaft arbeiten.

4. Das hängende Gasglühlicht. Der Hängebrenner ist im Grunde nichts anderes als eine Umkehrung des stehenden Bunsenbrenners. Der Bunsenbrenner brennt zunächst ruhig weiter, wenn man seine Flamme nach unten brennen läßt. Sehr bald aber steigen die verbrauchten Flammengase in die Höhe und werden durch die Luftöffnungen in das Brennerrohr eingesaugt. Der Flamme fehlt es dann an Sauerstoff, und sie schlägt schließlich auf die Düse zurück. Um Hängebrenner dauernd betreiben zu können, ist es deshalb erforderlich, die Verbrennungsgase von den Luftöffnungen des Brennerrohres abzulenken, und außerdem muß die Außenluft so geführt werden, daß eine den Glühkörper vollständig umspülende Flamme entsteht.

Die zahlreichen auf dem Markte befindlichen Hängebrenner unterscheiden sich nur in konstruktiven Kleinigkeiten voneinander. Es genügt deshalb die Beschreibung des weit verbreiteten Graëzinbrenners. (Abb. 25.) An die Gasleitung schließt die nach unten gerichtete Düse *a* an, die in ein Brennerrohr *c* abbläst. Durch die Öffnungen *b* wird Mischluft in das Brennerrohr angesaugt. Das Mischrohr führt zu einem erweiterten Brennerkopfe *d*, in den ein Drahtnetz eingesetzt ist und der in einem Magnesiummundstück *f* endet. Das Mischrohr ist von zwei

D-förmigen Rohren *g* umgeben, die die Aufgabe haben, die Verbrennungsgase abzuführen. Von den Luftöffnungen *b* werden die Verbrennungsgase durch die Ablenflächen *i* abgehalten. Der Brennerkopf ist von einem Zylinder *e* umgeben, der in die beiden Schornsteinrohre mündet. Dieser Glaszylinder fehlt bei einigen Brennertypen. Der Glühkörper ist an einem Magnesiaträger *l* mit Asbestfäden angebunden und hängt an Aussparungen des Mundstückes *d*. Brennermündung und Glühkörper sind schließlich von einer Glasglocke *h* umgeben.

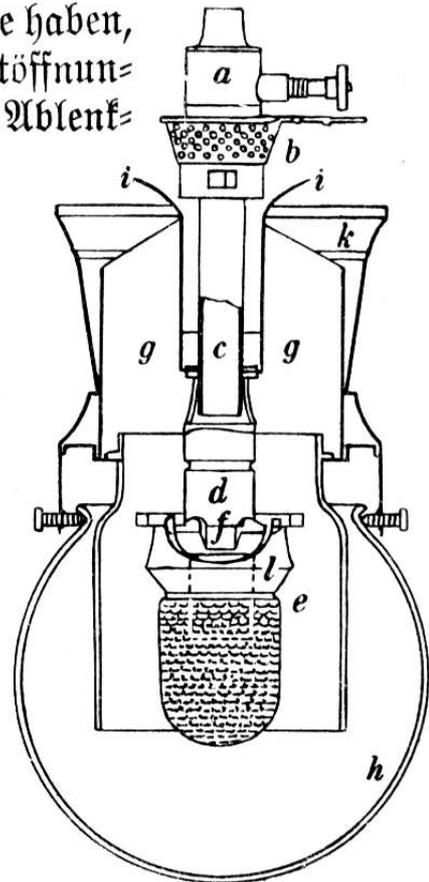


Abb. 25. Gräzibrenner.

Man entzündet die Flamme, indem man das nach dem Aufdrehen des Gashahnes aus den Schornsteinen *gg* austretende Gasluftgemisch anzündet. Während des Brennens wendet sich die Flamme ringsförmig nach oben um und durchdringt den ganzen Glühkörper. Dieses Umwenden der Flamme wird im wesentlichen durch den Zug der Schornsteine *gg* bewirkt. Zu Hilfe kommt ihnen hierbei die Außenluft, die durch den Zwischenraum zwischen Zylinder *e* und Glocke *h* einfällt und zwischen Zylindermantel und Glühkörper senkrecht in die Höhe steigt.

Bei den Brennern, die keinen Innenzylinder besitzen, wird durch einen Blechtrichter, der sich zwischen Außenglocke und Brennerkopf befindet, die Außenluft gezwungen, wenigstens an dem oberen Teile des Glühkörpers entlang zu streichen.

Eine ganz besondere Aufmerksamkeit ist bei den Hängebrennern der Ausbildung der Düse zu schenken. Diese Düse ist hier immer so eingerichtet, daß sie die Regulierung der Gaszufuhr auch während des Brennens gestattet. Alle die zahllosen Regulierdüsen weisen immer das gleiche Prinzip auf: In dem Düsenkörper (Abb. 26) mit weiter Bohrung ist ein oben geschlossener Hohlzylinder oder ein einfacher konischer Dorn als Nadelventil verschiebbar angeordnet. Durch Betätigung einer Einstellschraube kann der bewegliche Teil in der Düsenbohrung so verstellt werden, daß mehr

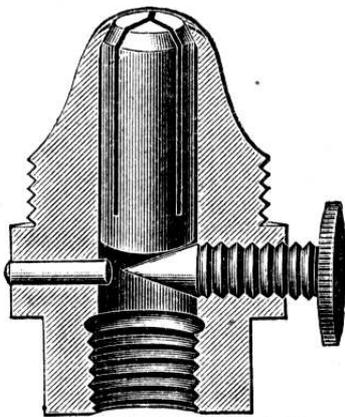


Abb. 26. Regulierdüse.

oder weniger Gas durch die Düsenbohrung austreten kann. Die Einstellschraube wirkt entweder durch einen Erzenter zwangsläufig auf den verschiebbaren Innenteil der Düse, oder sie läßt durch ihr konisch gestaltetes Ende den Federdruck des in der Abbildung gezeichneten Hohlzylinders mehr oder weniger wirksam werden. Infolge des Kreuzschlitzes in dem Hohlzylinder wirken dessen Stege so, daß sie den Hohlzylinder herunterdrücken. Schraubt man die Einstellschraube heraus, so kann sich der Hohlzylinder herunter bewegen; schraubt man die Einstellschraube hinein, so drückt ihr konisches Ende den Hohlzylinder wieder in die Höhe. — Da es bei Hängebrennern sehr wichtig ist, daß das Mischungsverhältnis von Gas und Luft dauernd konstant bleibt, so müssen auch die Luftzuführungsöffnungen im Brennerrohr eine regelbare Größe haben. Man kann deren freien Durchlaß verändern, indem man über die Luftöffnungen eine Hülse schiebt, die eine größere oder kleinere Durchgangsfläche für die angesaugte Luft freigibt. Man kann auch, wie das bei dem hängenden Querbrenner geschieht, diese Hülse schlißen und ihre Hälften mit einem Wärmeausdehnungskörper in Verbindung setzen, der so wirkt, daß sich die Hülse erst ganz öffnet, wenn der Brenner warm geworden ist. Hierdurch wird vor allem das lästige Zurückschlagen der Flamme auf die Düse beim Anzünden des Brenners verhütet.

5. Preßgas- und Preßlufthängebrenner. Besonders günstige Erfolge mit Hängebrennern werden erzielt, wenn man das Gas oder die Mischluft unter Druck einströmen läßt. Die unter gewöhnlichem Drucke (40—60 mm Wassersäule) arbeitenden Hängebrenner besitzen eine sehr weiche Flamme, die schon durch den geringsten Luftzug beeinflusst wird. Die gewöhnlichen Hängebrenner eignen sich deshalb schlecht zur Beleuchtung im Freien. Man muß komplizierte Laternenkonstruktionen anwenden, um den Wind von den Brennern abzuhalten. Die Flamme gewinnt dagegen wesentlich an Stetigkeit und Windsicherheit, wenn das Gasluftgemisch unter höherem Druck austritt. Hierbei ist es ziemlich gleichgültig, ob man primär komprimiertes Gas oder komprimierte Mischluft anwendet.

Mit den hängenden Hochdrucklampen sind besonders bei der Straßenbeleuchtung sehr große Erfolge errungen worden, und da bei gleicher Beleuchtung des Straßenplanums gegenwärtig die Anwendung von Hochdrucklampen billiger ist als die von Flammenbogenlampen, so hat in den letzten Jahren die Preßgas- oder Preßluftbeleuchtung der öffent-

lichen, elektrischen Beleuchtung großen Abbruch getan. Die Zahl der Konstruktionen für Preßgashängelicht ist sehr groß; Preßluftlampen werden dagegen fast ausschließlich von der Auergesellschaft gebaut.

Bei dem Preßgashängelicht, das eine sehr große Gasmenge verbrennt, wird eine entsprechend große Menge von Außenluft in die Lampenglocken eingeführt, die das Gasluftgemisch im Brenner und die Abgase stark abkühlt. Hierdurch wird der ordnungsmäßige Betrieb gestört. Um diese Übelstände zu beseitigen, wird jetzt allgemein die Außenluft vorgewärmt, ehe sie in die Abschlußglocke gelangt. Das Konstruktionsprinzip erhellt aus der Abbildung einer zweiflammigen Preßgas-

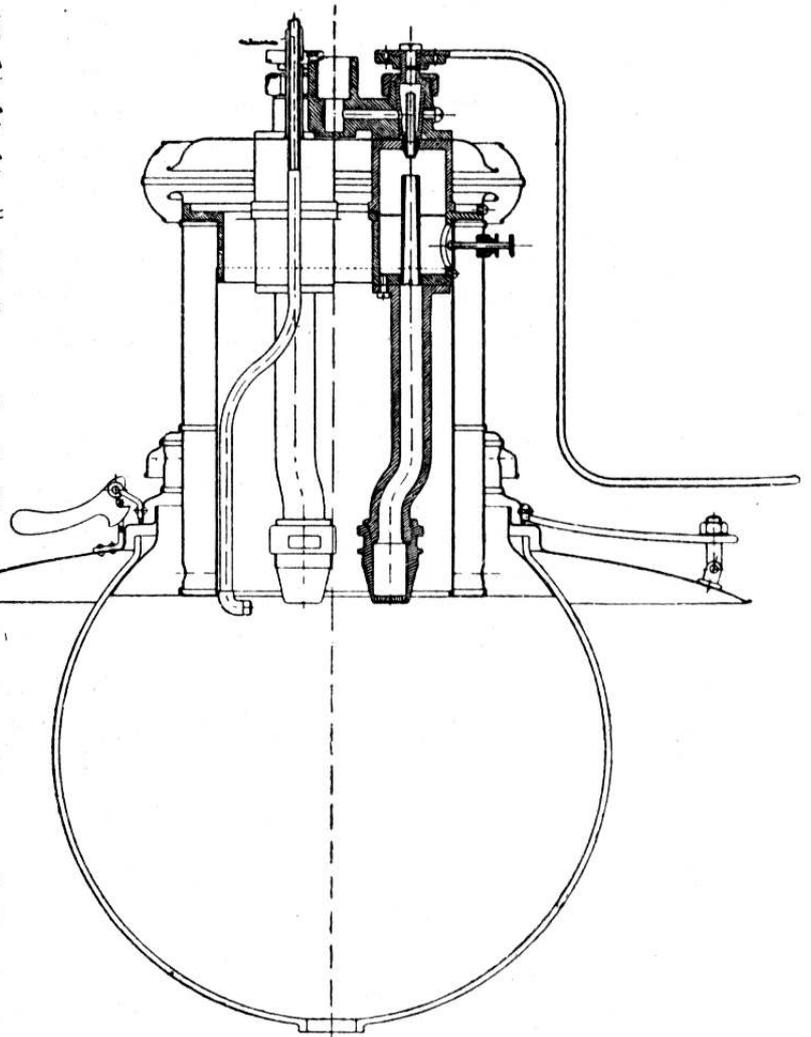


Abb. 27. Selaß-Preßgaslampe.

lampe der Selaß-Gesellschaft (Abb. 27). Charakteristisch ist hier besonders die große Länge der Brennerrohre und ihre starke Verjüngung an der Stelle, wo sie in die Injektorkammer einmünden. Der Luftzutritt zur Injektorkammer kann von außen geregelt werden. Diese Außenluft wird zum Teil durch einen die Lampe umgebenden Blechmantel zugeführt, wobei sie stark vorgewärmt wird, zum Teil durch Öffnungen an der Aufhängegestelle der Gasglocke. Durch geeignete Dimensionierung der Lufteintrittsstellen und des Zugschornsteines kann das Verhältnis der zutretenden vorgewärmten und der kalten Luft geregelt werden.

Die Preßgashängelampen werden einflammig oder zwei- und dreiflammig gebaut, bei den letzteren kann jeder Brenner für sich abgesperrt werden. Die erreichbaren Lichtstärken bei den verschiedenen Typen betragen in der unteren Raumbälfte im Mittel 1000, 2000 und selbst

4000 HK, die mittleren sphärischen Lichtstärken sind bzw. 600, 1200 und 2400 HK. Der Gasverbrauch beträgt 600 bis 2400 l in der Stunde, bei den neuesten Konstruktionen 500 bis 2000 l in der Stunde. Hieraus ergibt sich eine Ökonomie von rund 1 l für 1 HK₀ und bei den neueren Konstruktionen von 0,833 l für 1 HK₀.

Die Verwendung von Preßgas bringt gewisse Unzuträglichkeiten mit sich. Das komprimierte Gas muß unter hohem Drucke fortgeleitet werden, das bedingt teure und sehr sorgfältig verlegte Leitungen aus Mannesmannrohren. Trotzdem sind starke Gasverluste nicht zu vermeiden. Weiterhin erscheint es in technischer Hinsicht als ein Umweg, wenn zur Ansaugung einer großen Luftmenge in das Mischrohr die Injektorwirkung ausströmenden Gases benutzt wird, weil hierbei Energieverluste unvermeidlich sind. Aus diesen Erwägungen hat Klatt bei seinem „Pharos-Lichte“ zu dem Auswege gegriffen, nicht das Gas, sondern die Mischluft zu komprimieren. Wenn hierbei Verluste eintreten, so ist es immer nur Luft, die verloren geht. Die Rohrleitung braucht also nicht so sorgfältig ausgeführt zu sein, wie eine Hochdruckgasleitung. Von besonderer Wichtigkeit aber ist es, daß der volle Druck der gespannten Luft im Brenner ausgenutzt wird. Die Ökonomie der Preßluftlampen bewegt sich in den gleichen Grenzen wie die der Preßgaslampen.

Der Hauptnachteil der Hochdruckgaslampen besteht darin, daß neben den gewöhnlichen Gasleitungen noch Hochdruckleitungen zu verlegen sind, und daß ein besonderer maschineller Kompressorenbetrieb durchgeführt werden muß. Es ist deshalb von verschiedenen Seiten versucht worden, die ungenutzt verlorengelassene Wärme der Verbrennungsgase dazu auszunutzen, das Gas in der Lampe selbst zu komprimieren. Man kann dies in der Weise tun, daß man die heißen Abgase zum Betrieb eines kleinen, auf der Lampe montierten Heißluftmotors benutzt, oder daß man sie nach dem Vorgange von Lucas auf eine Thermosäule wirken läßt, deren Strom einen Ventilator antreibt, oder daß man gleichfalls nach dem Vorgange von Lucas von den Abgasen irgendeine Flüssigkeit verdampfen läßt und den Dampfdruck dazu benutzt, das Leuchtgas zu komprimieren. In sehr glücklicher Weise ist dieses letztere Verfahren von W. Liedke durchgebildet worden. Bei seiner Lampe wird durch die Abgase Quecksilber verdampft, dessen Dampf durch Injektorwirkung in einem besonderen Raume das Leuchtgas komprimiert. Das verdampfte Quecksilber wird vollständig wieder zurückgewonnen. In der Flamme

selbst ist kein Quecksilber nachweisbar. Die Autokompressorlampe (Abb. 28) wird von Halbmahr u. Co. in Wien in Verkehr gebracht.

6. Glühlicht mit flammenloser Verbrennung. In der letzten Zeit erregt eine von dem Engländer Bone und dem Deutschen Rudolf Schnabel gemachte Erfindung das größte Interesse der Fachwelt. Das uralte Prinzip der Verbrennung erscheint völlig über den Haufen geworfen. Das neue Verfahren besteht darin, daß man brennbare Gase oder Dämpfe mit der zu ihrer vollkommenen Verbrennung erforderlichen Menge oder noch einem Überschusse an Luft oder Sauerstoff mischt, das Gemisch unter hohem Drucke durch einen gasdurchlässigen, feuerfesten Körper hindurchleitet und bei seinem Austrreten aus der porösen Schicht entzündet. Das explosible Gemisch verbrennt dann, wenn seine Austrittsgeschwindigkeit größer ist als die Fortpflanzung der Explosion, ausschließlich an der in lebhaftestem Zustande versetzten Austrittswandung des feuerfesten Körpers in einer Schicht von geringer Tiefe, ohne eine Flamme zu bilden, und erhält diese Schicht im Glühzustande. Dieses Verfahren wird noch eine große technische Bedeutung gewinnen, denn es ermöglicht die vollkommenste Ausnutzung der Verbrennungswärme. Hier interessiert vor allem die flammenlose Lichterzeugung, die besonders von Schnabel ausgearbeitet worden ist. Die poröse Masse, in der sich die Verbrennung vollzieht, kommt in höchste Weißglut. Sie kann entweder selbst zur Ausstrahlung von Licht angewandt oder zur Beheizung eines besonderen Glühkörpers benutzt werden.

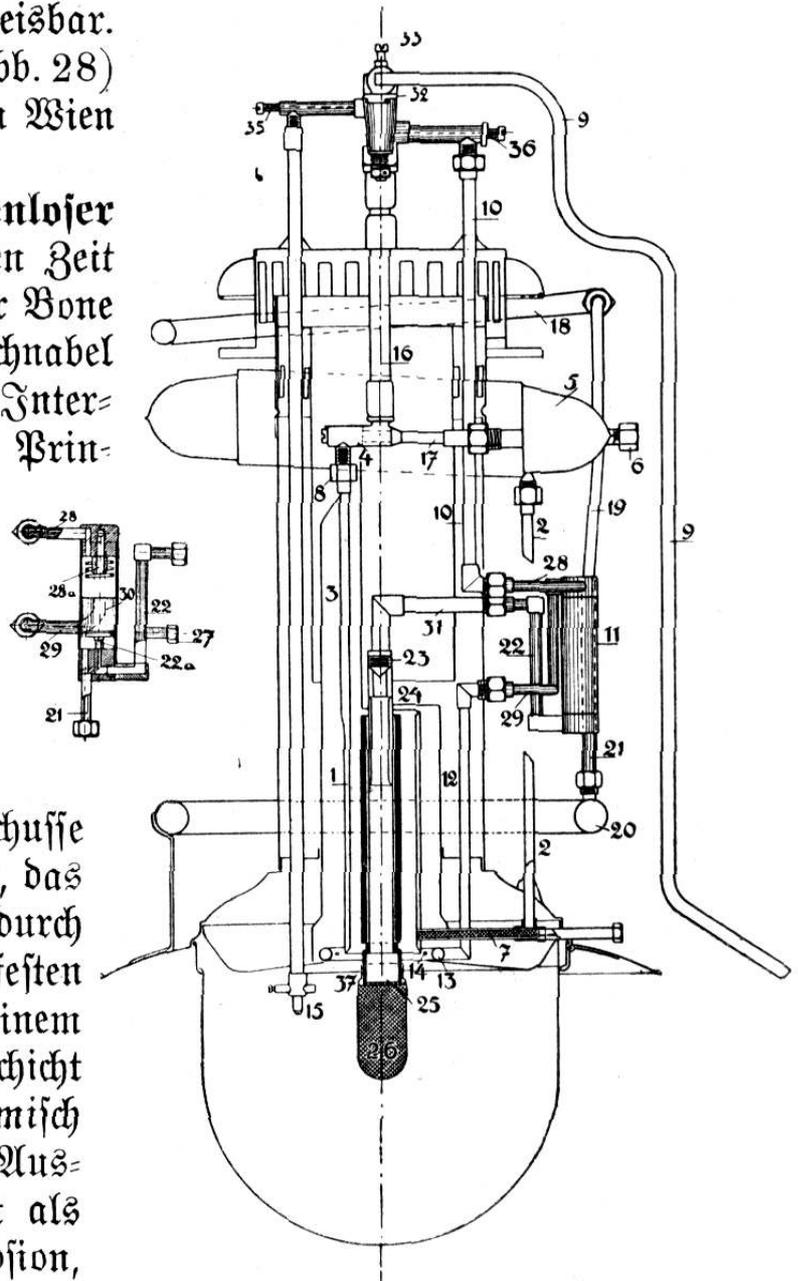


Abb. 28. Auto-Preßgaslampe von W. Liede (Halbmahr u. Co.)

Bei Verwendung der Masse als Glühkörper an sich kann entweder aus der Masse ein zusammenhängender Glühkörper hergestellt werden, oder es kann auch die Masse in gekörntem Zustand in einem durchsichtigen Behälter (z. B. Quarzglas) unter Bildung von Hohlräumen aufgeschichtet werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, die Masse aus solchen Stoffen herzustellen, die ein großes Lichtemissionsvermögen haben. In der schematischen Zeichnung (Abb. 29) ist eine Vorrichtung zur Ausführung des neuen Verfahrens zur Darstellung gebracht.

Eine unserer bedeutendsten Gasfirmen, die Berlin-Anhaltische Maschinenbau A.-G., beschäftigt sich mit der praktischen Ausarbeitung des beschriebenen Verfahrens.

7. Zündung von Gasflammen. Die große Beliebtheit des elektrischen Lichtes ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß man durch einfaches Einschalten des Stromes sofort Licht erhält. Seit vielen Jahren haben sich die Gastechniker bemüht, die Bedienung des Gaslichtes ebenso bequem zu gestalten, wie die der elektrischen Beleuchtung. Bei der öffentlichen Beleuchtung hat die rasche und sichere von Laternenanzündern möglichst unabhängige Zündung der Gaslaternen zugleich aber eine nicht zu unterschätzende wirtschaftliche Bedeutung.

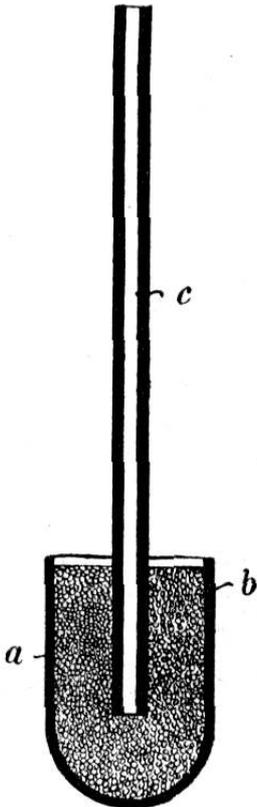
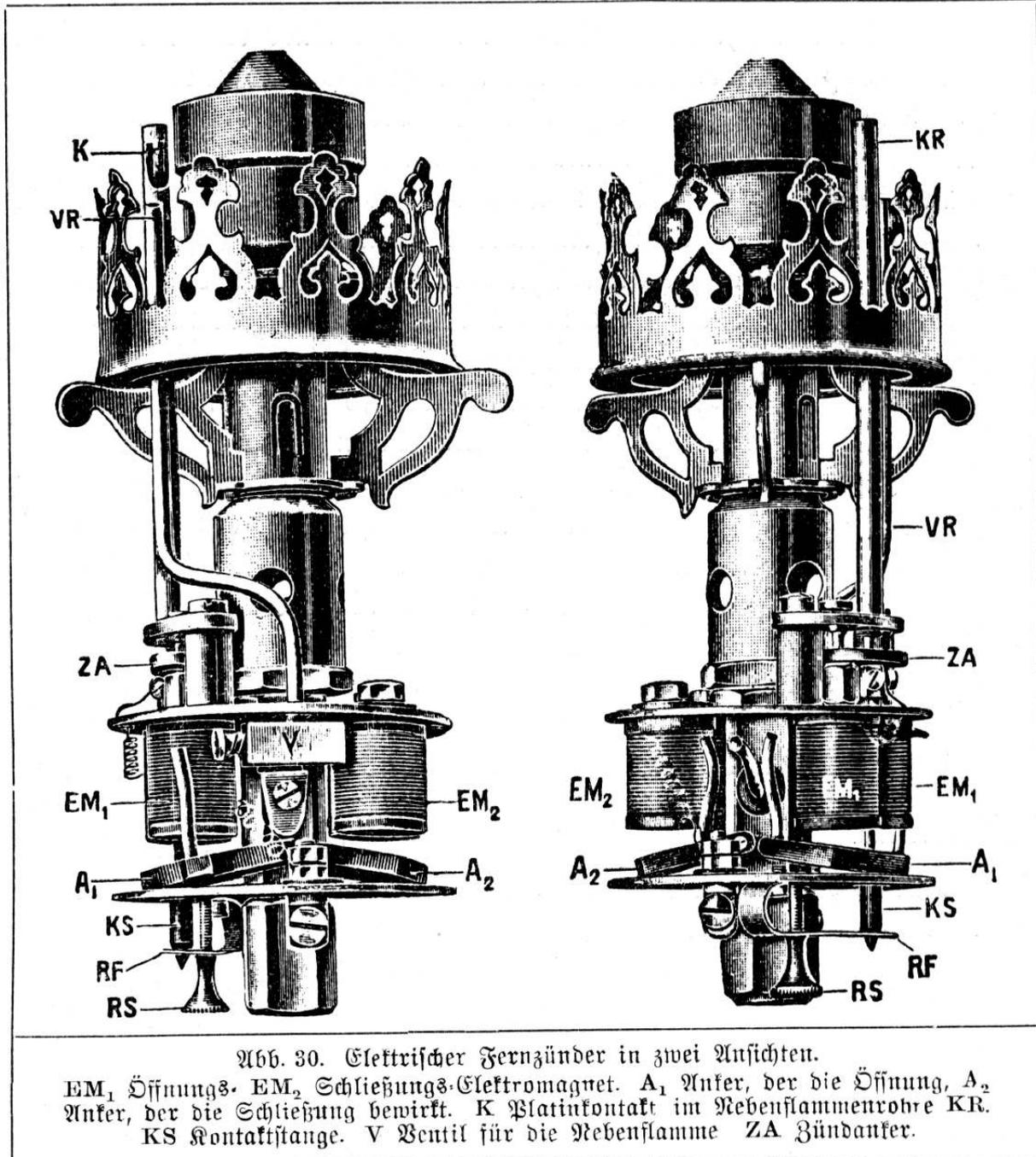


Abb 29. Schnabel-
Glühlicht mit
flammenloser
Verbrennung.

Am einfachsten wird die Frage der bequemen Gaszündung durch Beipafz- oder Kleinstellerflammen gelöst. Man führt zu diesem Zwecke vom Hahngehäuse aus ein dünnes Metallröhrchen zur eigentlichen Brennermündung und läßt an der Öffnung des Röhrchens eine kleine Gasflamme dauernd brennen. Wird dann der Brennerhahn geöffnet, so entzündet sich die Hauptflamme an der Nebenflamme, während zugleich die Nebenflamme abgesperrt wird. Beim Auslöschen der Hauptflamme vollzieht sich der umgekehrte Vorgang. Diese Art der Zündung ist sehr bequem, und sie wird bei der Straßenbeleuchtung allgemein angewandt.

In neuerer Zeit geschieht das Öffnen der Brennerhähne häufig von einer Centralstelle aus, durch sogenannten Druckstoß-Fernzünder. Das Prinzip dieser Hahnöffner und -schließer besteht darin, daß bei einer momentanen Steigerung des Druckes in der Gasleitung eine in einem luftdichten Gehäuse eingespannte und unter Federdruck stehende Membrane nach einer Seite durchgedrückt wird, wobei ein an der Membrane



befestigter Stift durch Hebel- oder Zahnradübersehung den Brennerhahn öffnet. Bei einer zweiten momentanen Erhöhung des Druckes in der Gasleitung wird wieder die Membrane einseitig durchgedrückt und ihr Stift schaltet in der gleichen Weise wie vorher den Brennerhahn weiter, so daß jetzt der Brenner abgesperrt wird. Die gleiche Wirkung kann mit Hilfe einer in einer Flüssigkeit schwimmenden Glasglocke geschehen, die durch den Druckstoß angehoben wird und hierbei den Brennerhahn bewegt. Besonders bei den Preßgas- und Preßluftlampen haben sich diese Hahnöffner und -schließer bestens bewährt.

Bei dem elektrischen Fernzünder wird von einer entfernten Stelle nicht nur der Brennerhahn geöffnet und geschlossen, sondern es wird die Flamme auch wirklich entzündet. Es braucht also hier keine permanent brennende Nebenflamme vorgesehen zu sein. Alle elektrischen Fernzünder, die in zahlreichen Abarten gebaut werden, weisen die gleichen wesentlichen Merkmale auf (vgl. Abb. 30).



Abb. 31. Petroleumglühlichtbrenner.

Der Brennerhahn oder ein den Brenner absperrendes Ventil steht unter dem Einflusse von einem oder zwei Elektromagneten. Sendet man einen Strom durch die Elektromagnete, so wird ein Anker angezogen, der den Brennerhahn entweder öffnet oder schließt. Beim Öffnen des Hahnes wird gleichzeitig ein Induktionsfunke erzeugt oder ein Platindraht glühend gemacht, wodurch gewöhnlich eine Hilfsflamme entzündet wird, die ihrerseits die Hauptflamme anzündet.

Bei sorgfältiger Überwachung der elektrischen Fernzünder, insbesondere der benötigten Stromquellen, sind die meisten der auf dem Markte befindlichen Systeme ganz brauchbar. Unterläßt man aber diese Überwachung, so können die Fernzünder zu einer nicht unbeträchtlichen Gefahrenquelle werden. So kann beispielsweise durch den erstmaligen Stromanschluß zwar der Brennerhahn geöffnet werden, aber es kann die Zündung versagen. Schließt man dann nicht sofort wieder den Brennerhahn, so strömt Gas aus, das unter Umständen Explosionen herbeiführen kann. Einer großen Beliebtheit haben sich lange Zeit die sogenannten chemischen Gaszünder erfreut. Sie beruhen auf der Eigenschaft fein verteilten Platins, des „Platinmohrs“, Sauerstoff in sich zu verdichten.

c) Glühlichtbeleuchtung mit flüssigen Brennstoffen.

Bald nach der Einführung des Auerischen Gasglühlichtes machte sich das Bestreben geltend, das Glühlichtprinzip auch auf die tragbaren Lampen, insbesondere auf die Petroleumlampe zu übertragen. Hierzu war es natürlich nötig die Petroleumflamme durch erhöhte Luftzufuhr zu entleuchten, damit die Flammentemperatur nach Möglichkeit erhöht werden konnte. Das gelingt durch Anwendung eines verhältnismäßig langen Glaszylinders und durch geeignete Führung der Verbrennungs-

luft. In die so entleuchtete Flamme wird dann ein geeignet geformter Glühkörper hineingebracht (Abb. 31).

Die Hoffnungen, die bei der Erfindung des Petroleumglühlichtes auf dieses gesetzt worden waren, haben sich allerdings leider nicht erfüllt. Die entleuchtete Petroleumflamme hat nämlich die Neigung, rußende Spitzen zu bilden oder gar in eine gewöhnliche Leuchtflamme umzuschlagen, weil man ohne künstliche Hilfsmittel nicht leicht eine dauernde Zufuhr von genügend frischer Luft aufrecht erhalten kann. Mit der Betriebsdauer der Lampe, wenn sich die metallenen Brennertheile allmählich erwärmen, wächst die Saugkraft der Dochte, und es steigt in ihnen mehr Petroleum auf, als durch die zugeführte Frischluft entleuchtet werden kann. Neuerdings wird von Hugo Schneider A.=G. in Leipzig eine von Paul Lucas erfundene Petroleumglühlichtlampe in den Verkehr gebracht, die die gerügten Übelstände nicht besitzt. Freilich muß diese Lampe erst mit einer Spiritusflamme vorgewärmt werden. Dann liefert sie aber durch viele Stunden hindurch eine wirklich rußfreie Flamme. Wenn sich diese Lampe im praktischen Gebrauche bewährt, so dürfte endlich das Licht des kleinen Mannes die seit langem ersehnte Verbesserung und Verbilligung erfahren.

Weit günstiger als mit Dochtlampen gestaltet sich die Erzeugung von Petroleumglühlicht in den „Vergaserlampen“. Bei diesen Lampen wird der Brennstoff, bevor er zur Verbrennung gelangt, in einem besonderen Vergaserraum in Dampf verwandelt. Zunächst muß die Vergasung durch eine Hilfsflamme eingeleitet werden. Entstehen dann Petroleumdämpfe, so werden sie unter verhältnismäßig hohem Druck einem Bunsenbrenner zugeführt, wo sie sich mit Luft mischen und wie jede andere Bunsenflamme zur Beheizung eines Glühkörpers benutzt werden. Ist erst einmal die Petroleum-Bunsenflamme entstanden, so wird die weitere Petroleumvergasung durch die Abwärme der heißen Verbrennungsgase weiter unterhalten. Dem Vergaser wird das Petroleum unter Druck zugeführt. Das geschieht in der verschiedenartigsten Weise. Bei einzelnen Konstruktionen, wie bei der Kitsonlampe, der Keroslampe von Hugo Schneider A.=G. usw. wird ein Petroleumreservoir mit einer gewöhnlichen Fahrradluftpumpe unter Druckluft gesetzt und hierdurch Petroleum aus dem Reservoir in den Vergaser gedrückt. Das Reservoir kann hierbei an der Lampe selbst untergebracht oder von ihr räumlich getrennt sein. In dem letzteren Falle wird das Petroleum durch ein sehr dünnes Kupferrohr zur Lampe geleitet.

Bei der zweiten Kategorie von Lampen, so denen von der Gesellschaft für Beleuchtungs- und Heizwesen „Mars“, von Hirschhorn, Eckel & Glienicke usw. gelangt das Petroleum durch hydrostatischen Druck aus dem am oberen Lampenende angeordneten Reservoir (2) (Abb. 32) zum Vergaser (14), der gleichfalls durch Abwärme beheizt wird. Die Lampen der ersteren Art geben weniger zu Störungen Anlaß als die der letzten Art; dafür ist aber ihre Bedienung umständlicher. Diese Petroleumglühlichtlampen werden sowohl für stehendes als auch für hängendes Glühlicht gebaut, sie sind aber sämtlich nur zur Erzeugung sehr hoher Lichtstärken bestimmt. Das hat seinen Grund in der Natur des Brennstoffes. Das Petroleum ist kein einheitlich zusammengesetzter Körper. Bei der Vergasung bleiben deshalb hochsiedende Bestandteile zurück, die leicht die Düsen verschmutzen, wenn diese zu eng sind. Man kann deshalb unter einen gewissen Minimaldurchmesser nicht heruntergehen, und deshalb ist auch ein Minimalverbrauch an Petroleum gegeben. Aus diesen Gründen lassen sich Petroleumglühlicht-Vergaservlampen unter ca. 500 HK nicht betriebssicher herstellen.

Für Lichtquellen von so hoher Intensität ist der Verwendungszweck natürlich beschränkt. Petroleumglühlicht-Intensivlampen finden deshalb auch nur Verwendung zur Beleuchtung von Straßen und Plätzen, Bahnhöfen, Kavalanagen, Kesselschmieden, Leuchttürmen

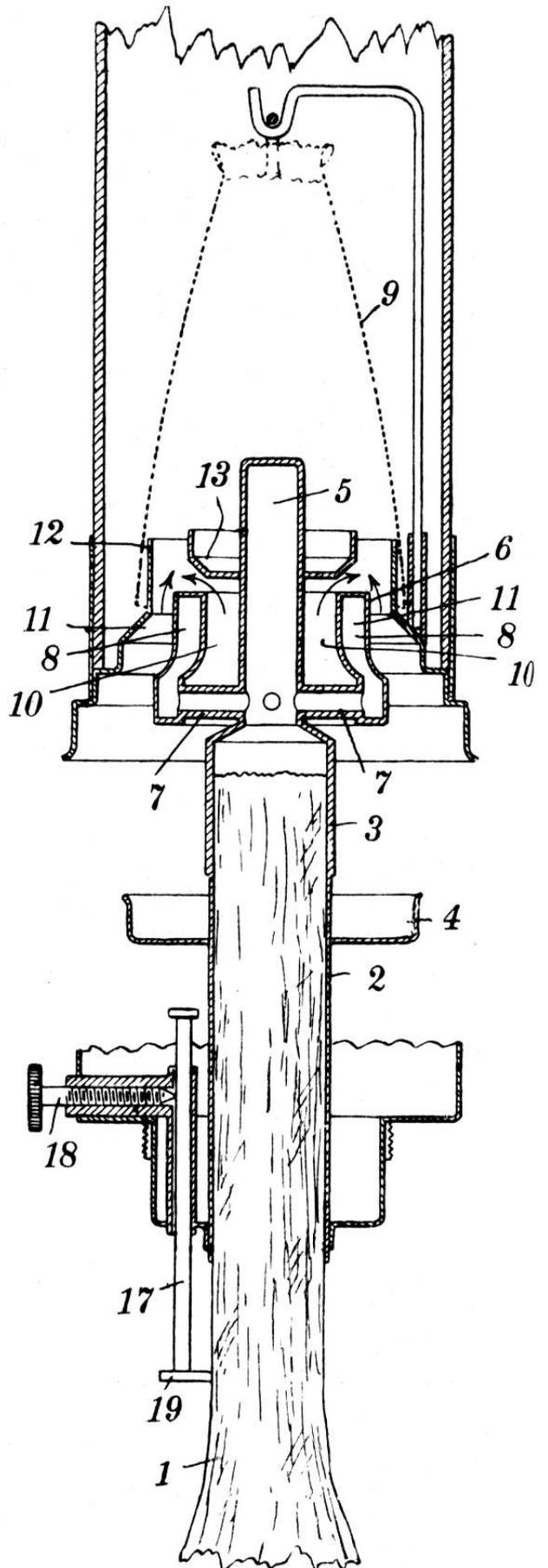


Abb. 31 a. Petroleumglühlichtlampe von Paul Lucas. (Hugo Schneider A.-G. Leipzig)

usw. Zur Beleuchtung von Gesellschaftsräumen sind die Petroleumglühlicht-Intensivlampen ungeeignet, weil sie nicht geräuschlos brennen.

Aus den Gründen, die auf Seite 65 erörtert worden sind, ist die Ökonomie der Petroleumglühlichtlampen niedriger als nach der hohen Verbrennungswärme des Petroleum erwartet werden könnte. Zur Erzeugung von 100 HK horizontaler Lichtstärke, entsprechend 80 HK₀ werden 54 g Petroleum stündlich verbraucht. Aus der Verbrennungswärme von rund 11000 Kalorien ergibt sich hierbei ein spezifischer Verbrauch von 8,64 Watt/HK₀. Er ist also wesentlich ungünstiger als der des Gasglühlichtes.

Die Übelstände, die mit der Vergasung des Petroleum verbunden sind, haben natürlich die Anwendung homogener Kohlenwasserstoffe insbesondere von Benzol und Alkohol nahegelegt. Die Anwendung dieser Brennstoffe geschieht in ganz analoger Weise wie die des Petroleum, nur daß sich die Vergasung einfacher und zuverlässiger gestaltet. Bei dem Benzolpreßlicht ergeben sich, entsprechend der Verbrennungswärme des Benzols von 10096 Kalorien, ähnliche Werte für die absolute und die relative Lichtausbeute wie beim Petroleum. Bei der Verwendung von Alkohol in Starkeglühlampen bleibt dagegen die absolute Intensität erheblich hinter den Petroleum-Intensivlampen zurück, weil der im Handel befindliche Brennspritus nur etwa 96% Alkohol enthält und die Verdampfung des Wassers auf Kosten der Verbrennungswärme geschieht. Dagegen haben die Spiritusglühlampen für niedrige Lichtstärken, also hauptsächlich zur Wohnungsbeleuchtung, eine recht beträchtliche Verbreitung gefunden, besonders in den Spiritus produzierenden Ländern, wie Deutschland und Rußland.

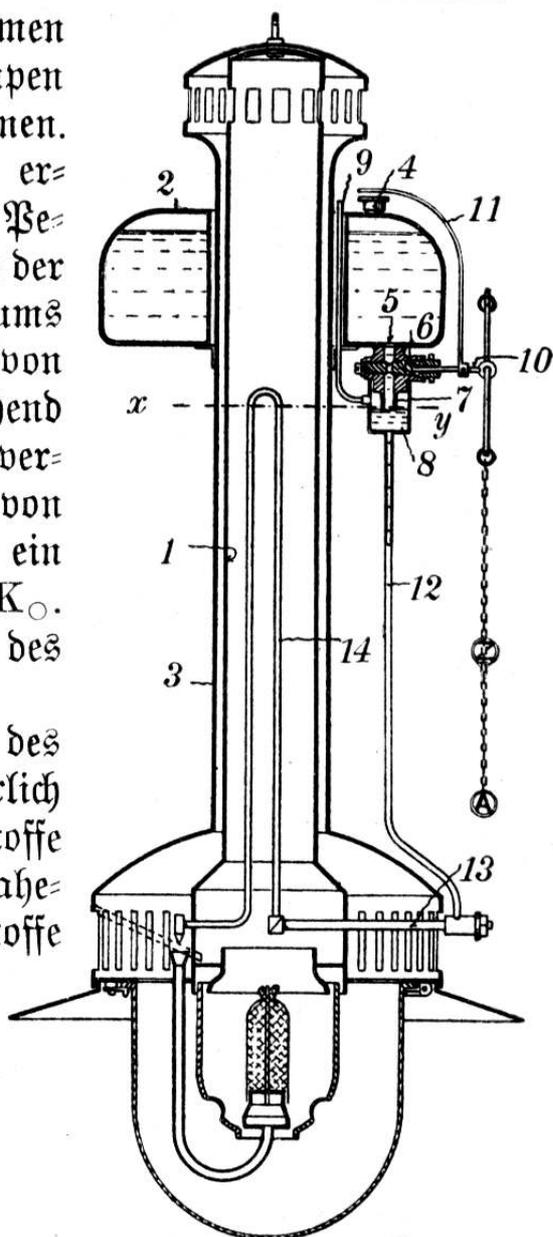


Abb. 32. Petroleumglühlicht-Intensivlampe von Hirschhorn mit Zuführung des Brennstoffes durch hydrostatischen Druck von einem an der Lampe selbst befindlichen Reservoir (2) aus.

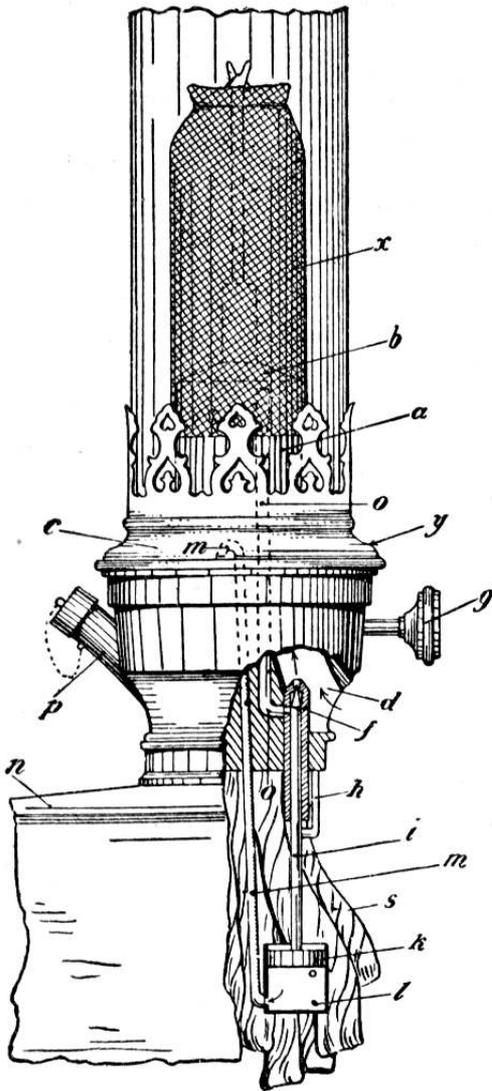


Abb. 33. Spiritusglühlichtbrenner.

dieser Lampen geht aus Abb. 33 hervor. Von einem Saugdochte wird der Spiritus in eine Vergasungskammer gesaugt, die durch Wärmerückleitung von der Bunsenflamme aus beheizt wird. Hierzu ist der Glühkörperträger als massiver Kupferstift (*b*) ausgebildet und bis zu der Vergasungskammer geführt. Die erzeugten Dämpfe blasen durch eine Düse in den bekannten Bunsenbrenner (*a*) ab, wo sie sich mit Luft mischen und an der Brennermündung mit nichtleuchtender Flamme verbrennen. Zur Einleitung der Vergasung wird ein kleines Quantum Spiritus in eine den Brenner umgebende Anheizschale gebracht und entzündet. Das Spiritusquantum in der Anheizschale ist so bemessen, daß es noch nicht völlig verbrannt ist, wenn sich bereits Spiritusdämpfe im Vergaser gebildet haben. Die Bunsenflamme entzündet sich dann an der Anheizflamme.

Auf dem Marke befinden sich zwei wesentlich voneinander verschiedene Konstruktionen. Bei der einen wird in ähnlicher Weise wie bei den Petroleumglühlichtlampen (Abb. 31) eine Dochtflamme mit Luftüberschuß versorgt, bei der zweiten Konstruktionstyp wird der Spiritus in einem besonderen Vergasungsraum verdampft und erst nachträglich mit Luft im Bunsenbrenner durchmischt. Die erstere Konstruktion ist zwar erheblich einfacher, da die erzeugte Lichtmenge aber nicht beträchtlich größer als die einer gewöhnlichen Petroleumlampe, dafür aber erheblich teurer ist, so hat sie kaum noch Bedeutung. Bei den Vergaserlampen kommen dagegen eine ganze Anzahl sehr brauchbarer Konstruktionen in Betracht, so der Amorobrenner der Zentrale für Spiritusverwertung, der Brenner von Ehrich und Graetz, der Brenner von Hugo Schneider u. G. Die relativen Vorzüge der einen Konstruktion vor der anderen sind so geringfügig, daß sie als fast gleichwertig anzusehen sind. Das Prinzip

Um die Bedienung der Brenner möglichst bequem zu gestalten, kann mit einer kleinen Pumpe (*l*) Spiritus aus dem Hauptbehälter in die Anheizschale (*y*) gefördert werden. Der die Pumpe bedienende Hebel (*g*) betätigt gleichzeitig auch ein Ventil für den Zutritt der Spiritusdämpfe zu dem Brenner.

D. Elektrische Beleuchtung.¹⁾

a) Das Glühlicht.

Bei der Erzeugung elektrischen Glühlichtes kommt ausschließlich Temperaturstrahlung in Betracht. Ein Elektrizitätsleiter wird beim Stromdurchgang erwärmt. Die erzeugte Wärmemenge — und damit auch die Temperatur — ist im wesentlichen abhängig von dem Widerstande des Leiters und dem Quadrat der Stromstärke, und zwar besteht, wenn Q die erzeugte Wärmemenge ist, die Beziehung:

$$Q = 0,2388 \cdot w \cdot J^2 = \text{Const. } T^\alpha \cdot F,$$

worin 0,2388 das elektrothermische Äquivalent, w den Widerstand, J die Stromstärke und α einen von der physikalischen Natur des Leiters abhängigen Exponenten bedeuten, der für einen Leiter mit den Eigenschaften des absoluten Schwarzen Körpers den Wert 4 annimmt, für Platin den Wert 5; F ist die Oberfläche des stromdurchflossenen Leiters. Die Konstante ist identisch mit der Konstante σ des Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetzes, wenn es sich um einen Leiter handelt, der absolut schwarz ist. Für einen Leiter aus reinem Platin hat dagegen nach der Theorie von Ushkina²⁾ die Konstante den Wert $0,00014 \cdot 10^{-12}$ g Cal/cm² sec.²⁾ Hierbei ist vorausgesetzt, daß der stromdurchflossene Leiter keine Wärmeverluste durch Wärmeableitung erfährt.

Um einen stromdurchflossenen Leiter zum Leuchten bringen zu können, muß er auf eine hohe Temperatur gebracht werden. Je höher bei einem bestimmten Elektrizitätsleiter die erreichbare Temperatur ist, um so besser wird die physikalische Ökonomie des Leuchteffektes sein. Hat der auf hohe Temperatur gebrachte Leuchtkörper dann noch die Eigenschaft, selektiv im sichtbaren Gebiete zu strahlen, dann wird die Ökonomie der Lichterzeugung noch weit über den Betrag hinaus erhöht, der sich auf Grund der allgemeinen Strahlungsgesetze ergeben würde.

1) Vgl. Roth, Grundlagen der Elektrotechnik (AfuG Bd. 391). — Röhn, Die elektrische Kraftübertragung (AfuG Bd. 424).

2) Zeitschrift für Beleuchtungswesen 1912, S. 223.

Die Frage der selektiven Strahlung lassen wir zunächst außer acht und betrachten nur die Temperaturerhöhung. Die Minimaltemperatur muß ungefähr 1800° bis 2000° abs. sein, wenn das erzeugte Licht wenigstens annähernd weiß sein soll. Es ist das die Temperatur, die der des schmelzenden Platins nahekommt. Hieraus ergibt sich für den anzuwendenden Leuchtkörper sofort die Bedingung, daß er aus schwer schmelzenden Materiale bestehen muß. Der Kreis der in Betracht kommenden irdischen Stoffe ist hierdurch schon beträchtlich eingeengt. Von den eigentlichen Elektrizitätsleitern kommen nur die Metalle der Platingruppe (Platin, Osmium, Iridium); die der Tantalgruppe (Tantal, Vanadin, Niob); die der Chromgruppe (Chrom, Wolfram, Molybdän) und schließlich die Kohle in Betracht. Für die technische Verwendbarkeit dürfen die benutzbaren Materialien natürlich nicht zu selten und kostspielig sein, und sie müssen auch mit einfachen Mitteln in Fadenform gebracht werden können. Hierdurch verengt sich der Kreis der in Betracht kommenden Materialien noch sehr erheblich. Und in der Tat haben in die Praxis des Beleuchtungswesens nur Kohle, Osmium, Tantal und Wolfram als Leuchtkörper Eingang gefunden.

1. Die Kohlenfadenlampe. Von Edison war allerdings zunächst versucht worden, Platin zur Herstellung von Glühlampen zu benutzen. Der Versuch wurde jedoch bald zugunsten der Kohle aufgegeben. Um Kohle in Fadenform zu bringen, wurden in den Kindheitsjahren der elektrischen Beleuchtung die verschiedensten verkohlbaren Substanzen benutzt: Bambusfasern, Piaffavafasern, Papierstreifen, gewebte Seidenschläuche usw. Die in Fadenform gebrachten Stoffe wurden unter Luftabschluß geglüht und dadurch unter Austreibung von Kohlenwasserstoffen in fast reinen Kohlenstoff verwandelt. Wegen seines hohen spezifischen Widerstandes kann der Kohlenfaden sehr leicht auf eine hohe Temperatur gebracht werden. Um bei der erforderlichen hohen Temperatur die Verbrennung des Kohlenfadens zu verhindern, muß er natürlich in einen evakuierten Glasbehälter eingeschlossen werden. Es wurde auch versucht, die Kohlenfäden in Glasballons zum Glühen zu bringen, die mit für Kohlenstoff indifferenten Gasen gefüllt waren: Stickstoff, Wasserstoff, Quecksilber usw. Diese Versuche mußten aber sämtlich scheitern, weil hierbei Wärmeverluste durch Ableitung unvermeidlich waren. Man kam immer wieder auf den in einem möglichst vollkommen evakuierten Gasballon eingeschlossenen Kohlenfaden zurück.

Der wesentliche Fortschritt in der Herstellung von Kohlenfadenlampen bestand in der Verwendung des aus Nitrozellulose hergestellten Kohlenfadens anstatt der früher aus natürlichen organischen Stoffen erzeugten, weil hierdurch ein sehr gleichmäßiger Faden von fast unbegrenzt kleinem Durchmesser herstellbar wurde. Die Belastung des Kohlenfadens beträgt in der Regel $\frac{1}{2}$ HK auf den Quadratmillimeter strahlender Oberfläche. Die Temperatur einer normal belasteten Kohlenfadenlampe wird auf 1700° bis 1800° geschätzt.

Da die Kohle von allen bekannten irdischen Stoffen den höchsten Schmelzpunkt aufweist, er wird zu etwa 4000° angenommen, so müßte theoretisch mit einer Kohlenfadenlampe durch einfache Steigerung der Betriebsstromstärke eine außerordentliche Ökonomie der Lichterzeugung möglich sein. Dieser Versuch ist auch in der Tat gemacht worden und kann leicht demonstriert werden, wenn man eine für niedrige Betriebsspannung bestimmte Kohlenfadenlampe mit höherer Spannung betreibt. Belastet man beispielsweise eine Kohlenfadenlampe, die normal bei 45 Volt brennt, 16 HK liefert und hierbei 58 Watt verbraucht, so stark, daß der Energieverbrauch auf 258 Watt ansteigt, so steigt die Lichtstärke auf etwa 2000 HK an. Einer Energiesteigerung von 1 : 5 steht also eine Helligkeitssteigerung von 1 : 130 und eine Verbesserung der Ökonomie von 1 : 26 gegenüber. — Leider liefert eine derartig angestrenzte Kohlenfadenlampe nur wenige Augenblicke dieses ökonomische Licht, sehr bald „zersprakt“ der Kohlenfaden, nachdem schon vor dem Zerspraken die Lichtstärke durch starke Schwärzung des Lampenballons erheblich zurückgegangen war.

Eine normal belastete Kohlenfadenlampe, die etwa 3,5 Watt zur Erzeugung von 1 HK braucht, hat eine Lebensdauer von 500 bis 800 Stunden. Schon während des normalen Betriebes schwärzt sich der Ballon durch Abspraken von Kohlenpartikelchen, und die Lichtstärke nimmt innerhalb dieser Zeit um etwa 25 % ab. Die Lampe brennt immer unökonomischer. Belastet man eine Kohlenfadenlampe noch höher, so daß nur etwa 2,5 Watt für 1 HK aufzuwenden sind, so sinkt die Lebensdauer bis auf 300 Stunden und noch weniger herab. Trotzdem ist es ökonomischer, 3 überlastete Glühlampen von je 300 Brennstunden zu benutzen, anstatt einer normal brennenden von 900 Stunden Lebensdauer.

Von verschiedener Seite sind nun Versuche unternommen worden, eine höhere Belastung der Glühlampe bei gleichzeitiger Verlängerung der Lebensdauer möglich zu machen. Diese Versuche sind aber vollkommen gescheitert.

Die Ursachen für das Abspraken der Kohlenpartikelchen, das die Lebensdauer des Kohlenfadens, selbst wenn er noch weit unter seinem Schmelzpunkte bleibt, so erheblich verkürzt, sind noch nicht völlig aufgeklärt. Man nimmt aber an, daß ein stromdurchflossener Leiter rascher verdampft, als ein Körper, der durch andere Mittel auf die gleiche Temperatur gebracht wird. Durch den Stromdurchgang werden die Elektronen zu lebhafterem Austritt aus den Molekeln angeregt als durch reine Temperaturerhöhung. Das Ausreten der Elektronen aus den Atomverbänden unterstützt dann den der Tem-

peratur entsprechenden Dampfdruck des Kohlenstoffes, und es werden so elektromechanisch Kohlenpartikeln von der Oberfläche des Kohlenfadens weggeschleudert.

Hierzu kommt noch eine eigentümliche Erscheinung, die immer zu beobachten ist, wenn ein Körper im Vakuum durch Stromwärme zum Glühen gebracht wird. Der elektrische Strom fließt dann nämlich nicht nur durch den Leiter, sondern auch durch den hochverdünnten Gasraum. Mit dem Anwachsen der Temperatur steigt dieser Nebenschlußstrom, der sich in Geißlerentladungen dokumentiert, die von den Fäden als Kathode ausgehen. Hierbei konzentrieren sich die Geißlerentladungen meist auf eine einzige oder einige wenige Stellen des Fadens, so daß er rasch durchbrennt. Die Geißlerentladungen können unter Umständen einen so hohen Betrag erreichen, daß sie in Bogenentladungen übergehen, wodurch ein Kurzschluß entsteht, der die ganze Lampe zerstört. Aber selbst wenn das nicht der Fall ist, so findet bei den Bogenentladungen im Vakuum immer eine Kathodenzerstäubung statt infolge des Austrittes der negativen Elektronen. Die festen Partikelchen des Kathodenmaterials werden hierbei in gradliniger Richtung in den Raum geschleudert und schlagen sich auf den Glaswänden nieder, so daß auf diesen zunächst ein Bild des Fadens zu beobachten ist. Sehr interessant ist hierbei noch eine besondere Erscheinung, die dann eintritt, wenn eine stark belastete Kohlenfadenlampe auf einer Seite einen Reflektor besitzt, wenn sie also beispielsweise in unmittelbarer Nähe einer weißen Wand brennt. Es findet dann nämlich vorzugsweise eine Schwärzung an der dem Reflektor abgewandten Seite der Lampe statt. Diese Erscheinung kann von einem Strahlungsdrucke herrühren, der durch Reflexion der Ätherwellen an der reflektierenden Wand hervorgerufen wird.

Neben diesen rein elektrischen Ursachen, die auf eine rasche Zerstörung des Fadens stark belasteter Kohlenfadenlampen hinwirken, kommen dann noch Ursachen hinzu, die in dem Fadenmaterial selbst begründet sind. Der Kohlenfaden ist nämlich durchaus nicht reiner Kohlenstoff, sondern er enthält außerdem noch Gase: Wasserstoff, Kohlenwasserstoff, Kohlenoxyd usw., die in dem Faden offludiert sind. Diese Gase werden bei der Erhitzung des Fadens im Vakuum ausgetrieben und arbeiten mechanisch — rein durch den Vorgang des Austreibens — und dann auch noch chemisch auf die Zerstörung des Fadens hin.

Deshalb versuchte man es, die offludierten Gase aus dem Kohlenfaden durch sehr starke Erhitzung — bis auf 3000° — auszutreiben, ehe er in den Ballon eingeschmolzen wurde. Über eine Ökonomie von 2,5 Watt per HK kam man nicht hinaus. Und da während dieser Versuche die neuen Metallfadenlampen auf dem Plane erschienen, wurden die Versuche noch in ihrem Anfangsstadium abgebrochen. — Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß auf diesem Wege später doch noch einmal Erfolge zu erreichen sein werden; denn bei der beschriebenen Behandlung der Kohlenfäden nahmen diese geradezu metallische Eigenschaften an, man nannte sie deshalb auch metallisierte Kohlenfäden. Der Temperaturkoeffizient des gewöhnlichen Kohlenfadens ist negativ, d. h. im kalten Zustande hat Kohle einen höheren Leitungswiderstand als im erhitzten. Metalle dagegen haben kalt einen geringeren Leitungswiderstand

als warm, der Temperaturkoeffizient ist also positiv. Ebenso verhalten sich die metallisierten Kohlenfäden; auch ihr Temperaturkoeffizient ist wesentlich positiv und daneben nimmt infolge des „Metallisierens“ auch noch ihr spezifischer Widerstand ab und nähert sich dem der Metalle.

Die Stromzuführung zu den Fadenenden der Kohlenfadenlampe geschieht meist in folgender Weise: Die Fadenenden sind an starke Nickeldrähte angefügt. An die Nickeldrähte sind kurze Stückchen Platindraht angelötet, die von Bleiglas umgeben sind. An die Platindrähte sind schließlich Kupferdrähte angelötet. Das Bleiglasflümpchen, das den eigentlichen Fadenträger bildet, ist in ein kurzes, unten tellerförmig erweitertes Glasröhrchen eingeschmolzen, aus dem die Kupferdrähte herausragen. Mit der tellerförmigen Erweiterung ist das Glasröhrchen an den Lampenhals angeschmolzen. Die Verwendung von Platindraht mit einer Bleiglasumhüllung ist notwendig, um das Springen der Einschmelzstelle bei der Erwärmung der Zuleitungsdrähte zu verhindern. Platin und Bleiglas haben annähernd den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten, so daß eine gleichmäßige Ausdehnung der Platindrähte und des Glasflümpchens, bei der Erwärmung der Platindrähte durch Stromdurchgang erfolgt. — Die Kupferdrähte, die aus dem Lampenfuß herausragen, sind schließlich an zwei voneinander isolierte Metallstücke, die zusammen den Lampensockel bilden, angelötet. Die Lampensockel sind bei verschiedenen Fabrikaten sehr verschieden ausgebildet. Die einzelnen Manipulationen des Lötens, Einschmelzens der Fadenträger usw. werden maschinell ausgeführt. Die Lampen werden dann evakuiert, photometriert und schließlich gesockelt.

In Deutschland werden die Lampen vorzugsweise mit dem „Edisonsockel“ (Abb. 34) versehen. Der Edisonsockel besteht aus einer zylindrischen Messingblechhülse mit eingedrücktem Schraubengewinde. Ihren äußeren Abschluß erhält die Hülse durch einen Porzellanstein mit einem zentralen Messingplättchen, das durch das Porzellan von der Messinghülse isoliert ist. An den Gewindeteil und an das zentrale Messingplättchen werden die aus der Lampe kommenden Kupferdrähte angelötet. Der Edisonsockel paßt in eine entsprechende Fassung, bei der eine Messinghülse mit Muttergewinde und ein zentrales Messingplättchen durch einen Porzellankörper voneinander isoliert sind. Gewinde und Messingplättchen der Fassung sind an die Leitungen der Installation angeschlossen. Gewöhnlich ist in der Fassung noch ein Schalter angeordnet, der eine Unterbrechung der Zuleitungen gestattet. Beim Einschrauben der Lampe in die Fassung berühren sich die beiden Kontaktplättchen des Sockels und der Fassung einerseits und die Sockelschraube mit dem Muttergewinde andererseits, so daß bei eingeschaltetem Schalter Stromschluß vorhanden ist.

Eine andere häufig verwandte Sockelform ist der „Swan-Sockel“ (Abb. 35). Die Kupferdrähte der Lampe sind hier an zwei voneinander isolierte Metallteilchen geführt, während der Lampenhals von einer Messinghülse mit zwei aus ihr herausragenden Stiften versehen ist. Die Fassung besitzt zwei bajonettartige Querschnitte, in die die Sockelstifte hineinpasse; an die Metallplättchen legen sich hierbei zwei im Innern des Sockels angeordnete federnde Kontaktstifte an, die den Stromschluß bewirken.

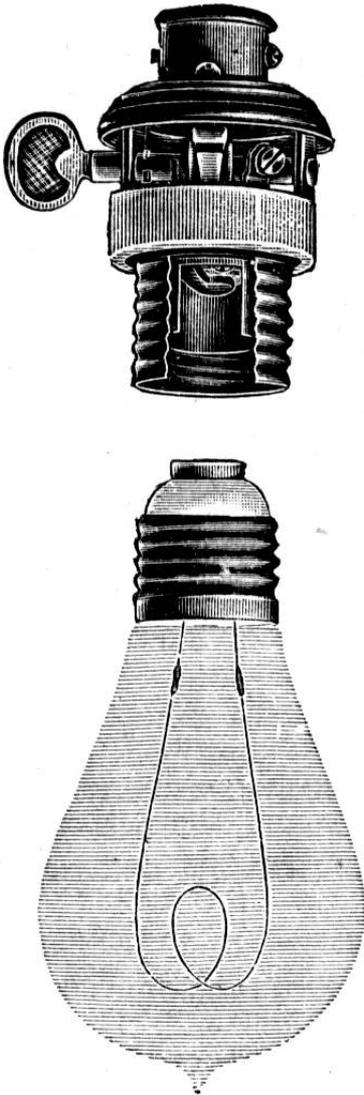


Abb. 34. Glühlampe mit Edison-Sockel und Edison-Fassung.

Bei den üblichen Kohlenfadenlampen ist der Leuchtkörper meist in der Form einer einfachen oder einer Doppelschleife gebogen; bei den Glühlampen für 220 Volt sind meist zwei hintereinander geschaltete Kohlenbügel angeordnet. Die Form des Leuchtfadens bedingt die Lichtstrahlungsverhältnisse der Kohlenfadenlampe nach den verschiedenen Richtungen des Raumes. In Abb. 36 ist bei B die photometrische Kurve einer gewöhnlichen 110 Voltlampe dargestellt.¹⁾ Wie man aus der photometrischen Kurve sofort erkennt, ist die maximale Lichtausstrahlung in horizontaler Richtung vorhanden, das Minimum in der Richtung des Sockels und ein zweites Minimum in der Richtung der Lampenspitze. Eine derartige Lichtverteilung in den Raum ist für die meisten Anwendungszwecke ungeeignet. Die ungünstige Lichtverteilung wird auch nicht wesentlich verbessert, wenn der Lampenballon mattiert wird, wie die in Abb. 36 bei A gezeichnete Kurve zeigt. Das Maximum und das Minimum werden durch die Mattierung etwas ausgeglichen, im übrigen wird die Ökonomie der Lampe nur verschlechtert. Die Lampe, die in horizontaler Richtung eine Lichtstärke von 16 HK besaß, hatte eine mittlere sphärische Lichtstärke von 13,24 HK bei blankem und 11,71 HK bei mattiertem Ballon. Der

Absorptionsverlust durch die Mattierung betrug also 11,5 %. Freilich ist die Mattierung in anderer Hinsicht von Vorteil. Die Flächenhelle (der Glanz) des dünnen Kohlenfadens ist sehr hoch. Sie beträgt mehr als 50 HK für den Quadratcentimeter leuchtender Fläche. Eine so starke Flächenhelle ruft direkt Blendungsercheinungen hervor, die das Auge dauernd zu schädigen vermögen, wenn eine offene Glühlampe im Klarglasballon etwa zur Beleuchtung eines Schreibtisches benutzt wird. Durch die Mattierung des Ballons wird die Flächenhelle auf 0,5 — 1 HK per Quadratcentimeter herabgesetzt.

1) Uppenborn-Monatsch, Lehrbuch der Photometrie. München und Berlin, R. Oldenburg, 1912.

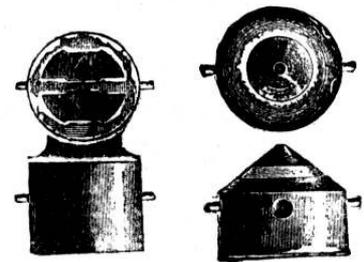


Abb. 35. Swan-Sockel.

so daß keine für das Auge schädliche Beleuchtung mehr stattfindet. — Ungleich günstigere Resultate werden aber erzielt, ohne daß hierbei erhebliche Lichtverluste in Kauf genommen werden müßten, wenn man die Lampe mit einem geeigneten Reflektor umgibt. Durch die Formgebung des Reflektors ist man in der Lage, die photometrische Kurve beliebig zu verändern und damit immer eine für den jeweiligen Fall günstigste Beleuchtung zu erzielen.

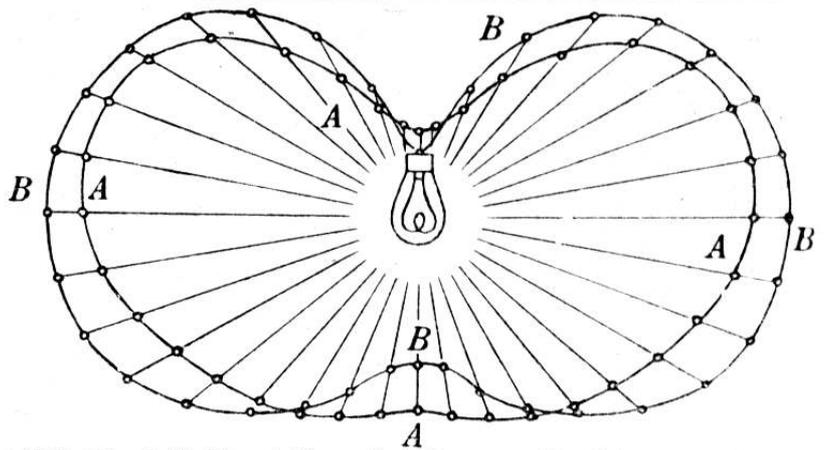


Abb. 36. B Lichtverteilung bei einer gewöhnlichen, A Lichtverteilung bei einer matten Kohlenfadenglühlampe.

2. Die Metallfadenlampen. Die Kohlenfadenlampe ist — bis auf einige Spezialanwendungen — heute fast vollständig durch die wesentlich ökonomischere Metallfadenlampe verdrängt worden. Während die Kohlenfadenlampe zur Erzeugung einer mittleren sphärischen HK rund 4 Watt braucht (bezogen auf die Lichtstärke in horizontaler Richtung rund 3,5 Watt) ist es schon bei den ersten brauchbaren Metallfadenlampen, den Osmiumlampen von Auer, gelungen, den spezifischen Verbrauch auf rund 2,0 Watt/HK (sphärisch) herabzudrücken. Die Osmiumlampe hat heute nur noch historisches Interesse. Sie wird nicht mehr fabriziert, da das Material zu kostspielig ist, und da die Lampen wegen des geringen spezifischen Widerstandes des Osmiums eine überaus große Fadenlänge bzw. einen sehr kleinen Fadenquerschnitt brauchten, um bei den gebräuchlichen Betriebsspannungen verwendbar zu sein. In der Tat sind Osmiumlampen auch nur für eine Höchstspannung von 55 Volt gebaut worden. Aber durch die Einführung des Osmiums in die Beleuchtungspraxis wurde doch der Beweis geliefert, daß Metalle an und für sich zur Herstellung von Glühlampen brauchbar sind. Es wurden deshalb die verschiedensten Metalle erprobt. Die Erfolge blieben aber zunächst aus, weil die hohen Schmelzpunkte der an und für sich geeigneten Metalle die Herstellung von dünnen Fäden verhinderten. Erst mit der Einführung des Tantal in die Glühlampentechnik begann die siegreiche Ära der Metallfadenlampen. Das Verdienst, dieses überaus widerspenstige Metall gezähmt zu haben, gebührt Werner v. Bolton und Dr. Feuerlein von der Siemens & Halske A.-G.

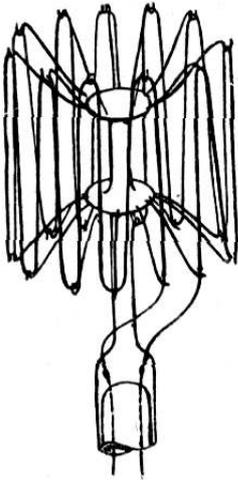


Abb. 37. Fadenträgergestelle der Tantallampe.

Die Hauptschwierigkeiten bestanden in der Reinherstellung des Tantals, besonders in der Trennung von Niob, und in der Herstellung homogener Blöcke, aus denen Draht gezogen werden konnte. Werner v. Bolton mußte erst das nur oberflächlich bekannte Tantal chemisch und physikalisch gründlich studieren, ehe ihm die Reinherstellung und das Schmelzen im elektrischen Lichtbogenofen gelang. — Die geschmolzenen Stücke reinsten Tantals werden durch Auswalzen in Drahtform gebracht, und die Drähte von ca. 1 mm Durchmesser werden dann durch Ziehheisen und schließlich durch Diamantdüsen gezogen, bis sie auf den erforderlichen Durchmesser von 0,05 mm gebracht sind. Zwischen den einzelnen Zügen müssen die Drähte immer wieder auf Rotglut gebracht werden, weil sie durch das Ziehen hart und spröde werden. Die fertigen Tantaldrähte werden dann in einer Länge von 60 bis 100 cm auf einem schirmartigen Fadenträger (Abb. 37) aufgewickelt und in einen Ballon eingeschmolzen. Wegen des hohen Schmelzpunktes des Tantals, der zwischen 2250° und 2300° liegt, verträgt die Tantallampe die verhältnismäßig hohe Temperaturbelastung von ca. 1900°C , und dementsprechend ist auch die Lichtökonomie günstiger als die der Kohlenfadenlampen, zumal Tantal selektiver als der Kohlenfaden strahlt. Eine normal belastete Tantallampe braucht rund 1,7 Watt per mittlere sphärische Kerze. Im Gegensatz zum Osmiumfaden, der im kalten Zustande sehr spröde, im glühenden Zustande aber überaus weich war, ist der Tantaldraht sehr fest und hart, so daß neue Tantallampen so sicher verwandt werden können, wie Kohlenfadenlampen. Ein weiterer Vorzug der Tantallampen vor den Osmiumlampen besteht darin, daß sie einzeln an ein Netz von 110 Volt Betriebsspannung angeschlossen werden können. Durch diese Eigenschaften verdrängten die Tantallampen die Osmiumlampen fast vollständig und bedrängten auch stark den Absatz der Kohlenfadenlampen. Gegenüber den Kohlenfadenlampen zeigten die Tantallampen aber den großen Nachteil, daß sie beim Betriebe mit Wechselstrom rasch brüchig wurden. Diese Erscheinung hat ihren Grund darin, daß der Tantaldraht bei rasch aufeinander folgenden Erwärmungen und Abkühlungen, wie das im Wesen des Wechselstromes liegt, allmählich ein kristallinisches Gefüge annimmt, so daß dann der Draht bei der leisesten Erschütterung bricht oder an dünnen Stellen

rasch durchbrennt. Auch der Umstand, daß in Elektrizitätszentralen mit 220 Volt immer zwei Tantallampen hintereinander geschaltet werden mußten, verhinderten deren allgemeine Einführung. Heute gehört auch sie bereits der Geschichte an, obwohl sie erst im Jahre 1905 auf dem Markte erschienen war. Die hervorragenden Eigenschaften der Wolframlampe, die bald nach der Tantallampe erschienen war, haben auch das Absatzgebiet der Tantallampe stark eingeschränkt.

Wolfram gehört zu den schwerst schmelzbaren Metallen, die wir kennen, und der älteren chemischen Technik war es überhaupt nicht gelungen, Wolfram anders als in Pulverform herzustellen. Bei der Erzeugung von Osmiumfäden aus einem gleichfalls pulverförmigen Ausgangsmateriale durch Auer von Welsbach war aber glücklicherweise schon die Methode der Fadenherstellung aus Metallpulvern durch das sogenannte Pasteverfahren gefunden worden. Es machte deshalb keine erheblichen Schwierigkeiten, Wolframfäden in genügender Feinheit herzustellen.

Wegen des geringen spezifischen Widerstandes des Wolframs muß eine sehr erhebliche Fadenlänge in einem Ballon untergebracht werden. Das macht nicht geringe Schwierigkeit, zumal auch die bei der Glühhitze weich werdenden Wolframfäden noch einzeln gestützt und gehalten werden müssen. Für die geeignete Halterung und Befestigung der Wolframfäden sind unzählige Methoden erfunden worden. Am besten hat sich die Methode der Deutschen Gasglühlicht-Gesellschaft bewährt, die ihre Wolframlampen „Osramlampen“ nennt. An das „Füßchen“ der Glühlampe (Abb. 38) wird ein Glasstengelchen angeschmolzen, das am oberen und am unteren Ende Verdickungen aufweist. In die untere Verdickung sind Nickeldrähte eingeschmolzen, die in kleinen Öfen endigen, die obere Verdickung dagegen trägt Molybdändrähchen, die in feinen Hälchen endigen. Aus den Füßchen ragen außerdem noch Nickeldrähte heraus, die der Stromzuführung dienen und die gleichfalls an ihrem Ende zu Öfen ausgebildet sind. Über jedes der oberen Molybdänhälchen wird ein Wolframfadenbügel so gehängt, daß seine unteren Enden durch die Öfen der Nickeltragdrähte hindurchragen. Auf jedem Hälchen hängt ein Bügel, durch die Öfen gehen immer die Enden zweier aufeinander folgender Bügelenden. Das eine Ende des ersten Bügels und das zweite Ende des letzten Fadenbügels werden durch die Öfen der Zuleitungsdrähte durchgeführt. Die Öfen werden in einer Leuchtgasatmosphäre durch einen elektrischen Lichtbogen verschmolzen.

Der Lampenfuß mit dem Traggestell und den Wolframbügeln wird dann in den Lampenballon eingeführt, und der Teller des Füßchens wird mit

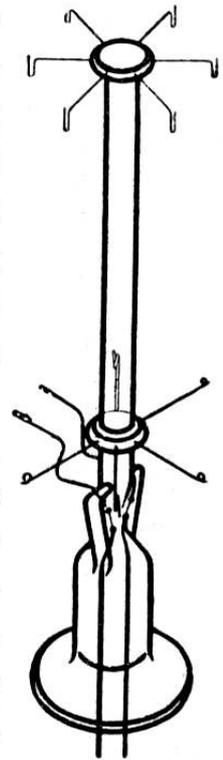


Abb 38. Füßchen und Fadenträger der Osramlampe.

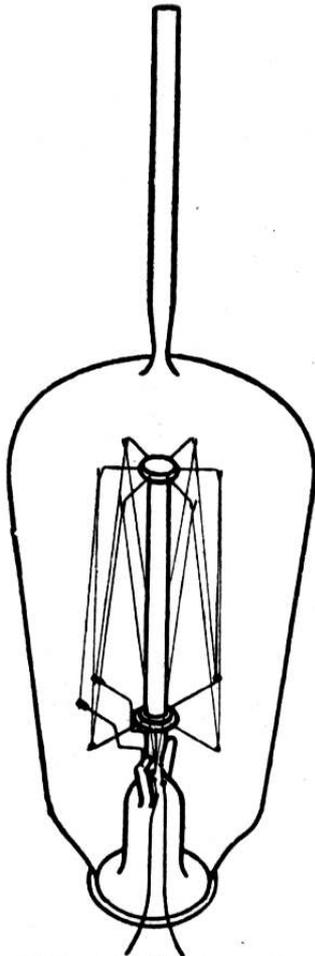


Abb. 39. Einsetzen der Füßchen in den Lampenballon

dem Ballonhalse verschmolzen (Abb. 39). Hierauf wird der Ballon evakuiert, wozu heute ausschließlich rotierende Quecksilberluftpumpen und neuerdings Molekularluftpumpen nach Gäde in Verbindung mit Ölörpumpen benutzt werden. Nach vollendeter Evakuierung wird das zur Luftpumpe führende Stengelchen abgeschmolzen, und die Lampe wird photometriert, um sie nach Kerzenstärke und Betriebsspannungen sortieren zu können.

Bei den Glühlampen hat sich der Gebrauch herausgebildet, nur die Lichtstärke in horizontaler Richtung anzugeben, und man bezieht meist auch die Ökonomie der Lampe, bzw. ihren spezifischen Verbrauch auf die horizontale Lichtstärke. Im Gegensatz zu anderen Lichtquellen kann hier die Angabe lediglich der horizontalen Lichtstärke kaum zu Irrtümern führen, denn die horizontale Lichtstärke steht bei fast allen symmetrisch gebauten Glühlampen in einem festen Verhältnisse zur mittleren sphärischen Lichtstärke bzw. zum gesamten Lichtstrom, und zwar ist

$$J_{\circ} = 0,75 J_h \text{ bis } 0,80 J_h.$$

Bei wissenschaftlichen Vergleichen von Glühlampen verschiedener Art untereinander muß natürlich die mittlere sphärische Lichtstärke besonders bestimmt werden. Die photometrische Kurve einer Wolframlampe, die dazu dient, ist in Abb. 40 abgebildet.

Hinsichtlich der Ökonomie steht die Wolframlampe an der Spitze aller Glühlampen. Bezogen auf die horizontale Lichtstärke beträgt der spezifische Verbrauch 1,0 bis 1,1 Watt/HK, bezogen auf die mittlere sphärische Lichtstärke beträgt er 1,43 Watt/HK. Bei den Lampen für hohe Lichtstärke geht der spezifische Verbrauch sogar bis auf 0,8 Watt per horizontale HK herunter. Die bessere Ökonomie der Wolframlampe ist in erster Linie auf die höhere Temperatur des Glühfadens zurückzuführen, sie beträgt mindestens 2100°.

Die Wolframlampe wird für alle gangbaren Betriebsspannungen bis zu 250 Volt gebaut. Bei den Lampen mit Fäden nach dem Spritz- oder Pasteverfahren ist es aber bisher nicht gelungen, sie für eine niedrigere horizontale Lichtstärke als 25 HK bei 110 Volt und 32 HK bei 220 Volt herzustellen. Das wurde zunächst vielfach als ein Mißstand empfunden, denn für Tischlampen reicht eine Lichtstärke von 16

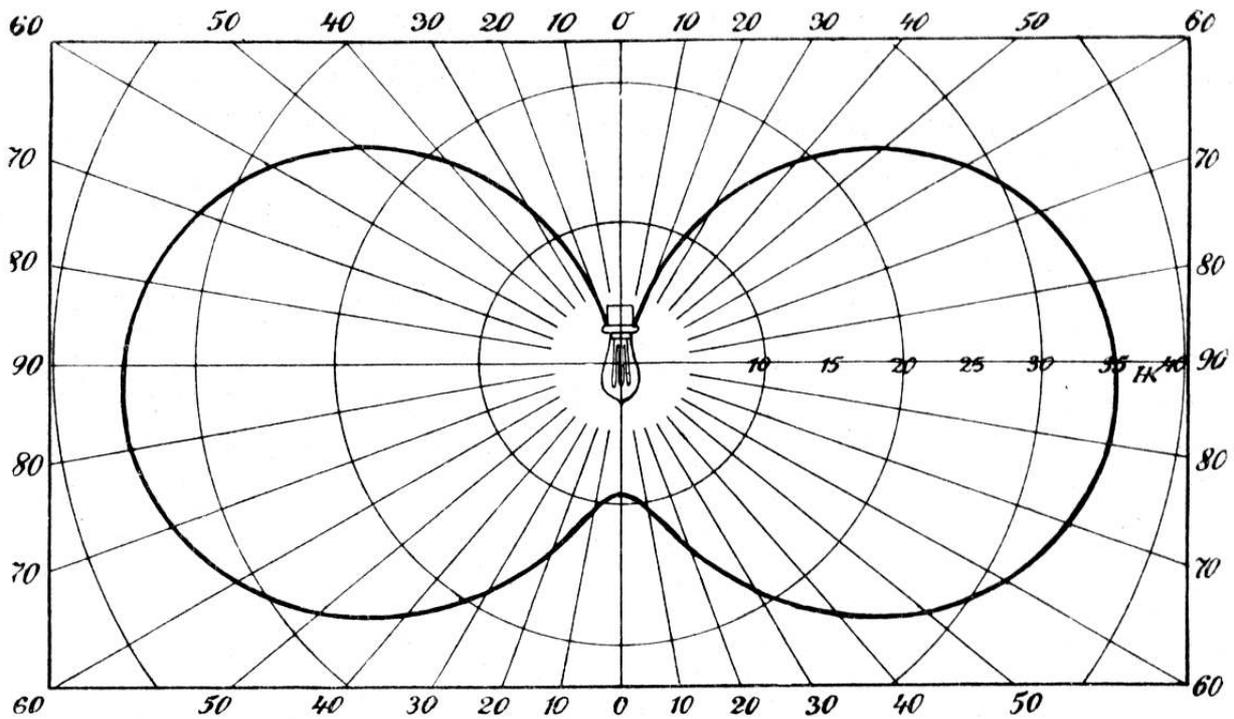


Abb. 40. Lichtverteilung bei der Osramlampe.

HK im allgemeinen aus. Da aber bei einer 32 kerzigen Wolframlampe immer noch absolut weniger Energie aufzuwenden ist als bei einer 16 kerzigen Kohlenfadenlampe von 3,5 Watt/HK spezifischen Verbrauches, so hat man sich bald an die unvermeidlich höhere Lichtstärke gewöhnt, zumal bei der Wolframlampe noch wesentliche Ersparnisse insofern eintreten, als die Lebensdauer ungleich länger als die der Kohlenfadenlampen ist. Eine gute Wolframlampe büßt nach 1000 Brennstunden nicht mehr als 5% an Lichtstärke ein, bis zur 200. Brennstunde nimmt sie sogar noch an Lichtstärke zu. Selbst nach 2000 Brennstunden hat sich die Lichtstärke meist noch nicht um 25% vermindert. Unter günstigen Betriebsverhältnissen haben Wolframlampen sogar 7000 Brennstunden und mehr erreicht, ehe der Faden durchbrannte.

Eine weitere Überlegenheit der Wolframlampen über die Kohlenfadenlampe besteht darin, daß es gelungen ist, mit ihr auch sehr hohe Lichtstärken zu erzeugen. Alle Glühlampenfabriken liefern regulär Wolframlampen bis zu 1000 HK, auf Bestellung sogar solche bis zu 2000 HK. Bei diesen hochkerzigen Lampen ist, wie bereits erwähnt, die Ökonomie sogar noch besser als die der Lampen bis zu 200 HK, neuerdings ist man bis auf einen spezifischen Verbrauch von 0,5 Watt/HK heruntergegangen. Für die öffentliche Beleuchtung haben die hochkerzigen Metallfadenlampen bereits eine sehr große Bedeutung gewonnen,

und sie haben in manchen Städten die Bogenlampen verdrängt, vor allem deshalb, weil sie so gut wie keiner Bedienung bedürfen. Sie brauchen nur ausgewechselt zu werden, wenn sie durchgebrannt sind.

Sehr interessant ist es, daß bei den Wolframlampen und auch bei den anderen Metallfadenlampen keine wesentliche Schwärzung des Ballons durch Geißlerentladungen stattfindet.¹⁾ Diese merkwürdige Erscheinung findet ihre Erklärung wahrscheinlich in dem sehr hohen Atomgewichte der benutzten Metalle Osmium, Tantal, Wolfram. Die Atomverbände sind infolgedessen inniger und dichter, so daß die aus tretenden negativen Elektronen nicht so leicht Molekeln des Metalles mitreißen können, wie bei den Kohlenfadenlampen, deren Material nur ein sehr niedriges Atomgewicht aufweist. Das hohe Atomgewicht der zu Glühlampen benutzten Metalle ist übrigens an sich schon eine Erklärung für die bessere Ökonomie der Metallfadenlampen. Dem Atomgewichte ist die spezifische Wärme umgekehrt proportional, so daß das Produkt aus Atomgewicht und spezifischer Wärme, die sog. Atomwärme, für alle festen Körper nahezu den gleichen Wert von 6,3 besitzt. Praktisch bedeutet das, daß zur Erzeugung gleich hoher Temperaturen bei Körpern von hohem Atomgewichte weniger Wärmeenergie — hier Stromwärme — aufzuwenden ist, als bei Körpern von niedrigem Atomgewichte.

Neben den aufgezählten guten Eigenschaften der Metallfadenlampen, vor allem der Wolframlampen haben insbesondere die letzteren den großen Übelstand, daß die Lampen mit nach dem Pasteverfahren hergestellten Fäden keine mechanischen Erschütterungen vertragen. Dieser Übelstand ist in den letzten Jahren zum größten Teil beseitigt worden. Durch Zusätze zum Wolframpulver, die von den Fabriken allerdings geheim gehalten werden, ist es gelungen, die Sprödigkeit des gespritzten Wolframfadens so weit zu mildern, daß man gespritzte Rohfäden sogar um einen Finger wickeln kann. Immerhin war dieser Ausweg doch nur ein Umweg, wie überhaupt die Herstellung von Fäden aus

1) Ein Abspraken von Metallpartikeln kommt bei den Metallfadenlampen natürlich auch vor, besonders bei den Tantallampen. Im Gegensatz zu den Kohlenfadenlampen kann aber trotzdem eine Schwärzung der Ballons verhindert werden, wenn man in die Ballons Halogenverbindungen einführt. Es bilden sich dann durchsichtige Halogen-Wolframverbindungen, die die Lichtstrahlung nicht behindern. Dieses Verfahren ist besonders bei den hochkerzigen Lampen angebracht, die relativ höher belastet werden, als niedrigkerzige Lampen.

zusammengesinterten Einzelpartikelchen recht weit ab von dem Ziele lag, Wolfram ebenso als Draht zu ziehen, wie man Gold-, Eisen- oder Platindraht zieht, und wie man selbst Tantal ziehen kann.

Auch dieses Ideal ist aber in den letzten Jahren erreicht worden, und heute haben die Wolframbrahtlampen die mit gespritzten Fäden fast völlig verdrängt, zumal es möglich ist, Wolframbrahtlampen auch für sehr niedrige Lichtstärken von 5—16 HK bei 110 bzw. 220 Volt Betriebsspannung herzustellen.

Das Ziehen des Wolframbrahtes hat ganz außerordentlich viel Mühe und Scharfsinn erfordert, ehe brauchbare Verfahren ausgearbeitet werden konnten. Nach dem Verfahren der General Electric Co. in Schenectady (N. St. v. A.), das jetzt allgemein angewandt wird, wird Wolframpulver unter starkem hydraulischem Drucke zu Stäbchen gepreßt, die man in einem Glühofen im Wasserstoffstrom vor sintert. Man erhält hierdurch Stäbchen von solcher Festigkeit, daß sie wenigstens in Klemmböcken eingespannt und durch Stromwärme in einer Wasserstoffatmosphäre zur Weißglut erhitzt werden können. Es entstehen hierbei homogene, aber wegen ihrer kristallinen Struktur noch sehr brüchige Stäbe. Werden nun diese Stäbe hoch erhitzt und hierbei gewalzt oder gehämmert, so werden sie immer homogener und duktiler. Durch fortgesetztes Walzen und Hämmern bei gleichzeitiger Erwärmung werden die Stäbchen schließlich in Draht von ca. 1 mm Durchmesser heruntergearbeitet. Dieser Draht wird dann durch erhitzte Diamantdüsen gezogen. Während des Ziehens erhält er erst seine hohe Duktilität und Zugfestigkeit, die die des Stahldrahtes weit übertrifft. Auf diese Weise gelingt es, Wolframbraht bis auf einen Durchmesser von 0,012 mm herab zu ziehen.

Der gezogene Draht wird in bestimmten Längen auf Traggestelle nach Art der Traggestelle für Tantalampen aufgewickelt, die Enden werden mit den Zuleitungsdrähten in der früher beschriebenen Weise verschweißt, und die Traggestelle werden in der gewöhnlichen Weise in Lampenballons eingesetzt.

Wenn auch der Ziehprozeß mühsamer als das Spritzverfahren ist, so resultiert doch ein Produkt, das hinsichtlich der Gleichmäßigkeit der Struktur nicht mehr zu übertreffen ist. Hierdurch wird die eigentliche Lampenfabrikation wesentlich vereinfacht und verbilligt.

Da die Wolframbrahtlampe alle guten Eigenschaften der älteren Wolframfadenlampe behalten und noch die neue der großen Erschütterungsfestigkeit dazu erhalten hat, und da sie außerdem billiger geworden ist als die Kohlenfadenlampe vor etwa 20 Jahren, so kann es nicht überraschen, daß die Wolframbrahtlampe in der kurzen Zeit ihres Bestehens alle anderen Metallfadenlampen verdrängt und der Kohlenfadenlampe geradezu den Garaus gemacht hat. In Deutschland werden Wolframbrahtlampen von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, von der Deutschen Gasglühlicht Aktien-Gesellschaft (Osramlampen), von

Siemens & Halske (Wotanlampen) und von den Bergmann-Elektrizitätswerken fabriziert.

Man kann übrigens Metallfadenlampen auch ebenso wie die Kohlenfadenlampen mit einer höheren als der normalen Belastung betreiben, natürlich auf Kosten der Lebensdauer. Wenn man wegen des niedrigeren Schmelzpunktes des Wolframs mit der Überlastung auch nicht so weit gehen kann wie beim Kohlenfaden, so wird doch bei einer schon geringen Überlastung die Lichtausbeute so kolossal gesteigert, daß unter Umständen der Betrieb mit überlasteten Wolframlampen rationeller wird als mit normal belasteten. Auf diesem Prinzip ist beispielsweise das sog. „kalte Licht“ von Duffaud basiert.¹⁾ Beträgt bei der normalen Belastung von 1 Watt/HK die Lebensdauer 1000 Stunden, so sinkt bei einer Überanstrengung um 50% die Lebensdauer auf 10 Stunden, bei einer Überanstrengung um 100% sogar auf $\frac{1}{2}$ Stunde. In dem letzteren Falle erhält man aber 14 mal so viel Licht; der spezifische Verbrauch beträgt nur 0,2 Watt/HK. In den Fällen, wo Licht nur momentan gebraucht wird, wie bei kinematographischen Projektionen, bei der optischen Telegraphie im Kriege usw. und in allen den Fällen, wo die Kosten der Lampe selbst nicht ins Gewicht fallen, kann dieser physikalisch-ökonomische Betrieb von großem Vorteile sein.

Auch bei den neuen „Halbwattlampen“ handelt es sich um eine überlastete Wolframlampe. Während die Temperatur der gewöhnlichen Wolframlampe ca. 2100° C beträgt, steigt sie bei der Halbwattlampe auf ca. 2400° C. Bei dieser hohen Fadentemperatur, die nicht weit unter dem Wolframschmelzpunkte (2800° C) zurückbleibt, findet bei der gewöhnlichen evakuierten Wolframlampe eine starke Schwärzung des Ballons durch teilweise Verdampfung, bzw. Sublimierung des Metalles statt. Diese Verdampfung kann erheblich eingeschränkt werden, wenn man, was bereits Edison bei seiner Kohlenfadenlampe versucht hatte, den Ballon mit indifferentem Gas füllt (vgl. Seite 82). Besonders bewährt hat sich hier eine Stickstofffüllung unter $\frac{2}{3}$ Atm. Druck. Hierbei findet natürlich eine starke Wärmeableitung durch die Gasfüllung statt; und eine gewöhnliche Wolframlampe mit Gasfüllung würde nur $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{5}$ ihrer normalen Lichtstärke liefern. Macht man dagegen die strahlende Oberfläche des Glühdrahtes möglichst klein, indem man ihn in eine enge Spirale wickelt, so können die Wärmeverluste

1) Zeitschrift für Beleuchtungswesen 1912 S. 86.

durch Ableitung sehr stark herabgemindert werden. — Die neuen Halbwattlampen haben bei einer Brenndauer von 800—1000 Stunden eine Ökonomie von 0,65 Watt/HK₀ bzw. 0,5 Watt/KH₀; sie werden in den Größen von 600—4000 Kerzen hergestellt. Versuche sind im Gange, auch kleinere Typen herzustellen.

3. Die Nernstlampe. Wenn auch die Wolframdrahtlampe heute Alleinherrscherin auf dem Gebiete der Glühlampenbeleuchtung ist, so darf doch eine Form der elektrischen Lampe nicht mit Stillschweigen übergangen werden, die zwar heute gar keine praktische Bedeutung mehr hat, die aber in theoretischer Hinsicht überaus interessant ist. Es ist dies die Elektrolytlampe, die durch Nernst durchgebildet worden ist.

Als Leuchtkörper kommen für die Nernstlampe Stoffe in Betracht, die bei gewöhnlicher Temperatur die Elektrizität nicht leiten und geradezu Isolatoren sind, nämlich Magnesia und Oxide anderer Metalle, vornehmlich Zirkonoxid. Diese Oxide werden aber leitend, wenn sie auf etwa 600° erwärmt werden. Zur Vorwärmung der aus Zirkonoxid hergestellten dünnen Stäbchen, die den Leuchtkörper der Nernstlampe bilden, dienen dünne in Porzellanmasse eingebettete Platinspiralen, die sich automatisch ausschalten, wenn Strom durch das Leuchtstäbchen verläuft. Da der Temperaturkoeffizient der Nernststäbchen wesentlich stärker negativ ist, als der der Kohle, so sinkt der Widerstand des Stäbchens mit steigender Temperatur sehr stark. Die Stromstärke nimmt dementsprechend zu, und die Temperatur steigt weiter; um das zu verhüten, wird dem Stäbchen ein Widerstand mit hohem positiven Temperaturkoeffizienten vorgeschaltet. Dieser aus Eisendraht in einer Wasserstoffatmosphäre bestehende Vorschaltwiderstand verhindert, daß die Stromstärke über ein bestimmtes Maß hinaus ansteigt.

Das Licht der Nernstlampe ist, entsprechend ihrer hohen Temperatur von rund 2490° abs. rein weiß und nähert sich in seiner spektralen Zusammensetzung am meisten dem Sonnenlichte. Der spezifische Verbrauch der Nernstlampe beträgt 1,74 Watt/sphärische Hefnerkerze, wenn man von dem Stromverbrauch im Vorschaltwiderstand absieht und 1,91 Watt/HK₀ inkl. Vorschaltwiderstand. Die Nernstlampe konnte deshalb auch nur als Konkurrent der Kohlenfadenlampe in Betracht kommen. Die Metallfadenlampe hat sie aus dem praktischen Gebrauche vollständig verdrängt. Schon wegen des Zwanges den Leuchtkörper vorwärmen zu müssen, ehe er Licht spendete, was bei den größeren Typen der Nernstlampe bis zu 10 Minuten dauerte, hat sich die Nernstlampe überhaupt keiner sehr großen Beliebtheit erfreut. — Heute werden Nernstlampen fast nur noch zu wissenschaftlichen Zwecken und für kleinere Projektionsapparate fabriziert.

Bei dem Nernstbrenner scheint eine starke selektive Strahlung den hohen Lichteffect zu begründen; wenigstens wurde die Elektrolytlampe von Nernst wesentlich unter dem Gesichtspunkte der selektiven Emission erdnen.

4. Die Lampenglocken und Reflektoren. Da, wie auf Seite 90 erwähnt, die räumliche Lichtausstrahlung der Glühlampen und auch der anderen Beleuchtungsapparate für die meisten Zwecke der Beleuch-

tung nicht besonders günstig ist, so muß durch geeignete Lampenglocken oder Reflektoren eine für den jeweiligen Verwendungszweck günstige Verteilung des Lichtstromes herbeigeführt werden. Gleichzeitig ist man mit Hilfe von Lampenglocken und Reflektoren auch in der Lage, das direkte, blendende Licht von den Augen abzuhalten.

In besonders wirkungsvoller Weise ist bei den von A. Blondel berechneten Beleuchtungsgläsern der Holophane Gesellschaft die Lichtbrechung und Reflexion ausgenutzt worden, um für die verschiedenen Verwendungszwecke die günstigste Lichtverteilung zu erhalten. Die Gläser sind zu diesem Zweck auf der Innenseite mit horizontal verlaufenden, auf der Außenseite mit meridional verlaufenden Prismenrippen versehen worden. Eine einfache Schale (Abb. 41), in der die Lampe angeordnet ist, liefert die in Abb. 41a abgebildete photometrische Kurve, die für Beleuchtung von Arbeitsplätzen ausgezeichnet geeignet ist. Reflektoren anderer Form liefern eine Lichtverteilung, wie sie zur Raumbeleuchtung besonders günstig ist, usw.

Während früher der günstigsten Verteilung des Lichtstromes bei Glühlampen nur sehr geringe Aufmerksamkeit geschenkt wurde und demnach bei an und für sich unökonomischer Lichterzeugung bei der Lichtverteilung noch weitere Verschwendung getrieben wurde, wird jetzt dieser Frage ganz besondere Aufmerksamkeit zugewandt, und man steigert bei verbesserter Ökonomie der Lichterzeugung auch noch die Lichtausbeute. Andererseits aber gestattet

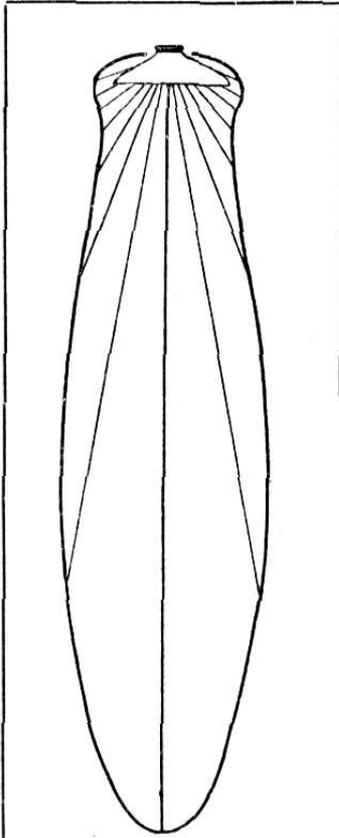


Abb. 41 a.

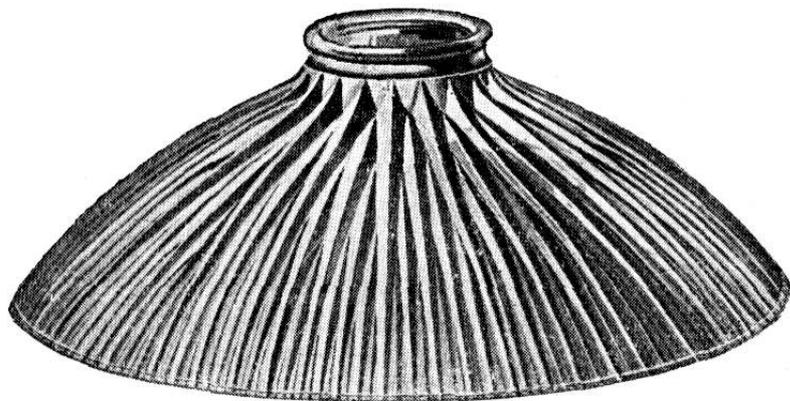


Abb. 41.

die höhere Ökonomie der Lichterzeugung auch der Frage der indirekten und halbindirekten Beleuchtung erhöhte Aufmerksamkeit zuzuwenden. Aus Zweckmäßigkeitsgründen und aus Gründen der Ästhetik legt man heute einen ganz besonderen Wert darauf, Wohn- und Arbeitsräume möglichst gleichmäßig zu beleuchten, starke Lichtkontraste auf den beleuchteten Flächen und starke Schlag Schatten zu vermeiden. Direkte Beleuchtung in Wohnungen, Schulräumen, Schaufenstern usw. ist heute geradezu anti-

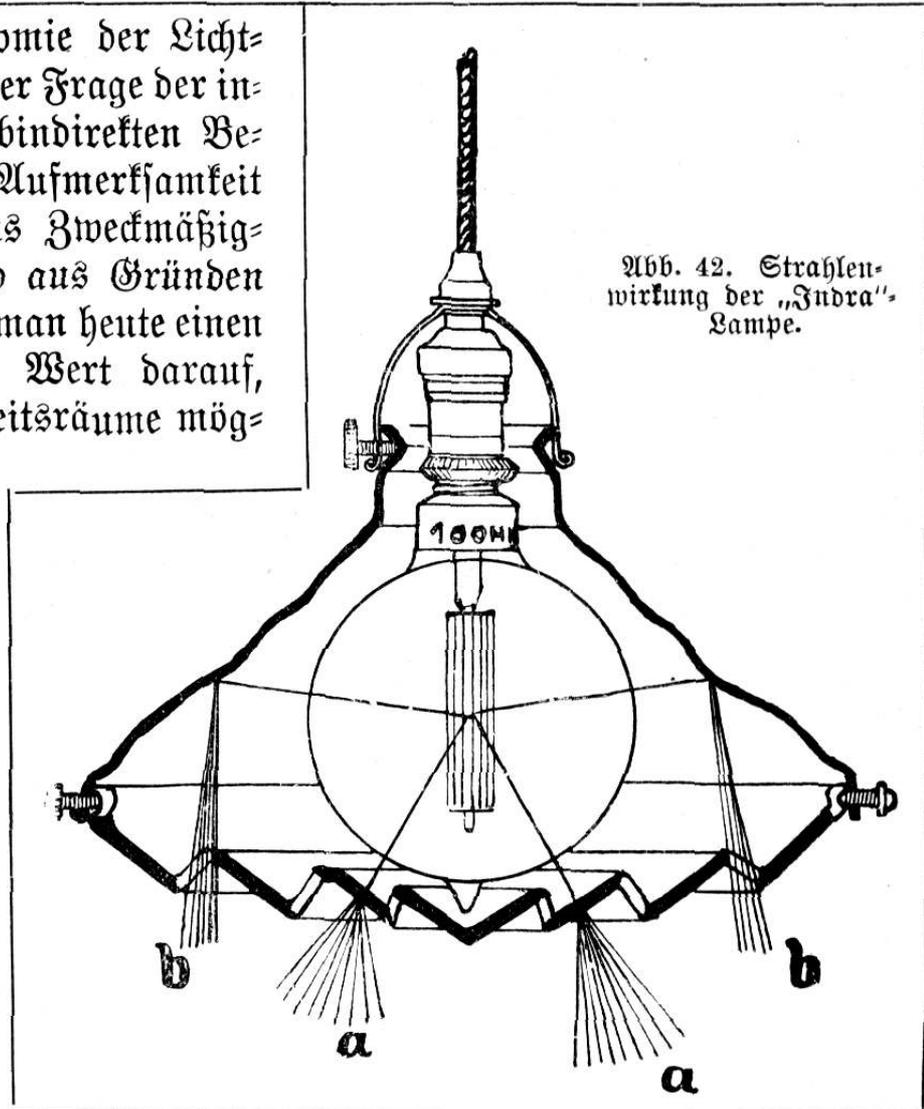


Abb. 42. Strahlenwirkung der „Indra“-Lampe.

quiert, und bei der indirekten und halbindirekten Beleuchtung sind trotz der erheblichen Streuung des Lichtstromes nicht einmal nennenswerte Lichtverluste gegenüber der direkten Beleuchtung in Kauf zu nehmen.

Von den verschiedenen in Betracht kommenden Systemen seien die „Indra“-Lampe und auch die „Sun“-Lampe wenigstens erwähnt. Bei beiden Systemen sind hochkerzige Metallfadenslampen in halbdurchlässigen oder ganz undurchlässigen Glocken montiert, die nach unten durch eigenartige Schalen abgedeckt sind, die ihrerseits eine weitere Streuung des Lichtes bewirken. Der Einfluß dieser Anordnung ist aus den beistehenden Abbildungen ohne weiteres ersichtlich (Abb. 42 u. 43).

b) Die Bogenlampen.

1. Der Davysche Lichtbogen. Die Entdeckung Davys, daß sich an der Unterbrechungsstelle eines Stromkreises ein „Lichtbogen“ bil-

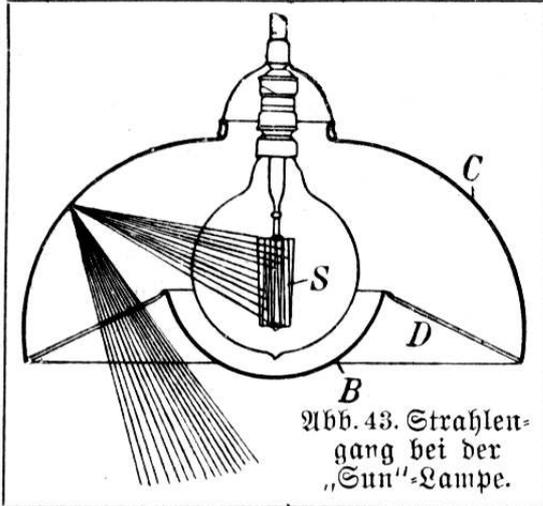


Abb. 43. Strahlengang bei der „Sun“-Lampe.

det, der die Luftstrecke zwischen den Polen überbrückt, ist für die Entwicklung der Elektrotechnik von größter Bedeutung geworden. Davy selbst beschreibt sein Experiment in folgender Weise: „Wenn man Stückchen Zeichenkohle von ungefähr 1 Zoll Länge und $\frac{1}{6}$ Zoll Durchmesser mit den Poldrähten einer Batterie verband und sie bis $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{40}$ Zoll Entfernung einander näherte, so entstand zwischen ihnen ein

hellglänzender Funke, gleichzeitig wurde mehr als die halbe Länge der Kohle zur hellsten Weißglut entfacht; beim Auseinanderziehen der Kohlen spitzen fand eine dauernde Entladung durch eine mindestens 4 Zoll lange Strecke der erhitzten Luft statt unter Bildung eines außerordentlich brillanten, breiten, konisch zulaufenden Lichtbogens“ (Abb. 44). Charakteristisch für diese Erscheinung ist aber neben dem Auftreten des Lichtbogens noch die merkwürdige Tatsache, daß die positive Kohle an den Stellen, an denen sie vom Lichtbogen getroffen wird, sich stärker erhitzt als die negative Kohle. Es bildet sich an dem Ende der positiven Kohle, wenn der Lichtbogen in freier Luft erzeugt wird, ein vertiefter Krater, der den Hauptteil des Lichtes ausstrahlt. In diesem Krater, dessen Temperatur rund 4000° beträgt, kommt nach neueren Untersuchungen die Kohle direkt zum Schmelzen und zum Verdampfen.

Eine Erklärung der merkwürdigen Erscheinung des Lichtbogens ist erst in unseren Tagen nach Aufstellung der Elektronentheorie gelungen. Man nimmt an, daß von dem negativen Pol Elektronen weggeschleudert werden, die hierbei Kohlenmolekeln mitreißen. Der positive Pol wird also gewissermaßen unter ein Bombardement von kleinsten Masseeteilchen gesetzt, die im Lichtbogen erglühen, und durch das lebhafteste Anprallen der Masseieilchen wird der positive Pol auf die höchste Temperatur erhitzt, die wir mit unseren gegenwärtigen Mitteln überhaupt erzeugen können. Der Lichtbogen selbst strahlt nur sehr wenig Licht aus, wenn er sich zwischen Polen aus reiner Kohle bildet. Sind die Kohlen jedoch mit gewissen Metallsalzen imprägniert, so wird der Bogen selbst intensiv leuchtend und strahlt unter Umständen sogar mehr Licht aus als der Krater der positiven Kohle. In dem Falle, wo Reinkohlenelektroden benutzt werden, haben wir der Hauptsache nach

reine Temperaturstrahlung vor uns, im Falle der imprägnierten Kohlen treten zu der Temperaturstrahlung noch Lumineszenzerscheinungen hinzu.

Die Ökonomie der Lichterzeugung ist bei der Bogenlampe deshalb höher als bei allen anderen irdischen Lichtquellen, weil die Temperatur so hoch ist. Bei 4200° abs. liegt das Maximum der Energiestrahlung bereits im sichtbaren Gebiete des Spektrums. Nach dem Strahlungsgesetz ist

$$\lambda_{\max} = \frac{2894}{4200} = 0,68 \mu$$

d. h. das Maximum liegt im Gebiete der roten Strahlen. Da aber nach den Strahlungsgesetzen mit der Steigerung der Temperatur die gesamte Energiestrahlung mit der vierten Potenz und die Helligkeit der Lichtstrahlung gar mit der zwölften Potenz anwächst, wenn es sich um den Schwarzen Körper handelt, so ist auf Grund der Strahlungsgesetze die gewaltige Lichtstrahlung und die hohe Ökonomie der Bogenlampe von vornherein zu erwarten gewesen.

2. Die gewöhnliche Bogenlampe. In den ersten Zeiten der Elektrotechnik machte die Regulierung des Abstandes zwischen den Kohlepolen sehr große Schwierigkeiten; denn während des Brennens des Lichtbogens wird das Elektrodenmaterial durch den Sauerstoff der Luft verzehrt. Der Abstand zwischen den Kohlepolen vergrößert sich allmählich, und der Lichtbogen vermag den Zwischenraum schließlich nicht mehr zu überbrücken. Er verlöscht, wenn die Kohlen nicht, entsprechend ihrem Abbrande, einander genähert werden. Es wurden zu diesem Zwecke außerordentlich sinnreiche Reguliermechanismen konstruiert, die teilweise auch ihren Zweck durchaus erfüllten, die aber sämtlich den gleichen wunden Punkt besaßen, daß nämlich von einer Elektrizitätsquelle aus immer nur eine einzige Bogenlampe gespeist werden konnte. Erst durch die Differentiallampe von v. Hefner-Alteneck wurde das Problem der Teilung des elektrischen Lichtes gelöst. Das Prinzip dieser Lampe erhält aus Abb. 45.

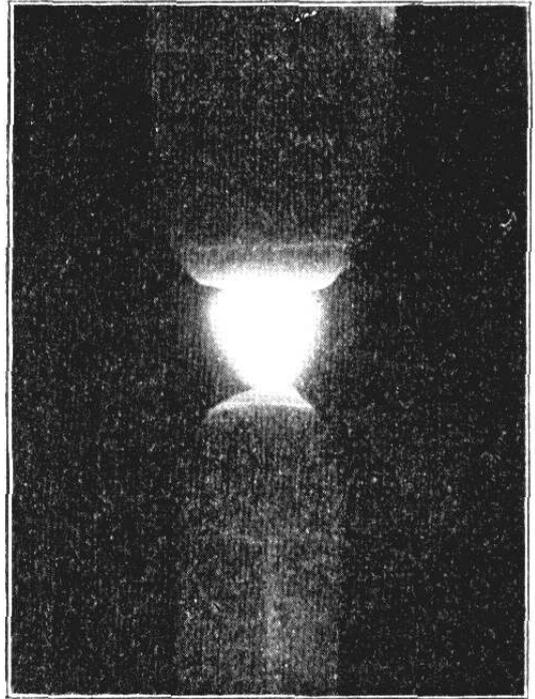


Abb. 44 Lichtbogen zwischen Kohlenspitzen.

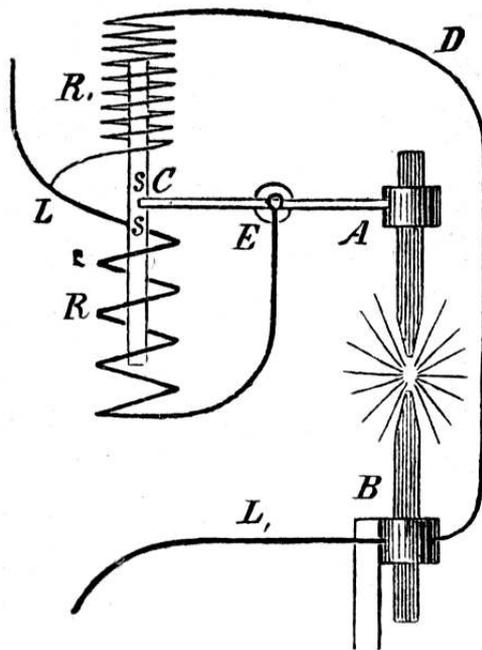


Abb. 45. Prinzip der Differentiallampe.

CA ist ein um E drehbarer Hebel, an dessen Enden einerseits der Eisenstab ss andererseits der obere Kohlenhalter A angebracht sind. Der untere Kohlenhalter B ist anderweitig befestigt. Der Eisenstab ss kann sich mit dem unteren Ende in einer dickdrätigen Spule R und mit dem oberen Ende in einer dünnadrätigen Spule R_1 von sehr großem Widerstande bewegen. Bei L findet eine Teilung des elektrischen Stromes in die beiden Zweige LR_1D und LR_1E statt. Von D führt eine direkte Leitung zum unteren Kohlenhalter, von E fließt der Strom durch den oberen Kohlenhalter A über den Lichtbogen nach dem unteren Kohlenhalter B und von dort verlaufen beide Teilströme durch die Leitung L_1 nach der Elektrizitätsquelle zurück. — Im Ruhezustand berühren sich die beiden Kohlen. Ein in die Lampe eintretender Strom wird der Hauptsache nach durch die Spule R verlaufen, die deshalb den Stab ss in sich hineinzieht. Hierdurch werden die Kohlenspitzen voneinander entfernt, und der Lichtbogen entsteht. Da bei der Bildung des Lichtbogens der Widerstand in dem Stromkreise LR_1E vergrößert wird, so verringert sich die Stromstärke in ihm, während die Stromstärke im Stromkreise LR_1D anwächst, und dies um so mehr, je mehr sich der Lichtbogen durch Abbrand der Kohle verlängert. Hierdurch gewinnt die Spule R_1 ihrerseits einen stärkeren Einfluß auf den Eisenstab ss , und die Kohlenspitzen werden einander wieder genähert. Es findet also eine Differentialwirkung der beiden Spulen R und R_1 auf den Stab ss bzw. auf den Lichtbogen statt, und seine Länge wird dauernd konstant gehalten.

Die Einrichtung gestattet aber auch ohne weiteres die Hintereinanderschaltung mehrerer Bogenlampen in den gleichen Stromkreis, denn es findet ja selbst beim Abreißen des Lichtbogens keine Unterbrechung des ganzen Stromkreises statt. Um schädliche Erwärmungen in der dünnadrätigen Spule R_1 zu verhüten, wenn der Strom ausschließlich durch sie verläuft, wird, wenn eine der hintereinander geschalteten Bogenlampen, etwa durch völligen Abbrand der Kohlen, verlöscht, diese Lampe durch einen automatischen Kurzschließer überbrückt. Die Einrichtung einer modernen Differentiallampe zeigt Abb. 46.

Die Hintereinanderschaltung von Bogenlampen, die Konstanthaltung der Stromstärke im Leitungsneße bedingt, ist nicht sehr beliebt und nicht sehr vorteilhaft. Zweckmäßiger ist es, die Spannung in einem Verteilungsneße konstant zu halten, und in diesem Falle ist die Parallelschaltung¹⁾ der Lampen, der Bogenlampen ebenso wie die der Glühlampen, angebracht.

1) Vgl. Roth, Grundlagen der Elektrotechnik (MKG Bd. 391).

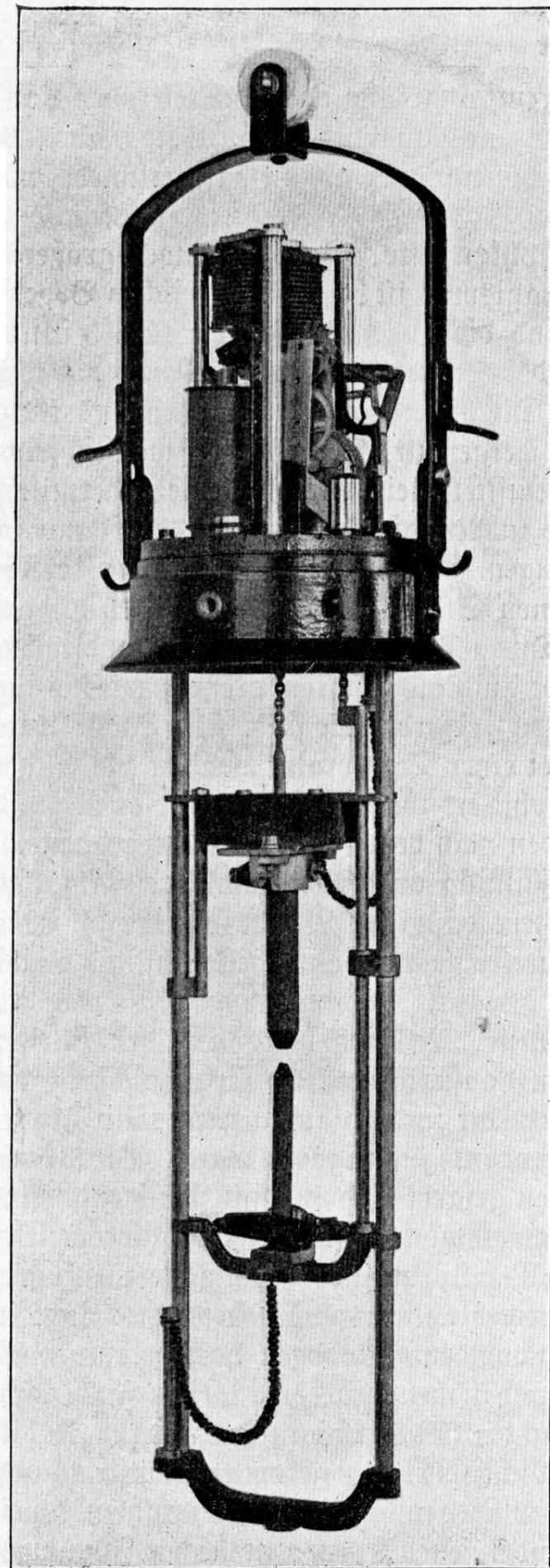


Abb. 46. Mechanismus einer modernen Differential-
lampe.

Da unsere Verteilungsnetze meist für eine konstante Spannung von 110 oder 220 Volt eingerichtet sind, eine gewöhnliche Bogenlampe aber nur rund 35 Volt braucht, können in einem Netze von 110 Volt zwei bis drei, in einem solchen von 220 Volt immer vier bis sechs Bogenlampen hintereinander geschaltet werden. Um die Regulierung der einzelnen Lampen zu erleichtern, wird zweckmäßig der Einzellampe oder der Lampenserie ein Beruhigungswiderstand vorgeschaltet. Bei der Berechnung der Ökonomie der Bogenlampen muß der Energieverbrauch in diesem Beruhigungswiderstände mit berücksichtigt werden.

Der Reguliermechanismus der Differentialbogenlampe zeichnet sich durch große Einfachheit aus. Noch einfacher sind aber die Nebenschlußbogenlampen, bei denen eine Nebenschlußspule von großem Widerstande parallel zum Lichtbogen angeordnet ist. Der durch die Nebenschlußspule verlaufende Strom sucht die Kohlenspitzen einander zu nähern, während das Gewicht des unteren Kohlenhalters oder eine Feder die Kohlen auseinanderzuziehen sucht. Es

findet hier gleichfalls eine Differentialwirkung auf die Elektroden statt. In den Einzelheiten des Reguliermechanismus weichen die Fabrikate der verschiedenen Firmen etwas voneinander ab, diese Unterschiede sind jedoch ohne großen Belang.

3. Die Herstellung der Kohlenstifte. Fast von noch größerer Wichtigkeit als der Reguliermechanismus ist bei den elektrischen Bogenlampen die Dimensionierung und die Beschaffenheit der Kohlenstifte; denn von ihr hängt die Ruhe des Lichtes, die Lichtausbeute und die Brenndauer in erster Linie ab. Die besseren Sorten werden aus Ruß, die billigeren aus Retortenkohle hergestellt. Der Rohstoff wird in feinsten Pulverform mit einem Bindemittel, meist Steinkohlenteer, vermischt und dann unter starkem Drucke zu Rundstücken gepreßt, die dann in die eigentliche Kohlenpresse gelangen. Aus dem Mundstücke der Fertigpresse schießen die noch bildsamen Stäbe heraus, die in bestimmten Längen abgeschnitten werden. Durch Dorneinsätze in den Mundstücken der Pressen lassen sich die Stäbe auch als Röhren pressen, wie sie für die Herstellung von „Dochtkohlen“ erforderlich sind. Die Stäbe werden dann unter Luftabschluß bei einer Temperatur von ca. 1300° gebrannt, wobei sie teilweise graphitisiert werden.

Die hohlen Kohlenstifte werden nach dem Brennen noch „gedocht“, d. h. ihre Höhlung erhält eine Füllung aus fein gemahlenden Abfällen des Mantels. Dieser „Docht“ dient dazu, den Lichtbogen, der sonst die ganze Kraterfläche der positiven Kohle wechselnd bestreicht, an einer Stelle festzuhalten.

4. Die Flammenbogenlampe. Bremer hatte auf der Pariser Weltausstellung von 1900 ganz außerordentliche Erfolge durch die Anwendung von Kohlen erhalten, die in der ganzen Masse mit Fluorkalzium, Fluorstrontium, Fluorbaryum imprägniert waren. Durch diese Metallsalze wurde der Lichtbogen gefärbt und intensiv leuchtend. Andere Firmen zogen es vor, die zur Erzielung bestimmter Farbeffekte erforderlichen Metallsalze oder Metalloxyde der Dochtmasse zuzufügen. Man ist so imstande, gelbes, rotes, bläuliches und rein weißes Licht zu erzeugen. Da bei dem selbstleuchtenden Lichtbogen hoch erhitzte Gase oder Dämpfe Licht ausstrahlen, so haben wir es in diesem Falle nicht mehr mit reinem Temperaturleuchten zu tun, Lumineszenzwirkungen bilden vielmehr einen sehr beträchtlichen Teil der gesamten Lichtstrahlung.

Während das Spektrum einer Bogenlampe mit Reinkohlen kontinuierlich ist, wie das aller glühenden festen Körper, ist bei den Flammen-

bogenlampen das kontinuierliche Spektrum von einem sehr intensiven diskontinuierlichen Gasspektrum überlagert. Die Geseze der schwarzen Strahlung sind auf diese Bogenlampen nicht mehr anwendbar, denn es werden hier in selektiver Weise direkt Lichtstrahlen erzeugt. Der hohe Betrag der im nichtleuchtenden Teile des Spektrums gestrahlten Energie tritt wesentlich zurück, und demgemäß ist die Ökonomie der Lichtstrahlung bei den Flammenbogenlampen wesentlich

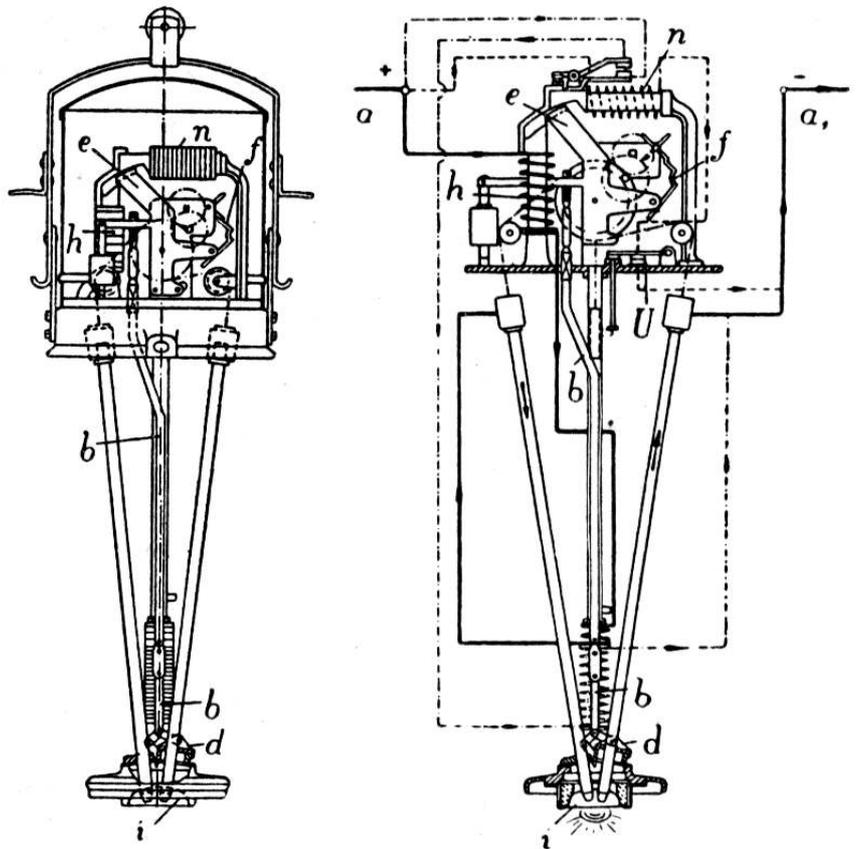


Abb. 47. Bogenlampe mit schrägstehenden Kohlen in zwei Ansichten.

höher als bei allen bisher betrachteten Lichtquellen. — Während bei den Bogenlampen mit Reinkohlen ein spezifischer Verbrauch von 0,83 Watt/HK mittl. sphär. Lichtstärke vorhanden ist, sinkt bei den Bogenlampen mit imprägnierten Kohlen der Effektverbrauch auf 0,31 Watt/HK₀. Bei den gewöhnlichen Bogenlampen wirken nur 8,1% der Gesamtstrahlung als Licht, bei den Flammenbogenlampen dagegen 15,7%. Und von der ganzen zugeführten Energie werden bei der gewöhnlichen Bogenlampe 5,6%, bei der Flammenbogenlampe 13,2% in Licht umgesetzt.

Die Mitherranziehung von Lumineszenzwirkungen durch die Imprägnierung der Bogenlichtkohlen hat sich also, wie von vornherein auf Grund der Strahlungsgeseze zu erwarten gewesen war, als außerordentlich fruchtbar erwiesen, und die Flammenbogenlampe hat deshalb auch die gewöhnliche Bogenlampe stark in den Hintergrund gedrängt.

Gegenüber den gewöhnlichen Bogenlampen hat die Flammenbogenlampe allerdings auch einige Nachteile. Die imprägnierten Kohlen haben einen geringeren spezifischen Widerstand als die Reinkohlen. Deshalb müssen sie bei gleicher Stromstärke dünner gemacht werden. Dünne

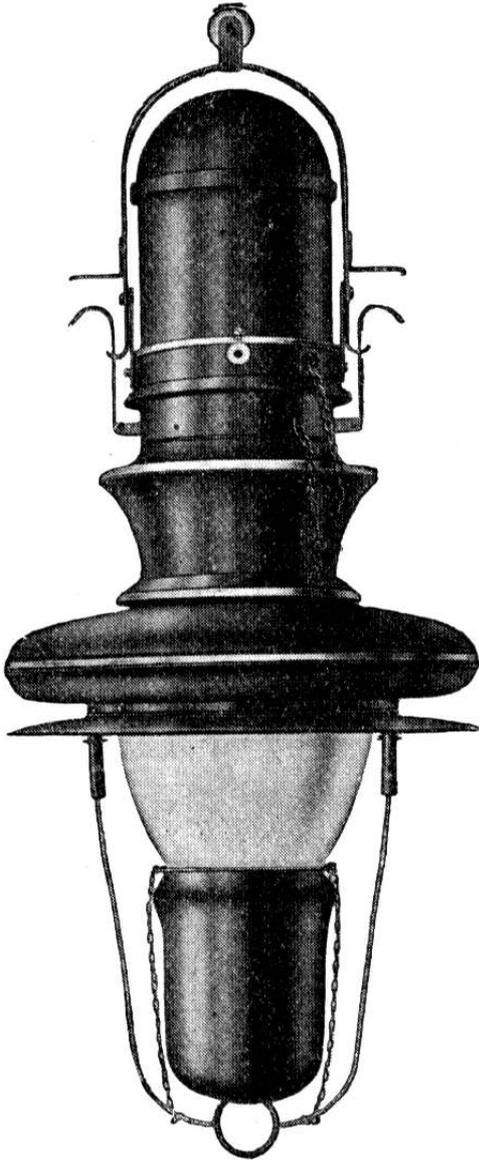


Abb. 48. Ansicht der Flammenlampe.

Kohlen verzehren sich aber naturgemäß rascher als dicke und infolgedessen war man gezwungen, um wenigstens Brennzeiten von acht bis zehn Stunden zu erhalten, die Kohlenstäbe sehr lang zu machen. Hierdurch verbot sich aber wieder die Erzeugung des Lichtbogens zwischen zwei axial einander gegenüberstehenden Kohlen, wenn man nicht zu ganz ungeheuerlichen Abmessungen der Bogenlampengehäuse kommen wollte. Der zur Lösung dieser Schwierigkeit getroffene Ausweg, die Kohlen einander schräg gegenüber zu stellen (Abb. 47), der anfangs mit skeptischen Blicken betrachtet wurde, erwies sich bald als sehr fruchtbar. Man mußte allerdings Blasmagnete anwenden, die den Lichtbogen zwingen, nach unten zu brennen, aber man erhielt hierdurch eine für die meisten Anwendungszwecke sehr günstige räumliche Lichtverteilung. — Der Hauptmißstand der Flammenbogenlampen besteht aber in ihrer sehr starken Rauchentwicklung, dieser Rauch schlägt sich in den Bogenlampenglocken und an dem Gestänge ab, und da er im wesentlichen aus ätzenden Fluorverbindungen besteht, so wer-

den die Glocken und die Metallteile der Lampen stark angegriffen. Vor allem aber wird durch den Niederschlag des Rauches an den Glocken die Lichtausstrahlung nach sehr kurzer Betriebsdauer schon wesentlich vermindert. — In der letzten Zeit ist es allerdings gelungen, auch diesen Mißstand vollständig zu beheben und zugleich auch die Brenndauer der Flammenbogenlampen ganz wesentlich zu verlängern.

Bei den Bogenlampen mit Reinkohle konnte die Brenndauer eines Kohlenpaares von acht bis zehn Stunden auf 100 bis 160 Stunden dadurch verlängert werden, daß man den Lichtbogen in eine kleine Glasglocke einschloß, die den Zutritt atmosphärischer Luft nach Möglichkeit verhinderte. Es ergaben sich die sog. Dauerbrandlampen, die trotz ungünstiger Ökonomie überall dort gute Verbreitung fanden, wo die

Bedienungskosten der gewöhnlichen Bogenlampe stark ins Gewicht fielen. Das Prinzip der Dauerbrandbogenlampe auf die Flammenbogenlampe zu übertragen, gelang aber deshalb nicht, weil enge Glocken mit beschränktem Luftzutritt in sehr kurzer Zeit völlig undurchsichtig wurden. Mit der Flammekolampe der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (Abb. 48) ist aber auch diese Schwierigkeit beseitigt worden. Man hält bei dieser Flammenbogenlampe mit eingeschlossenem Lichtbogen die Bildung eines Niederschlags im Hauptstrahlungsgebiete des Lichtbogens dadurch ab, daß man die Wandungen der entsprechenden Glockenzone durch Wärmestrahlung vom Flammenbogen aus sehr stark erhitzt, und daß man oberhalb und unterhalb dieser Glockenzone Kondensationsräume für die Rauchgase anordnet. Zwischen den Kondensationsräumen und der erhitzten Glockenzone besteht ein erheblicher Temperaturunterschied und hierdurch wird eine vollkommene Ablenkung der Rauchgase nach den Kondensationsräumen bewirkt.

Für Flammenbogenlampen, die mit Wechselstrom betrieben werden, ergab sich hier eine Steigerung der Brenndauer mit einem Kohlenpaare auf 100 bis 120 Stunden. Die Lichtstärke ging allerdings zurück, wenn man die gleiche Lampenspannung anwandte. Durch Steigerung der Lampenspannung von 40 bis 60 Volt kam man aber sogar noch zu absolut höheren Werten, freilich auf Kosten einer kleinen Steigerung des spezifischen Verbrauches. Eine Wechselstromflammenbogenlampe von 12 Ampère und 40 Volt lieferte rund 1300 HK₀ mittlerer sphärischer Lichtstärke (2450 HK mittlerer hemisphärischer), während eine Wechselstromflammenbogenlampe mit eingeschlossenem Lichtbogen bei 12 Ampère und 60 Volt ca. 1570 HK₀ (2850 HK₀) lieferte. Der spezifische Verbrauch im ersteren Falle beträgt also 0,368 Watt/HK₀ im letzteren Falle 0,458 Watt/HK₀. In der letzten Zeit ist es durch Verwendung amerikanischer Spezialkohlen gelungen, auch Gleichstrombogenlampen mit eingeschlossenem Flammenbogen zu betreiben, und man erhält bei gleicher Lichtausbeute wie bei den offen brennenden Lichtbogen mit einem Kohlenpaar eine Brenndauer bis zu 80 Stunden. Der flammenkolo entsprechende Dauerbrandflammenbogenlampen werden auch von Körting & Mathiesen in Leipzig-Deutsch und von den Siemens-Schuckertwerken gebaut.

5. Die Magnetit- und Titanbogenlampe. Neben der Kohle ist auch vielfach anderes Elektrodenmaterial zur Lichterzeugung in Bogenlampen erprobt worden. Im allgemeinen hat man jedoch keine be-

sonderen Erfolge erzielt. Eine Ausnahme hiervon machte nur das Eisen, das Titan und das Quecksilber.

Elektroden aus Eisen eignen sich deshalb zur Lichtbogenbildung, weil das durch Oxidation an der Luft gebildete Eisenoxyduloxyd für die Elektrizität leitend ist, so daß ein einmal verlöschter Lichtbogen immer wieder von neuem gebildet werden kann, was bei der Benutzung anderer Metalle nicht möglich ist. Der Lichtbogen zwischen Eisenelektroden hat zwar eine geringe Ökonomie, er sendet aber sehr viele ultraviolette Strahlen aus, so daß er bei der Therapie von Hautkrankheiten vielfältige Anwendung gefunden hat. Anstatt des Eisens selbst ist auch direkt sein Oxiduloxyd in der Form des Magnetits als Elektrodenmaterial benutzt werden.

Die Magnetitbogenlampe hat insofern eine allgemeinere Bedeutung gewonnen, als eine Mischung von Magnetit mit etwa 30% Titan-dioxyd, das in der Natur als Mineral (Rutil) häufig vorkommt, Elektroden liefert, die eine sehr ökonomische Lichterzeugung ermöglichen. Bei diesen Titanlampen wird nur die negative Elektrode aus der genannten Mischung hergestellt, während die positive Elektrode aus einem massiven Stücke Kupfer besteht. Da Kupfer die Wärme ausgezeichnet leitet, so findet nur eine geringe Temperaturerhöhung an den von dem Lichtbogen getroffenen Stellen statt, und die Kupferelektrode, die zur Lichterzeugung nichts beiträgt, behält eine sehr lange Lebensdauer.

Zwischen dem Titanlichtbogen und dem Lichtbogen zwischen imprägnierten Kohlen besteht ein sehr großer Unterschied. Bei Flammenbogenlampen ist es gleichgültig, welche der beiden Elektroden aus imprägnierter Kohle besteht, es kommt lediglich darauf an, daß überhaupt Metallsalze im Lichtbogen verdampft werden. Bei den Titanlichtbogen muß dagegen Titan direkt durch Elektronenbewegung aus dem Molekularverbande herausgerissen und gegen die positive Elektrode geschleudert werden, um eine hohe Lichtstärke zu erzeugen.

Wegen der eigenartigen Erscheinungen bei dem zwischen Quecksilberelektroden gebildeten Lichtbogen sollen die auf diesem Prinzip gebauten Lampen in einem besonderen Abschnitte behandelt werden.

6. Die optisch-photometrischen Erscheinungen bei der Bogenlampe. Die Lichtstrahlung einer Bogenlampe mit einander gegenüberstehenden Elektroden geschieht in einer von den anderen Lichtquellen sehr abweichenden Form. Bei der gewöhnlichen Gleichstrombogenlampe strahlt im wesentlichen der positive Pol, in dem sich eine kraterartige Vertiefung bildet, Licht aus. Die Lichtstrahlung wird durch die in nur geringer Entfernung von dem Krater

abstehende negative Kohle stark behindert, so daß die Verteilung des Lichtstromes sehr ungleichmäßig in den Raum erfolgt. In Abb. 49 ist bei I die photometrische Kurve einer Gleichstrombogenlampe ohne Glocke dargestellt. Das Maximum der Lichtstrahlung erfolgt je nach der Lichtbogenlänge in einem Winkel von ca. $40-50^\circ$ gegen die Vertikale. Direkt unter die Lampe fällt so gut wie gar kein Licht, und der in die obere Raumhälfte fallende Lichtstrom ist sehr gering.

Schließt man den Lichtbogen in eine Glocke ein, die nur beschränkte Luftzufuhr zum Bogen gestattet, so bildet sich an der positiven Kohle ein Krater. Die Lichtbogenlänge und demzufolge auch die Lichtbogenlänge werden größer, und die Lichtverteilungskurve nimmt eine wesentlich andere Gestalt an als bei der gewöhnlichen Gleichstromlampe. In Abb. 49 ist der Unterschied deutlich ersichtlich; II zeigt die photometrische Kurve des eingeschlossenen, I die des offenen Lichtbogens.

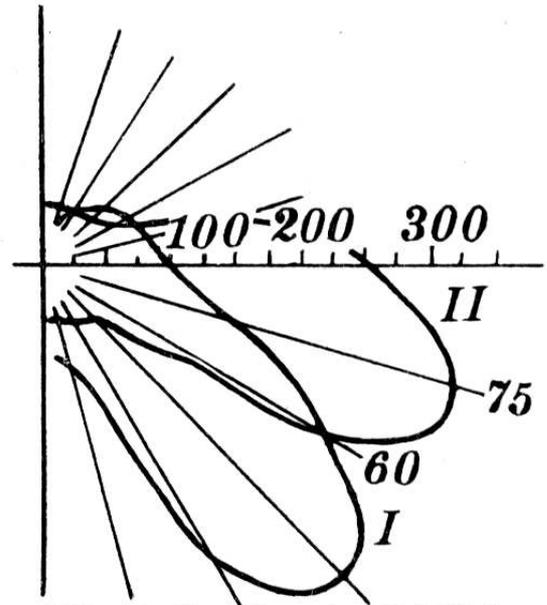


Abb. 49. Verteilung der Lichtstärke beim eingeschlossenen Lichtbogen (II) im Vergleich zu den offenen Lichtbogen (I).

Bei der Benutzung von Wechselstrom in Bogenlampen treten ganz andere Erscheinungen auf als beim Gleichstrom. Der Wechselstrom ändert seine Richtung unausgesetzt. Bald ist also die obere, bald die untere Kohle der positive Pol. Die Kraterbildung, soweit sie überhaupt zustande kommt, findet dementsprechend auch an beiden Kohlen in gleicher Weise statt, und es wird also auch von beiden Kohlen annähernd gleich viel Licht ausgestrahlt. Da infolge der fortwährenden Polwechsel die Kohlenenden Gelegenheit haben, eine beträchtliche Wärmemenge auszustrahlen, so nehmen die Kohlenenden auch nicht die gleiche Temperatur an, wie die positive Kohle beim Gleichstromlichtbogen. Die Ökonomie der Lichterzeugung ist deshalb auch geringer als bei der Gleichstrombogenlampe. Infolge des andauernden Richtungswechsels des Stromes ist natürlich auch die Lichtstrahlung nicht stetig, es findet ein Flackern statt, das bei einem Wechselstrom von weniger als 40 Perioden in der Sekunde selbst ohne Zuhilfenahme von stroboskopischen Apparaten vom Auge wahrgenommen wird. Bei der Erzeugung von Wechselstrombogenlicht sollte daher nicht unter 50 Perioden in der Sekunde heruntergegangen werden. — Die photometrische Lichtkurve des Wechselstromlichtbogens ist in Abb. 50 abgebildet (mit II bezeichnet). Um das in die obere Raumhälfte gestrahlte Licht besser auszu-

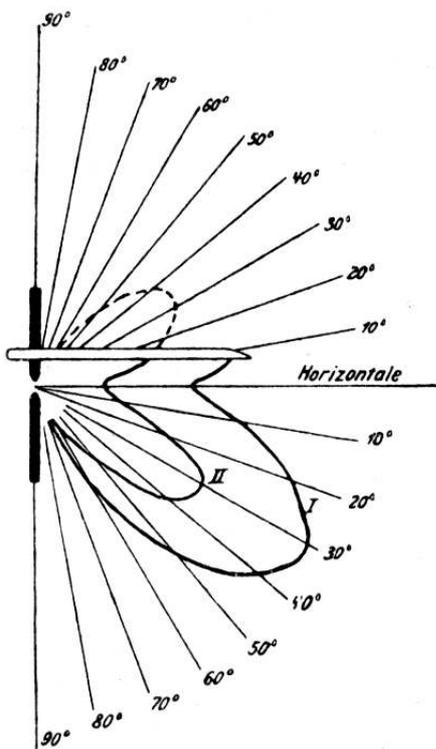


Abb. 50. Lichtverteilung beim Wechselstrombogen ohne Reflektor (II) und mit Reflektor (I)

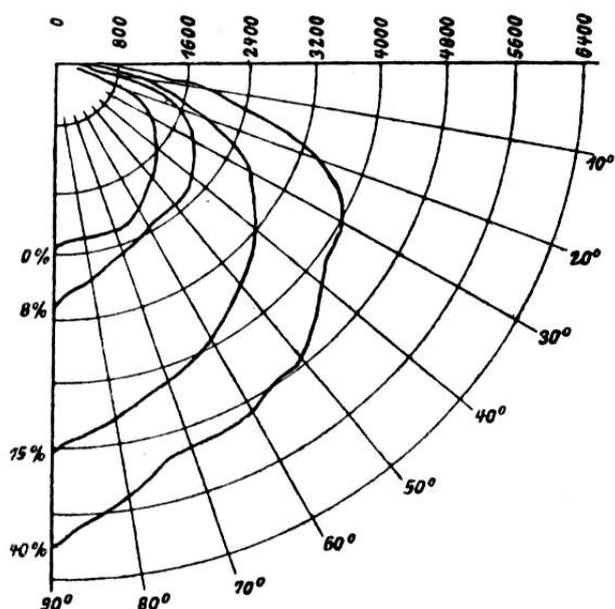


Abb. 51. Lichtverteilung bei einer Flammbogenlampe mit Kohlen von verschiedenem Gehalte an Fluorkalzium.

metrischen Kurven einer Flammbogenlampe unter Benutzung von Kohlen mit verschiedenem Fluorkalziumgehalte dargestellt. Die Kurvenform ist in allen Fällen die gleiche, nur die Intensität wird bei wachsendem Gehalt an Fluorkalzium größer.

Aus der verschiedenen Form der photometrischen Kurven bei den einzelnen Bogenlampentypen ergibt sich auch sofort das jeweilig zweckmäßigste Anwendungsgebiet. Die Bogenlampen mit übereinanderstehenden Elektroden, insbesondere die mit eingeschlossenem Lichtbogen eignen sich zur öffentlichen Beleuchtung von Straßen und Plätzen, weil sie eine relativ gleichmäßige Horizontalbeleuchtung ermöglichen. Die Bogenlampen mit schrägen Kohlen sind besonders für die Beleuchtung hoher, geschlossener Räume wie Bahnhofshallen, Säle usw. geeignet.

c) Die Dampflampen.

1. Die Aronslampe. Eine besondere Stellung unter den Bogenlampen nehmen die Quecksilberdampflampen ein.

Der Gedanke, Metalldämpfe in den Lichtbogen einzuführen, um dessen inneren Widerstand zu verringern, geht bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück. Im Jahre 1860 konstruierte Wav eine elektrische Lampe, bei der der Lichtbogen zwischen Quecksilberelektroden erzeugt wurde. Aber erst durch die eingehenden Untersuchungen von Leo Arons an dem im evakuierten Raum erzeugten Quecksilberlichtbogen wurde die Fachwelt auf die technische Bedeutung des Quecksilberdampflichtes aufmerksam. Arons hatte im Jahre 1901 seine Quecksilberdampflampe für rein wissenschaftliche Untersuchungen gebaut. Von amerikanischer

nützen werden deshalb bei Wechselstrombogenlampen mit übereinanderstehenden Kohlen auch gewöhnlich kleine Reflektoren an der obereren Kohle angewandt; hierdurch wird die Lichtstrahlung in die untere Raumhälfte entsprechend der photometrischen Kurve I (gegenüber II der Strahlung ohne Reflektor) in Abb 50 erhöht.

Die Flammbogenlampe mit schräg zueinander stehenden Elektroden sendet fast den gesamten Lichtstrom in die untere Raumhälfte. Die Lichtstrahlung ist aber nicht ganz symmetrisch. In der Meridianebene, die senkrecht auf den Elektroden steht, ist sie ein Maximum, in der durch die Elektroden gelegten Meridianebene aber ein Minimum. In Abb. 51 sind nach W. Wedding die photo-

Seite wurde diese Art der Lichterzeugung rasch aufgegriffen, und von Cooper Hewitt wurde eine für die Praxis brauchbare Quecksilberdampflampe in den Verkehr gebracht.

Das Prinzip der Aronschen Quecksilberdampflampe ist sehr einfach. In den beiden Schenkeln eines U-förmig gebogenen, evakuierten Rohres ist bei d und d_1 Quecksilber vorhanden (vergl. Abb. 52), das durch in die Rohre eingeschmolzene Platindrähte mit dem in den Gefäßen g und g_1 vorhandenen Quecksilber in leitender Verbindung steht. Die Gefäße g und g_1 dienen lediglich der bequemen Zuführung des elektrischen Stromes. Ist der Stromkreis geschlossen, und kippt man das U-förmige Rohr, so daß Quecksilber von d nach d_1 überfließt, so verläuft der elektrische Strom durch das überfließende Quecksilber, das unter der Wärmewirkung des Stromes sofort zur Verdampfung gelangt. In dem Augenblicke der Dampfbildung entsteht zwischen d und d_1 ein intensiv leuchtender Lichtbogen von bläulichgrüner Farbe. Bei spektroskopischer Untersuchung des Lichtbogens sieht man, daß kein kontinuierliches, sondern, wie immer bei leuchtenden Dämpfen oder Gasen, ein Linienspektrum vorhanden ist. Im sichtbaren Teile des Spektrums sind vornehmlich zwei violette, eine sehr helle blaue, eine schwächere blaugrüne, eine äußerst intensive gelbgrüne, zwei helle gelbe und einige überaus schwache rote Linien zu beobachten. Durch das Überwiegen der blauen, grünen und gelben Linien wird die blaugrüne Mischfarbe des Lichtbogens bedingt. Außer diesen sichtbaren Linien sind dann noch sehr intensive Linien im Ultravioletten vorhanden, die natürlich vom Auge nicht wahrgenommen werden.

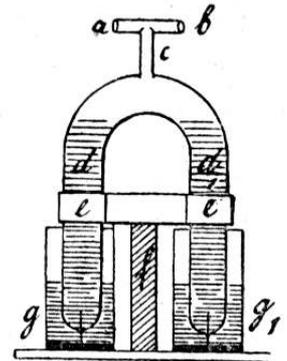


Abb. 52. Quecksilberdampflampe von Leo Aron

Von dieser Aronschen Quecksilberdampflampe, deren physikalische Eigenschaften von ihrem Erfinder eingehend studiert und beschrieben worden sind, weicht die von der Westinghouse Gesellschaft vertriebene Cooper-Hewittlampe nur in äußerlichkeiten ab. Sie bestand ursprünglich aus einer etwa 60 cm langen Glasröhre, in deren Enden Platindrähte mit Eisen- oder Kohlelektroden eingeschmolzen sind. In dieser evakuierten Röhre befindet sich ein kleines Quantum Quecksilber. Im Ruhezustand umgibt das Quecksilber die Anode. Zum Zünden wird die Röhre gekippt, so daß das Quecksilber in einem dünnen ununterbrochenen Faden zur Kathode fließt. In dem Augenblicke der Verbindung von Anode und Kathode durch den Quecksilberfaden verdampft dieser und der Lichtbogen entsteht. Während des Betriebes der Lampe verdampft unausgesetzt Quecksilber an der Kathode, schlägt sich aber an den kälteren Stellen der Röhre nieder und fließt wieder zu den Kathodenenden zurück. Es findet also während des Betriebes kein Verbrauch an Quecksilber statt. — Um die Kondensation des Quecksilbers und

das Zurückfließen zur Anode zu erleichtern, hat Cooper-Hewitt das Anodenende der Lampe ballonförmig erweitert.

Die Unbequemlichkeit, das Zünden der Quecksilberdampflampe durch Rippen bewirken zu müssen, hat eine Reihe von automatischen Zündeinrichtungen entstehen lassen, die gegenwärtig aber kaum noch praktische Bedeutung haben.

Die Quecksilberdampflampe mit dem in sehr verdünnter Atmosphäre erzeugten Lichtbogen hat sich wegen ihres blaugrünen Lichtes in der allgemeinen Beleuchtungspraxis nicht einzuführen vermocht, obwohl ihre Ökonomie (0,58 Watt/HK₀) recht günstig ist. Bei ihrem Lichte verlieren wegen des Mangels an roten Strahlen alle rot oder rötlich gefärbten Gegenstände ihre Farben, und insbesondere der menschliche Teint erscheint blaugrau verfärbt. Wegen des Reichthums an grünen und gelben Strahlen, wodurch die Erkennbarkeitsschärfe wesentlich gesteigert wird, hat die Quecksilberdampflampe aber vorübergehend Anwendung in mechanischen Werkstätten gefunden. Wegen ihres Reichthums an blauen und ultravioletten Strahlen, hauptsächlich in der für ultraviolette Strahlen besonders durchlässigen „Uviol“-Glasröhre von Schott & Gen., ist die Quecksilberdampflampe vielfach für photographische Reproduktionen und für medizinische Zwecke zur Anwendung gekommen.

Natürlich hat es nicht an Versuchen gefehlt, dem Mangel an roten Strahlen im Lichte der Quecksilberdampflampe durch künstliche Mittel abzuhelpen. Das einfachste Mittel bestand in einer Kombination der Quecksilberdampflampe mit gewöhnlichen Kohlenfadenslampen. Man kann hierbei allerdings — bei Anwendung indirekter Beleuchtung — die Lichtfarbe wesentlich verbessern; aber das geschieht nur auf Kosten der Ökonomie. Wesentlich wirksamer und ökonomischer ist es, gewisse Fluoreszenzerscheinungen zur Farbenverbesserung heranzuziehen.

Die Fluoreszenz einzelner Körper, z. B. des Petroleums, der Chininlösung, zahlreicher Teerfarbstoffe usw. besteht darin, daß in ihnen kurzwellige Strahlen in Strahlen von größerer Wellenlänge transformiert werden. Besonders die ultravioletten Strahlen vermögen Fluoreszenzerscheinungen auszulösen. So fluoresziert beispielsweise Chininsulfat in blauem, Fluoreszin in gelbgrünem, Rhodamin in orangefarbenem Lichte. Das Spektrum des Rhodamin-Fluoreszenzlichtes reicht vom Gelb bis zum Rot. Es mußte sich deshalb Rhodamin besonders zur Verbesserung des Lichtes der Quecksilberlichtbogen eignen. Die Erscheinungen sind besonders von E. Damois und M. Leblanc fils studiert worden.¹⁾ Durch Reflexion des Quecksilberlichtbogens an einem mit Rhodamin gefärbten Reflektor werden die gelben und grünen Strahlen absorbiert und geben rote Fluoreszenz; und vor allem die ultravioletten Strahlen ergeben

1) *Lumière Electrique* vom 23. Sept. 1911.

eine prächtige rote Fluoreszenz. Das aus direkten Strahlen der Quecksilberlampe und den reflektierten Fluoreszenzstrahlen zusammengesetzte Licht hat eine angenehm weiße, manchmal sogar leicht rosige Farbe; die Gesichtsfarbe bleibt bei diesem Lichte normal, und die Farbe von Stoffen verändert sich nicht, wenn sie aus dem Tageslicht in die künstliche Beleuchtung gebracht werden. — Leider ist das Rhodamin sehr wenig lichtbeständig, so daß die erwähnten Versuche bisher nur theoretische Bedeutung erlangt haben.

Ein anderer Weg, die Lichtfarbe durch Beimischungen anderer Metalle zum Quecksilber zu verbessern, erscheint weit aussichtsreicher.

2. Die Quarzlampe. Die Arons'sche Quecksilberdampf Lampe in ihren verschiedenen Abarten arbeitet mit niedriger Dampfspannung in dem Leuchtrohre. Erhöht man dagegen nach dem Vorgange von Rüdch und Retschinsky die Dampfspannung, so kann man den elektrischen Spannungsabfall, der in der Arons'schen Quecksilberdampf Lampe etwa 1 Volt für 1 cm Bogenlänge beträgt, auf 30 Volt und mehr steigern. Hiermit ist eine so hohe Temperatursteigerung verbunden, daß gewöhnliches Glas für das Leuchtrohr nicht mehr verwendbar ist. Man muß vielmehr den Lichtbogen in eine Röhre von geschmolzenem Quarz einschließen. Für diese Quecksilberdampf Lampen hat sich daher die Bezeichnung „Quarzlampe“ eingebürgert; sie werden von Heraeus in Hanau fabriziert.

Die spektrale Zusammensetzung des Lichtes der Quarzlampe weicht recht beträchtlich von der des Arons'schen Quecksilberlichtbogens ab. Es treten in dem Lichte der Quarzlampe nämlich die roten Strahlen mit nicht unbedeutender Intensität hervor und auch die Intensität der übrigen Strahlen erscheint wesentlich gesteigert. Die Zahl der Spektrallinien wird überhaupt vermehrt und es tritt auch ein schwaches kontinuierliches Spektrum als Hintergrund der Spektrallinien in Erscheinung. Infolge der stärkeren Belastung verliert das Licht der Quarzlampe seinen fahlen Charakter und wird gelber. Da Quarz für die ultravioletten Strahlen gut durchlässig ist, so sind auch diese bei der Quarzlampe stärker vertreten, als bei der gewöhnlichen Quecksilberdampf Lampe.

Vor allem aber verbessert sich bei der Quarzlampe ganz wesentlich die Ökonomie der Lichterzeugung. Von der Gesamtstrahlung sind 17,6% Licht. Hierin übertrifft die Quarzlampe alle anderen künstlichen Lichtquellen, und auch der spezifische Verbrauch von 0,23 Watt für eine Hefnerkerze (sphärisch) wird von keiner anderen Lampe erreicht. Würde die Erweichung des geschmolzenen Quarzes bei höheren Temperaturen nicht der weiteren Belastungssteigerung eine Grenze setzen, so könnte man die Ökonomie der Quarzlampe noch ganz wesentlich verbessern.

Die Quarzlampe zeigt die aus Abb. 53 ersichtliche Einrichtung. Der Brenner ist an einer geköpften Metallachse befestigt, die oberhalb des Leuchtrohres einen

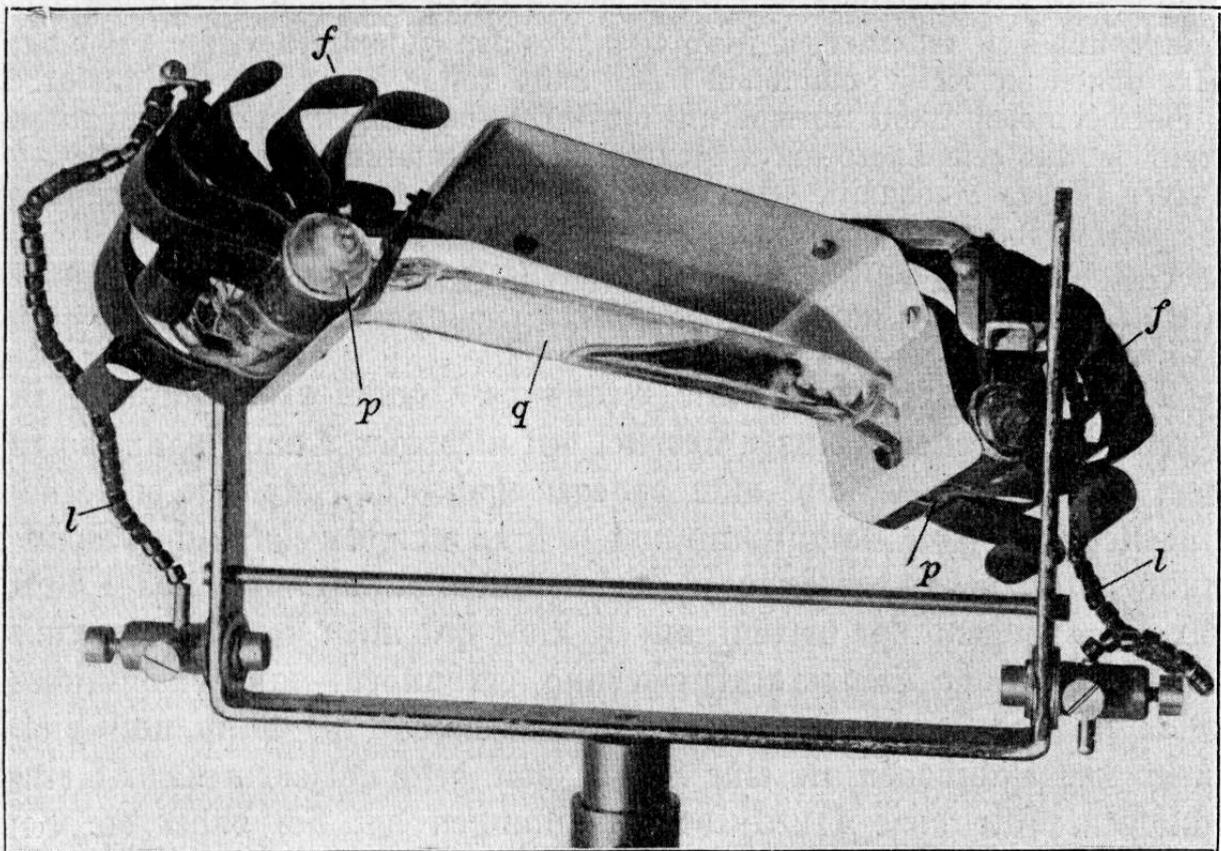


Abb. 53. Leuchtrohr der Quarzlampe *pp* Folgefäße; *q* Quarzrohr; *ff* kupferne Kühlflügel; *r* Reflektor; *ll* isolierte Leitungen.

Reflektor trägt. Mit den an den Enden der Achse befindlichen Zapfen kann der Brenner in den am unteren Teil eines Lampengehäuses vorhandenen Stützen drehbar gelagert werden. Die Zündung erfolgt durch Rippen wie bei der Aronslampe. Das Rippen wird auf elektromagnetischem Wege beim Einschalten der Lampe automatisch bewirkt.

Kurz nach dem Zünden absorbiert der Brenner nur etwa 30 Volt und gibt deshalb wenig Licht. Erst wenn seine Folgefäße vollkommen durchwärmt sind, nimmt er die volle Spannung auf (85—90 Volt bei 110 Volt-Lampen, 165—185 Volt bei 220 Volt-Lampen); dann erst erreicht er auch die volle Lichtstärke. Die Erwärmung der Folgefäße und die Steigerung der Leuchtkraft geht um so schneller vor sich, je höher der Strom ist, der den Brenner von Anfang an durchfließt. Deshalb sind dem Brenner Eisenwiderstände vorgeschaltet, die in luftleeren Glasbirnen eingeschlossen sind, und die einen hohen Strom hindurchlassen, solange die Brennerspannung noch niedrig ist.

Da das Licht der Quarzlampe überaus reich an ultravioletten Strahlen ist, so darf die Lampe nicht ohne Glasglocke gebrannt werden, die die ultravioletten Strahlen absorbiert. Empfindliche Schädigungen des Auges und der Haut sind sonst unvermeidlich.

Trotz ihrer hohen Ökonomie ist die Quarzlampe wegen ihres gelbgrünen Lichtes für allgemeine Beleuchtungszwecke noch immer nicht geeignet. Sie wird deshalb hauptsächlich nur zur Beleuchtung von Fabriken, Werkstätten, Rangierbahnhöfen, Bergwerken und Hütten verwendet. Gelegentlich dient sie auch zur Reklamebeleuchtung, weil ihre eigentümliche Lichtfärbung sofort die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich lenkt. Zu allgemeiner Bedeutung kann die Quecksilberdampflampe erst gelangen, wenn es gelingt, ihre Lichtfarbe der der anderen künstlichen Lichtquellen ähnlicher zu gestalten.

Es ist deshalb schon von Arons versucht worden, durch Beimischung von Zink oder Radium, deren leuchtende Dämpfe durch einen Reichtum an roten Strahlen ausgezeichnet sind, das fahle Quecksilberlicht zu verbessern. Die Versuche sind aber nicht geglückt. Größere Erfolge erzielten dagegen Wolfke und Ritzmann. Sie gingen nicht vom Quecksilber sondern vom Radium aus. Das Licht der reinen Radiumdampflampe ist rot, da bei steigender Temperatur der Einfluß der dunkelblauen und grünen Spektrallinien durch die helle rote Linie bei $\lambda = 0,644$ vollständig unterdrückt wird. Als Lichtquelle wäre deshalb die Radiumlampe für die meisten Zwecke ebenso unverwendbar wie die gewöhnliche Quecksilberdampflampe. Fügt man dem Radium aber einige Prozent Quecksilber zu, so wird der übermäßig starken roten Linie des Radiums ein Gegengewicht in den übrigen Spektralgebieten durch die Quecksilberlinien gegeben. Die Radiumquecksilber-Dampflampe zeigt eine gleichmäßige Verteilung der hellen Spektrallinien durch das ganze Spektrum. Werden Kathode und Anode aus dem Amalgam hergestellt, so hebt sich die Ökonomie ganz bedeutend, wie aus nachstehender Tabelle zu ersehen ist:

Gesamtverbrauch Watt	Radium-Quecksilber Kathode und Anode aus Amalgam		Quecksilber Lampe von Küch und Reschinsky
	Lichtstärke HK	Spez. Verbrauch Watt/HK	Spez. Verbrauch Watt/HK
150	150	1,00	0,87
300	590	0,51	0,47
540	2370	0,23	0,23
620	3800	0,16	0,21

d) Vakuumlicht.

Bei der elektrischen Entladung in außerordentlich stark verdünnten Gasen treten Lichterscheinungen auf, die von Plücker und Geißler erstmalig studiert worden sind. Dieses Licht der sogenannten „Geißlerschen Röhren“ ist von Mac Farlan Moore in die Beleuchtungspraxis eingeführt worden. Theoretisch bietet das Moorelicht ein sehr großes Interesse. Wie man sich leicht überzeugen kann, werden die Geißlerschen Röhren bei der Lichterzeugung nur mäßig warm, und es werden im wesentlichen nur Lichtstrahlen und ultraviolette Strahlen ausgesandt. Die Lichtemission ist allerdings von der Temperatur nicht unabhängig. Es scheint, daß auch hier die Kirchhoffsche Funktion

$$\frac{S_{\lambda}}{A_{\lambda}} = F(\lambda T)$$

gilt, worin S die Emission, A die Absorption, λ die Wellenlänge und T die absolute Temperatur sind.

Die Farbe des Lichtes ist abhängig von der Natur des Gasrestes in den Röhren. Bei Wasserstoff ist es rötlich, bei Stickstoff gelblichweiß, bei Kohlendioxyd bläulichweiß, bei Neon rot. Bei spektroskopischer Untersuchung des Lichtes ist nur ein Linienspektrum zu beobachten. Wir haben es also mit einer ganz ausgesprochenen selektiven Strahlung zu tun, die wesentlich Lichtstrahlung ist. Und das Ideal der künstlichen Lichterzeugung, die Erzeugung kalten Lichtes, scheint theoretisch erreicht zu sein.

Während bei dem Betriebe der Geißlerschen Röhren Hochfrequenzströme erforderlich sind, wie sie bei der Entladung von Leydener Flaschen oder bei der Benutzung der Ruhmkorffschen Induktoren auftreten, gelang Moore der Fortschritt, den Hochfrequenzstrom durch einen Wechselstrom niedriger Periodenzahl zu ersetzen. Man kann also die Moore'schen Vakuumröhren unter Benutzung von Hochspannungstransformatoren direkt an ein Wechselstromnetz anschließen. Schon bei 25 Perioden in der Sekunde arbeiten die Röhren, ohne daß das Auge Flackererscheinungen wahrnimmt. Periodenzahlen über 50 sind jedoch vorteilhafter. Wenn es sich um die Beleuchtung bewegter Gegenstände handelt, so ist zur Aufhebung des stroboskopischen Effektes Drehstrom anzuwenden, da bei Einphasenstrom zyklische Variationen in der Lichtstärke eintreten.

Zur Erzeugung des Moore'schen Vakuumlichtes müssen, je nach der Betriebsspannung, Röhren in der sehr beträchtlichen Länge von 22 bis 34 m angewandt werden. Meist werden die

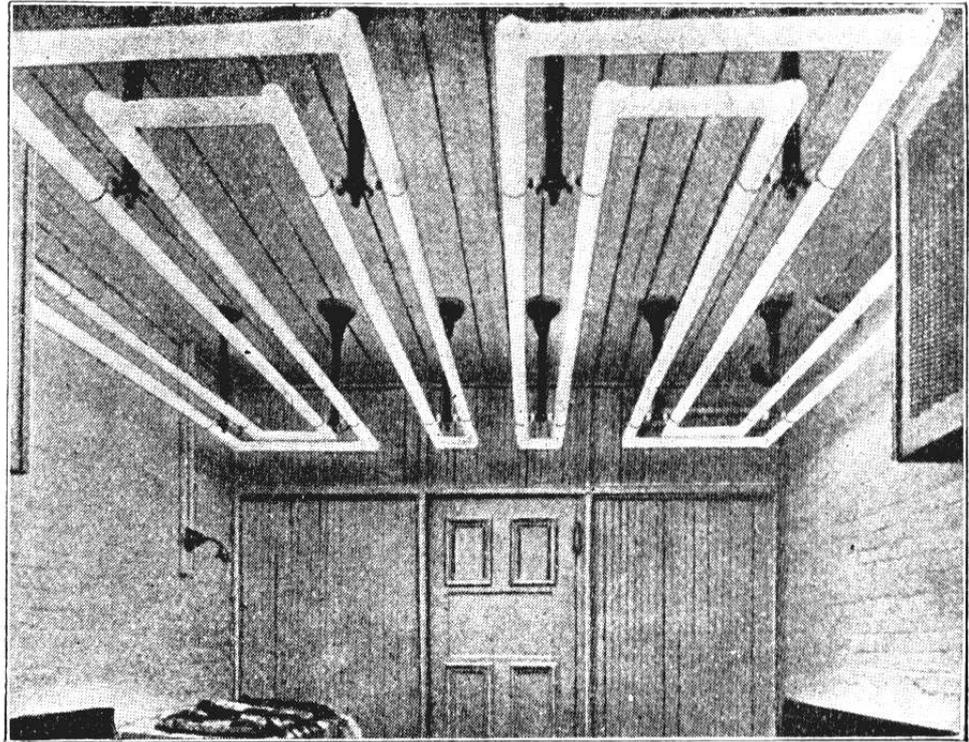


Abb. 54. Beleuchtungsanlage mit Moore-Licht. (Aus „Natur 1912“.)

Röhren in Schlangenform angeordnet, an der Decke des zu leuchtenden Raumes untergebracht und an Ort und Stelle evakuiert. Eine ausgeführte Anlage ist in Abb. 54 abgebildet. Da an und für sich kein Verbrauch von Material stattfindet, so könnten Moorevakuumröhren unbegrenzte Zeit hindurch arbeiten, wenn nicht eine unliebsame Erscheinung einträte, die auch bei Röntgenröhren beobachtet wird. Je länger nämlich die Entladungen andauern, desto mehr erhöht sich der Grad des Vakuums, wahrscheinlich dadurch, daß die Gasmolekeln in dem von der Kathode abstäubenden Metalle offludiert werden. Durch Anordnung eines automatisch wirkenden Ventiles hat Moore diesen Übelstand zu beseitigen vermocht. Dieses Ventil läßt Gas oder Luft von außen in die Röhre eintreten, wenn sich das Vakuum während der Betriebsdauer erhöht.

Bei der Benutzung von Stickstoff bei einem Drucke von nicht mehr als $1/10000$ Atmosphäre ist es gelungen, ein dem Tageslichte sehr nahes Vakuumlicht zu erzeugen. Bei einem Verbrauche von 3,1—3,5 KW in Vakuumröhren von 28 m Länge kann man 1000 HK erzeugen. Die Ökonomie ist zwar vorläufig noch nicht sehr gut. Wegen der großen Ausdehnung der leuchtenden Fläche ist aber die Flächenhelle gering, und das Licht kann deshalb ohne jede Abblendung benutzt werden. Die Beleuchtung selbst ist fast vollkommen diffus.

Benutzt man an Stelle von Stickstoff Neon, ein seltenes, in der Luft vorkommendes Gas, das bei der Verflüssigung der Luft gewonnen wird, so tritt die Okklusion des Gases durch abstäubende Kathodenteile nicht ein, man braucht in diesem Falle also auch nicht das erwähnte Ventil anzuwenden. Das Spektrum des Neon besteht aus zahlreichen feinen Linien mit einer besonders stark hervortretenden Gruppe im Roten in der Gegend von $0,62$ und $0,65\mu$. Das Licht der Neonvakuumröhren erscheint deshalb rötlich. Dafür aber fehlt dem Neon fast jede Strahlung im Ultraroten, besonders in dem Bezirke jenseits $1,0\mu$. Wegen der selektiven Strahlung hauptsächlich im sichtbaren Gebiete ist die Ökonomie der Neonvakuumröhren sehr hoch, sie beträgt $0,5$ Watt/HK.

Auf dem Gebiete der Lumineszenzbeleuchtung durch Vakuumröhren dürften voraussichtlich noch bedeutende Erfolge zu erreichen sein, und wenn nicht alles täuscht, so ist hier die Lösung des eigentlichen Beleuchtungsproblem: die Erzeugung kalten Lichtes ohne Energieverschwendung, zu erwarten.

E. Vergleichende Wertung von verschiedenen Lichtquellen.

Bei der objektiven Wertung der verschiedenen Lichtquellen kommt ausschließlich das Verhältnis der aufgewandten Energiemenge zur Lichtleistung in Betracht. Für die betrachteten Lichtquellen sind Angaben über dieses Verhältnis durchweg auf Grund eigener Untersuchungen an den bezüglichen Stellen des Textes gemacht worden. Diese Zahlenangaben seien hier noch einmal übersichtlich zusammengestellt. (Siehe nebenstehende Seite.)

Neben der objektiven spielt aber die subjektive Wertung eine unter Umständen sehr viel wichtigere Rolle. Bestimmend für die jeweilige Benutzung der einen oder anderen Lichtquelle sind zahlreiche Einzel-faktoren: die absolute Lichtstärke; die Farbe des Lichtes; der Glanz (Flächenhelle); die Bequemlichkeit der Lichterzeugung; die dekorative und ästhetische Wirkung; die Erwärmung und Verschlechterung der Luft und last not least die Gestehungskosten beim derzeitigen Preise der aufgewandten Energie.

So vollkommen in physikalischer Hinsicht die Quecksilberdampf-lampe mit Quarzrohr ist, so wird sie mit ihren 3000 HK und ihrem grünen Lichte doch niemals zur Schlafzimmerbeleuchtung benutzt werden, obwohl sie den Vorzug hat, weder die Zimmerluft wesentlich zu erwärmen

Lichtquelle	Energieverbrauch	Gesamtstrahlung in den ganzen Raum	Lichtstrahlung in den ganzen Raum	Lichtstrahlung Gesamtstrahlung	Lichtstrahlung Energieverbrauch	Horizontale Lichtstärke	Mittlere sphär. Lichtstärke	Spezieller Ver- brauch für eine sphär. H.K.	Energie-Äquiva- lent einer sphär. H.K.
	Watt	Watt	Watt	%	%	HK	HK	Watt HK	Watt HK
Hefnerlampe . .	86,3	9,96	0,077	0,89	0,103	1	0,825	104,6	0,0776
14" Petroleum- lampe ¹⁾	508,0	102,2	1,26	1,23	0,25	14,2	12,0	42,3	0,105
Methylenflam- me ²⁾	96,0	9,78	0,62	6,36	0,65	7,7	6,04	15,9	0,103
Gasglühlicht . .									
a) aufrecht mit Zylinder . .	716,7	112,1	3,28	2,92	0,46	107	89,6	7,98	0,037
b) hängend mit Glas	571,0	97,6	2,9	2,97	0,51	107	82,3	6,97	0,035
Elektr. Kohlen- jadenlampe . .	98,23	63,5	2,03	3,2	2,07	31,5	24,5	4,09	0,085
Nernstlampe . .									
ohne Vor- widerstand . .	165,0	122,2	6,96	5,7	4,21	120,1	94,9	1,74	0,073
Dramlampe ³⁾	38,3	22,5	2,05	9,1	5,36	36,3	27,4	1,43	0,075
Gleichstrombo- genlampe . . .	435,0	301,8	24,3	8,1	5,60	190	524	0,83	0,047
Effektbogen- lampe, gelbes Licht	349,7	295	46,2	15,7	13,20	907	1145	0,31	0,041
Wechselstrom- bogenlampe . .	180,6	91,2	3,4	3,7	1,90	109	89	2,03	0,038
Uviolquecksil- berdampflampe ⁴⁾	198,6	91,3	5,3	5,8	2,24	437	344	0,58	0,015
Quarzlampe . .	691,0	236,0	41,5	17,6	6,00	3400	2960	0,23	0,014

1) Stündlicher Petroleumverbrauch: 39,73 g; Verbrennungswärme des Petroleums: 11 050 g Kal. Die Gesamtstrahlung wurde bei abgenommenem Zugglase gemessen.

2) Stündlicher Verbrauch: 6,0 l; Verbrennungswärme: 13 900 g Kal. per l.

3) Bei der Gesamtstrahlung wurde die Absorption durch den Glasballon, die etwa 15,5% ausmacht, nicht veranschlagt.

4) Uviolampe von Schott & Gen. von ca. 90 cm Länge; mittlere Spannung: 63 Volt; mittlere Stromstärke: 3,3 Ampère. Für die mittlere sphä-

noch zu verschlechtern. Zur vorübergehenden Beleuchtung kann man auch eine in physikalischer Hinsicht sehr unökonomische Lichtquelle benutzen. Bei der Beleuchtung in Bergwerken wird man in erster Linie eine Lampe benutzen, die absolut explosions sicher ist. Für Leuchttürme, für Scheinwerfer auf den Kriegsschiffen kommen nur Lichtquellen von hoher absoluter Intensität in Betracht, alle anderen Momente treten vollständig zurück. Für die Beleuchtung in Theatern spielt die Feuer sicherheit und die dekorative Wirkung eine ausschlaggebende Rolle. Bei der Straßenbeleuchtung sollte in erster Linie die Verteilung des Lichtstromes im Raume natürlich unter gleichzeitiger Würdigung der Gestehungskosten bestimmend sein. Für die Beleuchtung von Wohnräumen wird man Lichtquellen wählen, die die Luft nicht verschlechtern. Der kleine Mann schließlich ist auf eine Lampe angewiesen, deren Betrieb absolut am billigsten ist. Kurzum für jeden Verwendungszweck treten andere Gesichtspunkte in den Vordergrund, die bestimmend für die Wahl der einen oder anderen Lichtquelle sein müßte.

Aus diesem Grunde ist es auch vollständig verfehlt, den Vorzug einer Lichtquelle vor der anderen nur durch die Gegenüberstellung der Erzeugungskosten der Lichteinheit zu begründen, wie das so häufig in marktchreierischen Katalogen und leider auch manchmal in populär wissenschaftlichen Arbeiten geschieht. Bei der Kostenverglei chung muß man vor allem die verschiedenen Lampen auf die gleiche Vergleichsbasis bringen, also etwa auf die notwendige Minimalbeleuchtung eines Arbeitsplatzes oder auf die Beleuchtung eines Wohnzimmers usw.

Für diese beiden wichtigen Fälle seien die Betriebskosten verschiedener Lichtquellen zusammengestellt.

1. Bei der Beleuchtung des Arbeitsplatzes seien beispielsweise folgende Bedingungen zu erfüllen: die erzielte Beleuchtung soll etwa 50 lux betragen; die Lichtquelle selbst muß gegen die Augen durchaus abgeblendet sein, aber der Raum außerhalb des Arbeitsplatzes darf nicht vollständig im Dunkeln liegen. Diese Bedingungen werden annähernd durch eine in etwa 40 cm Abstand vom Arbeitsplatz auf-

rische Lichtstärke wurde die Beziehung: $J_0 = \frac{\pi}{4} J_n$ angenommen. Auffallend erscheint der geringe Wert der Gesamtstrahlung im Verhältnis zum Energieverbrauche. Es dürfte dies darauf zurückzuführen sein, daß ein erheblicher Teil der aufgewandten Energie dazu dient, die Quecksilberverdampfung zu unterhalten.

gestellte Lichtquelle erfüllt, deren wirksame Lichtstrahlung nach allen Richtungen des Raumes etwa 16 Kerzen beträgt. Die strahlende Lichtfläche der Lichtquelle muß hierbei durch mattiertes Glas, Opalglas oder dergl. abgeblendet sein. Da diese Glasarten etwa 20% Licht verschlucken, muß die Lichtquelle an sich also etwa 20 Kerzen mittlerer räumlicher Lichtstärke haben. Hiernach ist die in Betracht kommende Lichtquelle auszusuchen.

A. Kosten der Beleuchtung durch eine Tischlampe.¹⁾

Lampe	horizontale Lichtstärke HK	Mittlere räumliche Lichtstärke HK	wirkliche Lichtstärke HK	stündlicher Verbrauch	Betriebskosten in 10 Std.
1. Petroleumlampe	25	20	16	72,6 g	17,3 Pf.
2. Spiritusglühlicht	32	21	16	65,0 g	25,0 „
3. Gasglühlicht .					
a) stehend . .	50	45	36	55,0 l	8,8 „
b) hängend . .	50	42	33	47,0 l	7,6 „
4. elektrische Kohlenfadenlampe	25	20	16	80,0 Watt	32,0 „
5. Tantallampe .	25	20	16	33,5 „	13,4 „
6. Osramlampe .	25	20	16	29,0 „	11,6 „

Hierbei ist der Preis von 1 l Petroleum zu 20 Pf., von 1 l Spiritus zu 30 Pf., von 1 cbm Leuchtgas zu 10 Pf., von 1 Kilowattstunde Elektrizität zu 40 Pf. angenommen worden.

2. Erheblich anders rangieren die gleichen Lichtquellen, wenn man die gute Beleuchtung eines Festraumes von der in Privathäusern üblichen Größe wünscht. Hierzu sind etwa 200 Kerzen Lichtstärke insgesamt aufzuwenden. Da die Lampen meist in einer Höhe von ca. 2,5 m über dem Fußboden angebracht werden, so kann von einer stärkeren Abblendung des Lichtes Abstand genommen werden. Ausgehend von den in der ersten Tabelle angegebenen, mittleren räumlichen Lichtstärken kann man deshalb die in der zweiten Spalte von Tabelle A eingetragten Werte in Betracht ziehen. Bei Beleuchtung durch Gasglühlicht wird man dann weiter nicht die kleinere, sondern die größere

1) S. Lux, Licht, Luft und Wärme im eigenen Heim. Baedeker & Möller, Berlin. 1908.

Type von rund 100 Kerzen horizontaler Lichtstärke, also den üblichen Auerbrenner und den üblichen Invertbrenner wählen. Beim elektrischen Lichte kann für den Zweck der allgemeinen Zimmerbeleuchtung an Stelle einer größeren Zahl von Lampen geringerer Lichtstärke eine kleine Zahl größerer Lichtstärke gewählt werden.

B. Kosten einer Zimmerbeleuchtung mit insgesamt 200 HK

Lampenart	Zahl der erforderlichen Lampen	Betriebskosten während 10 Std.
1. Petroleumlampen	10 Stück	1,75 Mark
2. Spiritusglühlichtlampen . . .	6 " (große)	3,00 "
3. Gasglühlichtlampen		
a) stehend	3 " "	0,53 "
b) hängend	3 " "	0,46 "
4. elektrische Kohlenfadenlampen	10 " à 25 HK	3,20 "
5. Tantallampen	10 " "	1,34 "
6. Osramlampen	5 " 50 HK	1,17 "

Die Frage der Luftverschlechterung und Erwärmung kann auf Grund der nachstehenden Tabelle von W. Wedding leicht erledigt werden:

	Lichtstärke sphärisch	Stündl. aufgew. Wärmemenge	Kal. für 1 HK	Stündl. entwickeltes Kohlendioxid i. Lit.
Petroleumlicht	13,2 HK	480 Kal.	36,4	70,1 l
Spiritusglühlicht	42,9 "	698 "	16,3	119,0 l
Gasglühlicht	52,3 "	573 "	11,0	59,1 l
Preßgaslicht	1060 "	6120 "	5,77	631,0 l
Kohlenfadenlampe	12,8 "	51,0 "	3,99	0 l
Osramlampe	31,4 "	42,1 "	1,34	0 l
Bogenlampe	400 "	380 "	0,95	10,7 l
Flammenbogenlampe	1880 "	380 "	0,202	21,4 l
Quarzlampe	2960 "	597 "	0,202	0 l

Aus den vorstehenden Daten ist also nur der eine Schluß zu ziehen, daß allgemeine Regeln für die Wahl der einen oder der anderen Lichtquelle nicht aufgestellt werden können und daß beim Entwerfen und Berechnen von Beleuchtungsanlagen und Kostenanschlägen jeder Fall als Spezialfall anzusehen ist, bei dem die jeweiligen lokalen und persönlichen Verhältnisse einer eingehenden Würdigung bedürfen.

Lehrbuch der Physik. Zum Gebrauch beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium. Von Prof. **E. Grimsehl**, Direktor der Oberrealschule auf der Uhlenhorst zu Hamburg. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit ca. 1296 Textfiguren, 2 farbigen Tafeln und einem Anhang, enthaltend Tabellen physikalischer Konstanten und Zahlentabellen. 1914. Geh. ca. *M* 15.—, in Leinwand geb. ca. *M* 16.—

„...Man merkt allenthalben, daß das Buch direkt aus dem Unterricht herausgewachsen ist. Es ist ebenso gründlich als anregend. Es enthält sehr viele originelle Versuchsanordnungen und kann bei seiner großen Ausführlichkeit gar manche Gebiete viel besser durcharbeiten als die landläufigen Lehrbücher und Leitfäden. Von den einfachsten Elementen der Infinitesimalrechnung hat der Verfasser an verschiedenen Stellen Gebrauch gemacht. Daß der Verfasser nicht dogmatische Hypothesen und Theorien voranstellt, sondern immer zeigt, wie dieselben entstanden sind, und inwieweit sie Berechtigung haben, kann, wer es mit dem Unterricht ernst meint, nur billigen. ... Das Buch ist allen Physiklehrern aufs wärmste zu empfehlen.“

(Vierteljahrsberichte des Wiener Vereins zur Förderung des physikal. und chem. Unterrichts.)

„Das sehr flüssig geschriebene Werk behandelt den Stoff in klarer, einfacher Weise, durch häufig eingeschobene Beispiele die gegebenen Betrachtungen festigend, so daß auch beim Selbststudium wohl nirgends Schwierigkeiten auftreten werden. Es ist nicht nur die Materie als solche abgehandelt, sondern der Verfasser versucht es, indirekt den Leser zum Forschen und Experimentieren anzuregen, wozu ganz besonders die soweit als möglich vereinfachten, aber doch sehr zweckmäßigen Apparate, welche zur Selbsterstellung ermuntern, beitragen. Angenehm fällt es auf, daß zu den Abbildungen von Apparaten lediglich solche neuesten Typs verwendet sind.“

(Dinglers Polytechn. Journal.)

Experimentelle Elektrizitätslehre. Verbunden mit einer Einführung in die Maxwellsche und die Elektronentheorie der Elektrizität und des Lichts. Von Dr. **H. Starke**, Professor der Physik an der Universität Greifswald. Zweite, vermehrte Auflage. Mit 334 Abbildungen. 1910. In Leinwand geb. *M* 12.—

„Ein Lehrbuch wie das vorliegende, das von ganz modernem, theoretisch einheitlichem Standpunkte aus unsere Kenntnis auf dem Gebiete der Ätherphysik zusammenstellt, war längst ein Bedürfnis. Der Verfasser ist ihm in ungemein glücklicher Weise entgegengekommen, und ein großer Erfolg ist seinem Werke gewiß. In der eleganten, klaren Art, die theoretischen Prinzipien zu entwickeln und die Tatsachen lebendig darum zu gruppieren, gleicht die Darstellung den bisher in Deutschland kaum erreichten Mustern französischer Lehrbücher. Die Reichhaltigkeit des mitgeteilten, bis zu den neuesten Ergebnissen der Elektronentheorie reichenden Materials ist erstaunlich. Nur durch so echt wissenschaftliche Behandlung, also durch feste theoretische Fundierung, konnte auf so kleinem Raum so viel gebracht werden, und zwar so gebracht werden, daß man es bei der Lektüre wirklich ‚erlebt‘. Auch die prinzipiellen Seiten der technischen Anwendung sind sehr ausgiebig eingefügt, so daß das Buch gleichzeitig eine Einführung in die Elektrotechnik ist, wie es zurzeit keine bessere in Deutschland gibt. Die Ausstattung ist dem Gehalte entsprechend.“

(Physikalische Zeitschrift.)

„Das Buch hat sich in seiner ersten Auflage einen sehr großen Leserkreis erworben, denn es bietet weit mehr als sein Titel verspricht. Wenn auch darin die experimentelle Seite der Forschung vorzugsweise betont wird, so bringt das Werk andererseits doch eine Fülle von Theorie in leichtfaßlichem Gewande, und gerade diese glückliche Vereinigung von Formel und Versuchsergebnis erscheint als das Charakteristische, das dem Buche eine Mittelstellung zwischen rein theoretischen und rein experimentellen Schriften gibt. Äußerlich zeichnet sich die Darstellung durch ihre knappe, scharfe Art aus. Nicht ein Wort zuviel, selten eins zuwenig. Es ist die rechte Art für ein Buch, aus dem man bei eifriger Arbeit viel lernen soll. Dem Physiker wird das Werk von Starke ein unentbehrliches Lehrbuch, dem Techniker oft ein willkommenes Hilfsmittel für theoretische Studien sein.“

(Elektrotechn. Zeitschr.)

Aus Natur und Geisteswelt

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinw. gebunden M. 1.25

Heizung und Lüftung. Von Ing. J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)

Will in allgemeinverständlicher Darstellung über die verschiedenen Lüftungs- und Heizungsarten menschlicher Wohn- und Aufenthaltsräume orientieren und zugleich ein Bild von der modernen Lüftungs- und Heizungstechnik geben, wobei der Hauptwert darauf gelegt wird, die Anordnung der verschiedenen Anlagen darzulegen, die Bedeutung der einzelnen Teile zu erläutern, die Vor- oder Nachteile der verschiedenen Systeme zum Bewußtsein zu bringen, um dadurch Interesse und Verständnis für die dabei in Betracht kommenden, in gesundheitlicher Beziehung so überaus wichtigen Gesichtspunkte zu erwecken.

Die Naturwissenschaften im Haushalt. Von Dr. J. Bongardt. 2 Bde. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 125, 126, auch in 1 Bd. geb.)

I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb. (Bd. 125.)

II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abb. (Bd. 126.)

„... Wir begrüßen die beiden Bändchen von Dr. Bongardt mit Freuden. Aber nicht nur deshalb, weil sie überhaupt das Gebiet behandeln, sondern vielmehr darum, weil der Verfasser den Stoff in durchaus origineller Weise darstellt. Längstbekanntes erscheint bei ihm in neuem Lichte, und überdies fügt er dem aufstrebenden Baue manchen neuen Stein ein. Besonders interessant sind die Schulversuche, die sich durch Schlichtheit und zweckmäßige Anordnung ebenso wie durch Klarheit und Beweiskraft auszeichnen.“

(Mittelschule und höhere Mädchenschule.)

Chemie in Küche und Haus. Von weil. Professor Dr. G. Abel. 3. Aufl. von Dr. J. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)

Gibt eine für jedermann verständliche vollständige Übersicht und eingehende Belehrung über die Natur der mannigfachen in Küche und Haus zur Verwendung kommenden Erzeugnisse, die sich vollziehenden Prozesse chemischer und physikalisch-chemischer Art, auf denen ihre Verwendung beruht, um dadurch vor allem für eine rationelle Auswahl und Zubereitung der täglichen Nahrung, sowie einen wirksamen Schutz vor Schädigungen und Vergiftungen Verständnis zu erwecken.

Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus der Experimentalchemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. 4. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)

„... Trotz der großen Fülle des Materials, welches der Autor in diese neun Vorträge zusammengedrängt hat, ist die Entwicklung des Ganzen klar und übersichtlich, die sehr gut aufgestellte logische Disposition überall streng durchgeführt; die Sprache ist allgemein verständlich und gleichzeitig wissenschaftlich genau und die Darstellung eine so formgewandte und anziehende, daß wohl jedermann, Sachmann wie Laie, das Buch mit Vergnügen und Interesse und sicherlich auch nicht ohne Nutzen lesen wird. Die nett ausgeführten, sehr zahlreichen Abbildungen erleichtern wesentlich das Verständnis des Gelesenen. Das Büchlein kann wärmstens empfohlen werden.“

(Land- u. forstw. Unterrichts-Zeitung.)

Das Licht und die Farben. Von Prof. Dr. L. Graetz. 3. Aufl. Mit 117 Abbildungen. (Bd. 17.)

Führt, von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend, zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben, behandelt, ausgehend von der scheinbar geradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, das Wesen der Farben, die Beugungsercheinungen und die Photographie.

Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Prof. Dr. R. Börnstein und Prof. Dr. W. Markwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)

„... Ein ganz ausgezeichnetes Werkchen. In klarer, gemeinverständlicher und zum Teil ganz origineller Form werden die charakteristischen Eigenschaften jeder Wellenbewegung entwickelt und zunächst an dem Beispiel der Wasserwellen erörtert, hierauf bei den verschiedenen Gattungen der Luft und Ätherwellen aufgezeigt und physikalisch interpretiert, wobei stets die Phänomene des täglichen Lebens besonders berücksichtigt werden. Daß der von Markwald herrührende Abschnitt über Radioaktivität mit großer Sachkenntnis geschrieben ist, braucht wohl nicht erst betont zu werden.“

(Monatshefte für Mathematik u. Physik.)

Aus Natur und Geisteswelt

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinw. gebunden M. 1.25

Photochemie. Von Prof. Dr. G. Kümmell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)

Erklärt in einer für jeden verständlichen Darstellung die chemischen Vorgänge und Gesetze der Einwirkung des Lichtes auf die verschiedenen Substanzen und ihre praktischen Anwendungen, besonders in der Photographie, bis zu dem jüngsten Verfahren der Farbenphotographie.

„Das Werkchen präsentiert sich jedem, der einigermaßen über chemische Kenntnisse verfügt, als ausgezeichnete Führer bei dem Spezialstudium der chemischen Vorgänge auf photographischem Gebiete.“ (Zeitschrift des österr. Ingenieur- u. Architektenvereins.)

Die Photographie, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre Anwendung. Von Dr. O. Prelinger. Mit Abbildungen. (Bd. 414.)

Will das Verständnis für die außerordentlich interessanten Vorgänge wachrufen, die sich vom Momente der Belichtung an bis zur Herstellung des fertigen Bildes abspielen, deren Kenntnis für jeden Photographierenden von großem Nutzen ist. In dem physikalischen Teil wird von den Grundgesetzen der Optik ausgehend die fortschreitende Verbesserung des Objektivs verfolgt, in dem chemischen Teil die Herstellung der photographischen Platten, die Entstehung des latenten Bildes, seine Entwicklung und Fixierung behandelt. Die zur Erzeugung des positiven Bildes in Anwendung befindlichen Verfahren, wie auch Materialien und Apparate werden in anschaulicher Weise vorgeführt. Ein eignes Kapitel ist der Farbenphotographie gewidmet.

Die künstlerische Photographie. Von Dr. W. Warstat. Mit einem Bilderanhang. (Bd. 410.)

Schildert die geschichtliche Entwicklung und die Bedeutung der künstlerischen Photographie für Kunst und Leben in Vergangenheit und Gegenwart. An der Hand einer Auswahl von wertvollen Reproduktionen aus den Meisterwerken der Photographie werden die Probleme und Aufgaben, die der heutigen Lichtbildkunst insbes. im Unterschied von der Malerei gestellt sind, von der technischen und rein künstlerischen Seite her behandelt.

Die Kinematographie. Von Dr. H. Lehmann. (Bd. 358.)

Nach einer Einleitung wird das Prinzip und die Wirkungsweise der Kinematographie an der Hand eines historischen Überblickes entwickelt. Sodann werden die psychologischen und physiologischen Grundlagen dargestellt. Es folgt eine Einführung in die technischen Grundlagen. Zunächst wird eine neue Theorie des modernen Kinematographenapparates abgeleitet, deren Ergebnisse im Kinematographenbau bereits auf empirischem Wege ermittelt worden sind. Sodann werden Konstruktionselemente eingehend beschrieben, ebenso komplette Apparate. In dem Kapitel über die Anwendungen der Kinematographie werden außer den unterhaltenden Films auch die „Trickfilms“ und die lehrhaften Films beschrieben. Schließlich wird die Kinematographie als Hilfsmittel der wissenschaftlichen Forschung erörtert.

Elektrochemie. Von Prof. Dr. K. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)

Legt in gemeinverständlicher Fassung die Grundsätze der Elektrochemie, des jüngsten und interessantesten Zweiges der chemischen Wissenschaft dar und gibt dann an der Hand zahlreicher Abbildungen ein anschauliches Bild der vielen auf ihr beruhenden Industriezweige, deren Betriebe viele Tausende von Arbeitern beschäftigen und ein Vermögen von zahllosen Millionen darstellen. Auch das neueste Verfahren zur Salpetersäuregewinnung aus der Luft findet Darstellung.

Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. A. Roth. Mit 72 Abbildungen. (Bd. 391.)

Auswahl des Stoffes und Darstellungsweise sind durch das Bedürfnis des Anfängers bestimmt, der eine genügende Vorbereitung zum Einblick in das Wesen elektrotechnischer Gegenstände sucht, oder der sich vor eingehenderen Fachstudien eine kurze, geschlossene Übersicht über die Grundgesetze verschaffen will. Die Darstellung ist auf möglichste Anschaulichkeit gerichtet, und die Darlegung der Gesetze erfolgt auf Grund rein physikalischer Betrachtung, um bei dem Leser vor allem ein Empfinden für den gesetzmäßigen Zusammenhang der Erscheinungen zu wecken.

:: Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin ::

Allgemeine Elektrotechnik. Hochschul-Vorlesungen. Von **P. Janet**, Prof. an der Universität Paris, Direktor des Hauptlaboratoriums und der Hochschule für Elektrotechnik. Autorisierte deutsche Bearbeitung von **Fritz Süchting**, Ingenieur, Direktor des Elektrizitätswerkes Bremen und **Ernst Riecke**, Dipl.-Ingenieur in Sterkrade. I. Band: Grundlagen — Gleichströme. Bearbeitet von **Fritz Süchting**. Nach der 3., französischen, verbesserten und vermehrten Auflage. Mit 180 Figuren im Text. Geh. *M* 6.—, in Leinwand geb. *M* 7.—

Das Buch arbeitet möglichst mit anschaulichen Begriffen und graphischen Methoden, aber doch stets in exakter Weise und vermittelt dem Leser ohne Voraussetzung irgendwelcher erheblichen mathematischen Vorkenntnisse das Verständnis für die elektrischen Erscheinungen. Dabei bleibt es stets in engster Fühlung mit den Aufgaben der Praxis und weist fortwährend auf die Anwendung der abgeleiteten Sätze bei der Konstruktion und Benutzung der elektrischen Maschinen und Apparate hin. — Der erste Band behandelt nach einer Rekapitulation der wichtigsten Elemente der Mechanik und Thermodynamik zunächst in je einem Kapitel die Elektrostatik, das Ohmsche Gesetz den Magnetismus und Elektromagnetismus, die Induktion, die Magnetisierung des Eisens, die Eigenschaften der in der Elektrotechnik verwendeten Materialien. Die zweite Hälfte des ersten Bandes gehört der Gleichstrommaschine und bespricht in je einem Artikel den Anker, das Magnetsystem, den Funken des Kollektors und die Anker-Rückwirkung, die Charakteristiken, die Kupplung von Gleichstrommaschinen, die Gleichstrommotoren und die elektrische Arbeitsübertragung. — Der zweite Band ist dem Wechselstrom gewidmet, während der dritte Band sich mit den Wechselstrommotoren beschäftigt.

„Mit vielem Verständnis und Klarheit und mit einem dem Verfasser eigenen glücklichen Lehrverfahren sind die verschiedenen Abschnitte über die Grundlagen der Elektrotechnik abgefaßt und aneinandergereiht.“ (*Zeitschr. d. Vereins dtsh. Ingenieure.*)

Maschinen und Apparate der Starkstromtechnik, ihre Wirkungsweise und Konstruktion. Ein Lehrbuch für den Gebrauch an technischen Lehranstalten,

zum Selbststudium und für den in der Praxis stehenden Ingenieur. Von Elektrotechniker **G. W. Meyer**. I. Teil: Gleichstrom. II. Teil: Wechselstrom. Mit 772 Figuren. Geh. *M* 15.—, geb. *M* 16.—

Will dem Studierenden wie dem in der Praxis stehenden Ingenieur schnelle und zuverlässige Information über den Stand des Baues moderner elektrischer Maschinen und Apparate sowie über die bei der Konstruktion derselben zu beachtenden Gesichtspunkte bieten. Soweit zum Verständnis der betreffenden Maschinen und Apparate erforderlich, wurde auch auf die Theorie derselben kurz eingegangen. Zu dem gleichen Zwecke dient eine große Zahl graphischer Reproduktionen.

„...Das vorliegende Werk ist sehr zu begrüßen, um so mehr als es vor anderen Büchern, die ähnliche Zwecke verfolgen, dem äußerst schätzenswerten Vorzug eines sehr reichen Literaturnachweises voraus hat, der es dem Leser möglich macht, sich über alle Detailfragen in den Originalarbeiten eingehend zu informieren. Diesen Vorzug des Buches wird sowohl der in der Praxis stehende Ingenieur, als auch der Studierende voll würdigen.“ (*Elektrotechnik und Maschinenbau.*)

Einführung in die Elektrotechnik. Physikalische Grundlagen und technische Ausführungen. Von **R. Rinkel**, Professor der Maschinenlehre und Elektrotechnik an der Handels-Hochschule zu Köln. Mit 445 Abbildungen. Geh. *M* 11.20, in Leinwand geb. *M* 12.—

Den Ausgangspunkt der Darstellung bilden die naturwissenschaftlichen Erscheinungen, welche in der Elektrotechnik zur Anwendung kommen, und es war das besondere Bestreben des Verfassers, diese möglichst ohne Benutzung mathematischer Formeln und unter besonderer Berücksichtigung der historischen Entwicklung so klar wie irgend denkbar vor Augen zu führen. Sodann wurden die technischen Anwendungen besprochen. Es war eine Beschränkung auf bestimmte Gebiete geboten. Es ist daher nur die Starkstromtechnik, die Verwendung des elektrischen Stromes für Licht- und Kraftzerzeugung behandelt worden, und zwar in einer Weise, die eine klare Vorstellung von den Grundbedingungen und hauptsächlichen Schwierigkeiten und damit von den achtunggebietenden Leistungen der elektrotechnischen Industrie geben kann. In diesem Sinne wurden besprochen die elektrische Kraftübertragung im allgemeinen, für Fabrikzwecke, im Berg- und Hüttenwesen, das elektrische Bahnwesen und die elektrische Beleuchtung.

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich. — Werke, die mehrere Bände umfassen, sind auch in einem Band gebunden vorrätig.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände innerhalb der Wissenschaften
alphabetisch geordnet.

Aus Theologie u. Philosophie, Pädagogik u. Bildungswesen erschienen:

- Amerikanisches Bildungswesen siehe Techn. Hochschulen, Universitäten, Volksschule.
Ästhetik. Von Prof. Dr. R. Samann. (Bd. 345.)
Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. F. Unold. 3. Aufl. (Bd. 12.)
— siehe auch Ethik.
Bildungswesen. Das deutsche, in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof. Dr. Fr. Paulsen. 3. Aufl. Von Prof. Dr. W. Münch. Mit Bildn. Paulsens. (Bd. 100.)
Buddhas Leben und Lehre. Von weil. Prof. Dr. R. Fischel. 2. Aufl. von Prof. Dr. H. Lüders. Mit 1 Taf. (Bd. 109.)
Calvin, Johann. Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit Bildn. (Bd. 247.)
Christentum. Aus der Werdezeit des Chr. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. F. Geffken. 2. Aufl. (Bd. 54.)
Christentum und Weltgeschichte. Von Prof. D. Dr. R. Sell. 2. Bde. (Bd. 297, 298.)
— siehe auch Jesus, Mystik im Christentum.
Deutsches Ringen nach Kraft und Schönheit. Aus den literar. Zeugn. eines Jahrh. gesammelt. Von Turninspektor R. Möller. 2 Bde. Bd. II in Vorb. (Bd. 188, 189.)
Einführung in die Philosophie, Theologie siehe Philosophie, Theologie.
Entstehung der Welt und der Erde. Von Prof. Dr. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)
Erziehung, Moderne, in Haus und Schule. Von J. Lews. 2. Aufl. (Bd. 159.)
— siehe auch Großstadtpädagogik und Schulkämpfe der Gegenwart.
Ethik. Prinzipien der E. Von E. Wentscher. (Bd. 397.)
— siehe auch Aufgaben und Ziele des Menschenlebens, sittliche Lebensanschauungen, Willensfreiheit.
Fortbildungsschulwesen. Das deutsche. Von Dir. Dr. F. Schilling. (Bd. 256.)
Fröbel, Friedrich. Leben und Wirken. Von A. v. Portugall. Mit 5 Taf. (Bd. 82.)
Großstadtpädagogik. Von J. Lews. (Bd. 327.)
— siehe auch Erziehung, Moderne, und Schulkämpfe der Gegenwart.
Heidentum siehe Mystik.
Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor Dr. O. Flügel. Mit Bildn. (Bd. 164.)
Hilfsschulwesen. Von Rektor Dr. B. Maennel. (Bd. 73.)
Hochschulen siehe Techn. Hochschulen und Universitäten.
Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömer. 2. Aufl. (Bd. 199.)
Jesuiten, Die. Eine histor. Skizze. Von Prof. D. H. Boehmer. 3. Aufl. (Bd. 49.)
Jesus und seine Zeitgenossen. Geschichtliches und Erbauliches. Von Pastor E. Bonhoff. (Bd. 89.)
— Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Pfarrer D. Dr. P. Mehlfhorn. 2. Aufl. (Bd. 137.)
— Die Gleichnisse Jesu. Zugl. Anleitung zu quellenmäßigem Verständnis der Evangelien. Von Prof. D. Dr. Weinel. 3. Aufl. (Bd. 46.)
Israelit. Religion. Die Grundzüge der israel. Religionsgeschichte. V. weil. Prof. Dr. Fr. Giesebrecht. 2. Aufl. (Bd. 52.)
Jugendfürsorge. Von Waisenhausdirektor Dr. J. Petersen. 2 Bde. (Bd. 161, 162.)
Kant, Immanuel. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. D. Kälpe. 3. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 146.)
Knabenhandarbeit, Die, in der heutigen Erziehung. Von Sem.-Dir. Dr. A. Pappst. Mit 21 Abb. u. Titelbild. (Bd. 140.)
Lehrerbildung siehe Volksschule und Lehrerbildung der Ver. Staaten.
Luther im Lichte der neueren Forschung. Ein krit. Bericht. Von Prof. D. H. Boehmer. 3. Aufl. Mit 2 Bildn. (Bd. 113.)
Mädchenschule, Die höhere, in Deutschland. Von Oberlehrerin M. Martin. (Bd. 65.)

- Mechanik des Geisteslebens.** Von Prof. Dr. M. Berworn. 3. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 200.)
— siehe auch Psychologie.
- Mission, Die evangelische.** Von Pastor S. Baudert. (Bd. 406.)
- Mittelschule** siehe Volks- u. Mittelschule.
- Mythil im Heidentum und Christentum.** Von Prof. Dr. E. v. Lehmann. (Bd. 217.)
- Mythologie, Germanische.** Von Prof. Dr. F. v. Regelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)
- Pädagogik, Allgemeine.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 4. Aufl. (Bd. 33.)
- Pädagogik, Experimentelle, mit bes. Rücks. auf die Erzieh. durch die Tat.** Von Dr. W. A. Gay. 2. Aufl. Mit 2 Abb. (Bd. 224.)
— siehe auch Erziehung, Großstadtpädagogik u. Psychologie des Kindes.
- Palästina und seine Geschichte.** Von Prof. Dr. S. Frh. v. Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Ansichten. (Bd. 6.)
- Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden.** Von Dr. P. Thomsen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)
- Paulus, Der Apostel, u. sein Werk.** Von Prof. Dr. E. Vischer. (Bd. 309.)
- Pestalozzi, Leben und Ideen.** Von Prof. Dr. P. Matorp. 2. Aufl. Mit Bildn. u. Brieffass. (Bd. 250.)
- Philosophie, Die, Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme.** Von Realschuldir. S. Richter. 2. Aufl. (Bd. 186.)
— Einführung in die Philosophie. Von Prof. Dr. R. Richter. 3. Aufl. von Dr. M. Brahn. (Bd. 155.)
— Führende Denker, Geschichtl. Einleitung in die Philosophie. Von Prof. Dr. F. Cohn. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)
— siehe auch Weltanschauung.
- Philosophie der Gegenwart, Die, in Deutschland, Charakteristik ihrer Hauptrichtungen.** Von Prof. Dr. D. Rülpe. 5. Aufl. (Bd. 41.)
- Psychologie** siehe Seele des Menschen.
— siehe auch Mechanik des Geisteslebens.
- Psychologie des Kindes.** Von Prof. Dr. R. Gaupp. 3. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 213.)
— siehe auch Pädagogik.
- Religion, Die Stellung der R. im Geistesleben.** Von Lic. Dr. P. Kalweit. (Bd. 225.)
— Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden, Ein geschichtl. Rückblick. Von Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)
— Die relig. Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent. D. A. S. Braasch. 2. Aufl. (Bd. 66.)
- Rousseau.** Von Prof. Dr. P. Senfel. 2. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 180.)
- Schopenhauer, Persönlichkeit, Lehre, Bedeutung.** Von Realschuldir. S. Richter. 2. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 81.)
- Schule** siehe Fortbildungsschulwesen, Hilsschulwesen, Hochschule, Mädchenschule, Mittelschule, Volksschule und die folgenden Bände.
- Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)
- Schulkämpfe der Gegenwart.** Von J. Lews. 2. Aufl. (Bd. 111.)
— siehe auch Erziehung, Moderne, und Großstadtpädagogik.
- Schulwesen, Geschichte des deutschen Sch.** Von Oberrealschuldir. Dr. R. Knabe. (Bd. 85.)
- Seele des Menschen, Die.** Von Prof. Dr. J. Rehmk. 4. Aufl. (Bd. 36.)
— siehe auch Psychologie.
- Sittliche Lebensanschauungen der Gegenwart.** Von weil. Prof. Dr. D. Kirn. 2. Aufl. (Bd. 177.)
— siehe auch Ethik.
- Spencer, Herbert.** Von Dr. R. Schwarze. Mit Bildn. (Bd. 245.)
- Student, Der Leipziger, von 1409 bis 1909.** Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
- Technische Hochschulen in Nordamerika.** Von Prof. S. Müller. Mit zahlr. Abb., Karte u. Lageplan. (Bd. 190.)
- Testament, Neues, Der Text des N. T. nach seiner geschichtl. Entwicklung.** Von Div.-Pfarrer A. Pott. Mit 8 Taf. (Bd. 134.)
— siehe auch Jesus.
- Theologie, Einführung in die Theologie.** Von Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)
- über Universitäten und Universitätsstudium.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. (Bd. 411.)
- Universität, Die amerikanische.** Von PH. D. G. D. Perry. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)
— siehe auch Student.
- Unterrichtswesen, Das deutsche, der Gegenwart.** Von Oberrealschuldir. Dr. R. Knabe. (Bd. 299.)
- Volksbildungswesen, Das moderne, Bürger- und Besehallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern seit der Mitte des 19. Jahrhunderts.** Von Stadtbibliothekar Dr. G. Friß. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)
- Volks- und Mittelschule, Die preussische, Entwicklung und Ziele.** Von Geh. Reg.- u. Schulrat Dr. Sachse. (Bd. 432.)
- Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten.** Von Dir. Dr. F. Kuppers. Mit 48 Abb. u. Titelfild. (Bd. 150.)

Weltanschauung, Griechische. Von Privat-
 doz. Dr. M. Wundt. (Bd. 329.)
**Weltanschauungen, Die, der großen Philo-
 sophen der Neuzeit.** Von weil. Prof.
 Dr. E. Husserl. 5. Aufl., herausg. von
 Prof. Dr. R. Faldenberg. (Bd. 56.)
 — siehe auch Philosophie.

Willensfreiheit. Das Problem der W. Von
 Prof. Dr. G. F. Lippz. (Bd. 383.)
 — siehe auch Ethik.

Zeichenkunst. Der Weg zur Z. Von Dr.
 E. Weber. Mit Abb. (Bd. 430.)

Weitere Bände sind in Vorbereitung

Aus Sprachkunde, Literaturgeschichte und Kunst erschienen:

Architektur siehe Baukunst und Renais-
 sancearchitektur.

Ästhetik. Von Prof. Dr. R. Hamann.
 (Bd. 345.)

Bau und Leben der bildenden Kunst. Von
 Dir. Prof. Dr. E. H. Volbehr. 2. Aufl.
 Mit 44 Abb. (Bd. 68.)

Baufunde siehe Abtlg. Technik.

Baukunst. Deutsche B. im Mittelalter. Von
 Prof. Dr. A. Matthaei. 3. Aufl. Mit
 29 Abb. (Bd. 8.)

— **Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter
 bis z. Ausg. des 18. Jahrh.** Von Prof.
 Dr. A. Matthaei. Mit 62 Abb. und
 3 Tafeln. (Bd. 326.)

— **Deutsche Baukunst im 19. Jahrh.** Von
 Prof. Dr. A. Matthaei. Mit Abb.
 (Bd. 453.)

— **Kultur des Wohnhauses, Die.** Von
 Reg.-Baumeister a. D. G. Langen.
 Mit Abb. (Bd. 434.)

Beethoven siehe Haydn.

Björnson siehe Ibsen.

Decorative Kunst des Altertums. Von Dr.
 Fr. Poulsen. Mit Abb. (Bd. 454.)

Drama, Das. Von Dr. E. Husserl. Mit
 Abb. 2 Bde.

Bd. I: Von der Antike zum franzöf. Klas-
 sizismus. (Bd. 287.)

Bd. II: Von Versailles bis Weimar.
 (Bd. 288.)

— siehe auch Shakespeare, Lessing, Schil-
 ler und Theater.

**Drama, Das deutsche, des 19. Jahrh. In
 s. Entwickl. dargest.** von Prof. Dr. G.
 Witkowski. 4. Aufl. Mit Bildn. Geb-
 bels. (Bd. 51.)

— siehe auch Hebbel, Hauptmann.

Dürer, Albrecht. Von Dr. R. Wustmann.
 Mit 33 Abb. (Bd. 97.)

**Französische Roman, Der, und die No-
 velle.** Von O. Flake. (Bd. 377.)

**Frauendichtung. Geschichte der deutschen F.
 seit 1800.** V. Dr. H. Spiero. (Bd. 300.)

**Griechische Kunst. Die Blütezeit der a. K.
 im Spiegel der Kelleffarkonhage. Eine
 Einführung in die griech. Plastik.** Von
 Dr. H. Wachtler. Mit 8 Taf. u. 32
 Abb. (Bd. 272.)

— siehe auch Decorative Kunst.

Harmonium siehe Tasteninstrumente.

Hauptmann, Gerhart. Von Prof. Dr. G.
 Sulger-Gebing. Mit 1 Bildn.
 (Bd. 283.)

Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof.
 Dr. E. Krebs. 2. Aufl. Mit 4 Bildn.
 (Bd. 92.)

Hebbel, Friedrich. Von Prof. Dr. O. Wal-
 zel. Mit 1 Bildn. (Bd. 408.)

Ibsen, Björnson und ihre Zeitgenossen.
 Von weil. Prof. Dr. B. Kahle. 2. Aufl.
 von Dr. Morgenstern. Mit 7 Bildn.
 (Bd. 193.)

Impressionismus. Die Maler des J. Von
 Prof. Dr. B. Lázár. Mit 32 Abb. u.
 1 farb. Tafel. (Bd. 395.)

Klavier siehe Tasteninstrumente.

**Kunst, Deutsche, im täglichen Leben bis
 zum Schlusse des 18. Jahrh.** Von Prof.
 Dr. B. Haendke. Mit 63 Abb.
 (Bd. 198.)

Kunst, Kirchliche, und Denkmalspflege.
 Vorträge. 2 Bde. Mit Abb. (Bd. 400/1.)

Kunst siehe auch Griechische, Ostasiatische
 Kunst.

Kunstpflge in Haus und Heimat. Von
 Superint. R. Bürkner. 2. Aufl. Mit
 29 Abb. (Bd. 77.)

Lessing, E. Dr. E. H. Schrempf. (Bd. 403.)

**Lyrik. Geschichte der deutschen L. seit Clau-
 dius.** Von Dr. H. Spiero. (Bd. 254.)

— siehe auch Minnesang und Volkslied.

Maler siehe Impressionismus.

Malerei, Die deutsche, im 19. Jahrh. Von
 Prof. Dr. R. Hamann. 2 Bände Text,
 2 Bände Abbildn. (Bd. 448—451.)

Malerei, Niederländische, im 17. Jahrh.
 Von Dr. H. Janzen. Mit zahlr. Abb.
 — siehe auch Rembrandt. (Bd. 373.)

**Michelangelo. Einführung in das Ver-
 ständn. s. Werke.** Von Prof. Dr. G.
 Sildebrandt. Mit 44 Abb. (Bd. 392.)

Minnesang. Von Dr. J. W. Bruinier.
 (Bd. 404.)

Mozart siehe Haydn.

Musik. Geschichte der Musik siehe Haydn,
 Mozart, Beethoven, Wagner.

— **Die Grundlagen der Tonkunst. Ver-
 such e. genet. Darstellung der allgem.
 Musiklehre.** Von Prof. Dr. H. Rietich.
 (Bd. 178.)

- Musikal. Kompositionsformen.** Von S. G. Fallenberg. 2 Bde.
 Bd. I: Die elementaren Tonverbindungen als Grundlage der Harmonielehre. (Bd. 412.)
 Bd. II: Kontrapunktik und Formenlehre. (Bd. 413.)
- Musikal. Romantik.** Die Blütezeit der m. N. in Deutschland. Von Dr. E. Fstl. Mit Silhouette. (Bd. 239.)
- Mythologie, Germanische.** Von Prof. Dr. F. v. Megelein. (Bd. 95.)
 — siehe auch Volksfrage, Deutsche.
- Novelle** siehe Roman.
- Orchester.** Die Instrumente des Orch. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit 60 Abb. (Bd. 384.)
 — Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit Partiturbeisp. u. 3 Taf. (Bd. 308.)
- Orgel** siehe Tasteninstrumente.
- Ostasiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa.** Von Dir. Prof. Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. (Bd. 87.)
- Personennamen, Die deutschen.** Von Dir. A. Bähnisch. (Bd. 296.)
- Plastik** siehe Griechische Kunst.
- Rembrandt.** Von Prof. Dr. P. Schubring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)
- Renaissancearchitektur in Italien I.** Von Dr. P. Frankl. Mit 12 Taf. u. 27 Textabb. (Bd. 381.)
- Rhetorik.** Von Dr. E. Geißler. I. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. 2. Aufl. (Bd. 455.)
 — II. Anweisungen zur Kunst der Rede. (Bd. 456.)
 — siehe auch Sprechen.
- Roman.** Der französische Roman und die Novelle. Von D. Flate. (Bd. 377.)
- Romantik, Deutsche.** Von Prof. Dr. D. Walzel. 2. Aufl. (Bd. 232.)
- Romantik** siehe auch Musikal. Romantik.
- Schiller.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit Bildn. 2. Aufl. (Bd. 74.)
- Shakespeare und seine Zeit.** Von Prof. Dr. E. Sieper. Mit 3 Taf. u. 3 Textabb. 2. Aufl. (Bd. 185.)
- Sprachbau.** Die Haupttypen des menschlichen S. Von weil. Prof. Dr. F. N. Fınd. (Bd. 268.)
- Sprachstämme des Erdkreises.** Von weil. Prof. Dr. F. N. Fınd. (Bd. 267.)
- Sprechen.** Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. (Bd. 354.)
 — siehe auch Rhetorik.
- Stile.** Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde.
 Bd. I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abb. (Bd. 317.)
 Bd. II: Von der Renaissance b. z. Gegenwart. Mit 31 Abb. (Bd. 318.)
- Tasteninstrumente.** Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der T. Von Prof. Dr. D. Vie. (Bd. 325.)
- Theater.** Das Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altert. bis auf die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gaehde. 2. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 230.)
- Tonkunst** siehe Musik.
- Volkslied, Das deutsche.** Über Wesen und Werden deutschen Volksliedes. Von Dr. F. W. Bruinier. 5. Aufl. (Bd. 7.)
- Volksfrage, Die deutsche.** Von Dr. D. Bödel. (Bd. 262.)
 — siehe auch Mythologie, German.
- Wagner.** Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. E. Fstl. Mit Bildn. (Bd. 330.)
 — siehe auch Musikal. Romantik.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Aus Kultur, Geschichte u. Geographie, Recht u. Wirtschaft erschienen:

- Alpen, Die.** Von S. Reishauer. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 276.)
- Altertum, Das, im Leben der Gegenwart.** Von Prof. Dr. P. Cauer. (Bd. 356.)
- Amerika, Geschichte der Vereinigten Staaten von A.** Von Prof. Dr. E. Daenell. (Bd. 147.)
 — Aus dem amerikan. Wirtschaftsleben. Von Prof. F. L. Laughlin. Mit 9 graph. Darstellungen. (Bd. 127.)
 — siehe ferner Lehrerbildung, Volksschule, Techn. Hochschulen, Universitäten Amerikas in Abtlg. Bildungswesen.
- Amerikaner, Die.** Von R. M. Butler. Deutsch von Prof. Dr. W. Paszkowski. (Bd. 319.)
- Angestellte** siehe Kaufmännische A.
- Antike Wirtschaftsgeschichte.** Von Dr. D. Neurath. (Bd. 258.)
- Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung.** Von Prof. D. v. Zwiedineck-Südenhorst. 2. Aufl. (Bd. 78.)
 — siehe auch soziale Bewegung.
- Australien und Neuseeland.** Land, Leute und Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schachner. (Bd. 366.)
- Bauernhaus, Kulturgeschichte des deutschen B.** Von Reg.-Baumeister Chr. Kand. 2. Aufl. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)
- Bauernstand, Geschichte des deutschen B.** Von Prof. Dr. S. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.)
- Bevölkerungslehre.** Von Prof. Dr. M. Haushofer. (Bd. 50.)

- Buch.** Wie ein Buch entsteht. Von Prof. A. W. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Taf. u. 26 Abb. (Bd. 175.)
 — Das Buchgewerbe und die Kultur. 6 Vorträge, gehalten i. A. des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abb. (Bd. 182.)
 — siehe auch Schrift- und Buchwesen.
- Byzantinische Charakterköpfe.** Von Privatdoz. Dr. R. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)
- Charakterbilder aus deutscher Geschichte** siehe Von Luther zu Bismarck.
- Deutsch:** Deutsches Bauernhaus s. Bauernhaus. — Deutscher Bauernstand s. Bauernstand. — Deutsches Dorf s. Dorf. — Deutsche Einheit s. Vom Bund zum Reich. — Deutsches Frauenleben s. Frauenleben. — Deutsche Geschichte s. Geschichte. — Deutscher Handel s. Handel. — Deutsches Haus s. Haus. — Deutsche Kolonien s. Kolonien. — Deutsche Landwirtschaft s. Landwirtschaft. — Deutsche Reichsversicherung s. Reichsversicherung. — Deutsche Schifffahrt s. Schifffahrt. — Deutsches Schulwesen s. Schulwesen. — Deutsche Städte s. Städte. — Deutsche Verfassung, Verfassungsrecht s. Verfassung, Verfassungsrecht. — Deutsche Volksfeste, Volksstämme, Volkstrachten s. Volksfeste usw. — Deutsches Weidwerk s. Weidwerk. — Deutsches Wirtschaftsleben s. Wirtschaftsleben. — Deutsches Zivilprozeßrecht s. Zivilprozeßrecht.
- Deutschtum im Ausland, Das.** Von Prof. Dr. R. Hoeniger. (Bd. 402.)
- Dorf, Das deutsche.** Von R. Mielle. 2. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)
- Ehe und Eherecht.** Von Prof. Dr. L. Wahrmund. (Bd. 115.)
- Eisenbahnwesen, Das.** Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. a. D. Biedermann. 2. Aufl. Mit Abbildgn. (Bd. 144.)
 — siehe auch Verkehrsentwicklung in Deutschland 1800/1900.
- Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage.** Von Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 19 Bildn. (Bd. 174.)
- Entdeckungen, Das Zeitalter der.** Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltkarte. (Bd. 26.)
- Erbrecht, Testamenterrichtung und E.** Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
- Familienforschung.** Von Dr. E. Debrient. (Bd. 350.)
- Finanzwissenschaft.** Von Prof. Dr. S. B. Altmann. (Bd. 306.)
- Frauenarbeit. Ein Problem des Kapitalismus.** Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (Bd. 106.)
- Frauenbewegung, Die moderne. Ein geschichtlicher Überblick.** Von Dr. R. Schirmacher. 2. Aufl. (Bd. 67.)
- Friedensbewegung, Die moderne.** Von A. S. Fried. (Bd. 157.)
- Friedrich der Große. Sechs Vorträge.** Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 2 Bildnissen. (Bd. 246.)
- Gartenkunst. Geschichte d. G.** Von Reg.-Baumeister Chr. Rancé. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
 — siehe auch Abt. Naturwissensch. (Blumen u. Pflanzen.)
- Gartenstadtbewegung, Die.** Von Generalsek. S. Kampfmeyer. Mit 45 Abb. 2. Aufl. (Bd. 239.)
- Geld, Das, und sein Gebrauch.** Von G. Maier. (Bd. 398.)
 — siehe auch Münze.
- Germanische Kultur in der Urzeit.** Von Prof. Dr. G. Steinhäusen. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)
- Geschichte, Deutsche** siehe Von Luther zu Bismarck, Friedrich der Große, Restauration u. Revolution, Revolution (1848), Reaktion u. neue Ära, Vom Bund zum Reich, Moltke.
- Gewerblicher Rechtsschutz in Deutschland.** Von Patentantw. B. Tollsdorf. (Bd. 138.)
- Griechische Städte. Kulturbilder aus gr. St.** Von Oberlehrer Dr. E. Ziebarth. 2. Aufl. Mit 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)
- Handel. Geschichte des Welthandels.** Von Prof. Dr. M. G. Schmidt. 2. Aufl. (Bd. 118.)
 — Geschichte des deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.)
- Handwerk, Das deutsche, in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung.** Von Dir. Dr. E. Otto. 4. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.)
- Haus, Das deutsche, und sein Hausrat.** Von Prof. Dr. R. Meringer. Mit 106 Abb. (Bd. 116.)
- Holland** siehe Städtebilder, Historische.
- Hotelwesen.** Von B. Damm-Etienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)
- Japaner, Die, in der Weltwirtschaft.** Von Prof. Dr. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)
- Jesuiten, Die. Eine histor. Skizze.** Von Prof. Dr. S. Boehmer. 3. Aufl. (Bd. 29.)
- Internationale Leben, Das, der Gegenwart.** Von A. S. Fried. Mit 1 Tafel. (Bd. 226.)
- Jurisprudenz im häuslichen Leben. Für Familie und Haushalt dargestellt.** Von Rechtsanw. B. Bienengräber. 2 Bde. (Bd. 219, 220.)
- Kaufmann, Das Recht des R.** Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 409.)
- Kaufmännische Angestellte, Das Recht der I. A.** Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)

- Kolonien, Die deutschen.** (Land und Leute.) Von Dr. A. Seilborn. 3. Aufl. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 98.)
— **Unsere Schutzgebiete nach ihren wirtschaftl. Verhältnissen.** Im Lichte der Erdkunde dargestellt. Von Dr. Chr. G. Barth. (Bd. 290.)
- Kolonisation, Innere.** Von A. Brenning. (Bd. 261.)
- Konsumgenossenschaft, Die.** Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)
- Krieg, Der, im Zeitalter des Verkehrs und der Technif.** Von Hauptmann A. Meyer. Mit 3 Abb. (Bd. 271.)
— **Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert.** Von Major D. v. Sothen. Mit 9 Übersichtskarten. (Bd. 59.)
— siehe auch Seekrieg.
- Landwirtschaft, Die deutsche.** Von Dr. W. Claassen. Mit 15 Abb. und 1 Karte. (Bd. 215.)
- Miete, Die, nach dem BGB.** Ein Handbüchlein für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 194.)
- Mittelalterliche Kulturideale.** Von Prof. Dr. W. Wedel. 2 Bde.
Bd. I: Heldenleben. (Bd. 292.)
Bd. II: Ritterromantik. (Bd. 293.)
- Mittelstandsbewegung, Die moderne.** Von Dr. L. Müffelmann. (Bd. 417.)
- Moltke.** Von Kaiserl. Ottoman. Major im Generalstab F. C. Endres. Mit Bildn. (Bd. 415.)
- Münze, Die, als historisches Denkmal so wie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben.** Von Prof. Dr. A. Euschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abb. (Bd. 91.)
— siehe auch Geld.
- Napoleon I.** Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 195.)
- Organisation, Die wirtschaftliche.** Von Privatdozent Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)
- Orient, Der. Eine Länderkunde.** Von E. Banse. 3 Bde.
Bd. I: Die Atlasländer. Marokko, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abb., 10 Kartenskizzen, 3 Diagrammen u. 1 Tafel. (Bd. 277.)
Bd. II: Der arabische Orient. Mit 29 Abb. und 7 Diagrammen. (Bd. 278.)
Bd. III: Der arische Orient. Mit 34 Abb., 3 Kartenskizzen und 2 Diagrammen. (Bd. 279.)
- Osterreich. Geschichte der auswärtigen Politik Osterreichs im 19. Jahrhundert.** Von R. Charmaß. (Bd. 374.)
- Osterreichs innere Geschichte von 1848 bis 1907.** Von R. Charmaß. 2 Bände. 2. Aufl.
Bd. I: Die Vorherrschaft der Deutschen. (Bd. 242.)
Bd. II: Der Kampf d. Nationen. (Bd. 243.)
- Ostmark, Die. Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte.** Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)
- Ostseegbiet.** Von Privatdozent Dr. G. Braun. (Bd. 367.)
- Palästina und seine Geschichte.** Von Prof. Dr. S. Freiherr von Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan und 6 Ansichten. (Bd. 6.)
- Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden.** Von Gymnasialoberlehrer Dr. P. Thomsen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)
- Polarforschung. Geschichte der Entdeckungstreffen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart.** Von Prof. Dr. R. Saffert. 2. Aufl. Mit 6 Karten. (Bd. 38.)
- Politische Geographie.** Von Dr. E. Schöne. (Bd. 353.)
- Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrhundert.** Von Prof. Dr. R. Th. v. Heigel. 2. Aufl. (Bd. 129.)
- Pompeii, eine hellenistische Stadt in Italien.** Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 2. Aufl. Mit 62 Abb. (Bd. 114.)
- Postwesen, Das. Entwicklung und Bedeutung.** Von Postrat F. Brunz. (Bd. 165.)
- Primitive. Die geistige Kultur der V.** Von Prof. Dr. R. Th. Preuß. (Bd. 452.)
- Reaktion und neue Ära. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart.** Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 101.)
- Recht** siehe Eherecht, Erbrecht, Gewerbl. Rechtsschutz, Jurisprudenz, Kaufmann, Kaufmann. Angestellte, Urheberrecht, Verbrechen, Verfassungsrecht, Wahlrecht, Zivilprozeßrecht.
- Rechtsprobleme, Moderne.** Von Prof. Dr. F. Kohler. 3. Aufl. (Bd. 128.)
- Reichsversicherung, Die. Die Kranken-, Invaliden-, Hinterbliebenen-, Unfall- und Angestelltenversicherung nach der Reichsversicherungsordnung u. dem Versicherungsgesetz für Angestellte.** Von Landesversicherungsassessor H. Seelmann. (Bd. 380.)
- Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit.** Von Prof. Dr. R. Schwemer. 3. Aufl. (Bd. 37.)
- Revolution. Geschichte der Französischen R.** Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. (Bd. 346.)
— 1848. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. D. Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)
- Rom. Das alte Rom.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. D. Richter. Mit Silberanhang u. 4 Plänen. (Bd. 386.)
— **Soziale Kämpfe im alten Rom.** Von Privatdoz. Dr. L. Bloch. 3. Aufl. (Bd. 22.)
— **Roms Kampf um die Weltherrschaft.** Von Prof. Dr. Romaher. (Bd. 368.)

- Schiffahrt, Deutsche, und Schiffahrtspolitik der Gegenwart.** Von Prof. Dr. R. Thieß. (Bd. 169.)
- Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit.** Von Prof. Dr. O. Weise. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 4.)
 — siehe auch Buch.
- Schulwesen. Geschichte des deutschen Schulwesens.** Von Oberrealschuldir. Dr. R. Rnabe. (Bd. 85.)
- Seekrieg. Eine geschichtl. Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegenwart.** Von R. Freiherrn v. Malzhahn, Vizeadmiral a. D. (Bd. 99.)
 — Das Kriegsschiff. Von Geh. Marinebaurat Krieger. Mit 60 Abb. (Bd. 389.)
 — siehe Krieg.
- Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung.** Von G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.)
 — siehe auch Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung.
- Soziale Kämpfe im alten Rom** siehe Rom.
- Sozialismus. Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrh.** Von Privatdoz. Dr. Fr. Mucke. 2 Bde.
 Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.)
 Band II: Proudhon und der entwicklungsgeschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.)
- Städte, Die. Geographisch betrachtet.** Von Prof. Dr. R. Hassert. Mit 21 Abb. (Bd. 163.)
 — Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)
 — Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Von Reg.-Baumeister a. D. A. Erbe. Mit 59 Abb. (Bd. 117.)
 — siehe auch Griechische Städte, ferner Pompeji, Rom.
- Statistik.** Von Prof. Dr. C. Schott. (Bd. 442.)
- Strafe und Verbrechen.** Von Dr. B. Polliz. (Bd. 323.)
- Student, Der Leipziger, von 1409 bis 1909.** Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
- Telegraphie, Die, in ihrer Entwicklung und Bedeutung.** Von Postrat F. Brunz. Mit 4 Fig. (Bd. 183.)
- Testamentserrichtung und Erbrecht.** Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
- Theater, Das. Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenw.** Von Dr. Chr. Gaehe. 2. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 230.)
- Über Universitäten u. Universitätsstudium.** B. Prof. Dr. Th. Ziegler. (Bd. 411.)
 — siehe auch Student, Der Leipziger.
- Urheberrecht. Das Recht an Schrift- und Kunstwerken.** Von Rechtsanwält Dr. R. Mothes. (Bd. 435.)
- Verbrechen. Strafe und B.** Von Dr. B. Polliz. (Bd. 323.)
- Verbrechen und Aberglaube. Skizzen aus der volkstündlichen Kriminalistik.** Von Dr. A. Sellwig. (Bd. 212.)
- Verbrecher. Die Psychologie des B.** Von Dr. B. Polliz. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.)
- Verfassung. Grundzüge der B. des Deutschen Reiches.** Von Prof. Dr. E. Loening. 4. Aufl. (Bd. 34.)
- Verfassungsrecht, Deutsches, in geschichtlicher Entwicklung.** Von Prof. Dr. E. D. Hubrich. 2. Aufl. (Bd. 80.)
- Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800 bis 1900 (fortgeführt bis zur Gegenwart).** Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft. Von Prof. Dr. W. Loh. 3. Aufl. (Bd. 15.)
 — siehe auch Eisenbahnwesen.
- Versicherungswesen. Grundzüge des B.** Von Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl. (Bd. 105.)
 — siehe auch Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung und Reichsversicherung.
- Volksterte und Volkssitten, Deutsche.** Von H. S. Rehm. Mit 11 Abb. (Bd. 214.)
- Volkstämme, Die deutschen, und Landschaften.** Von Prof. Dr. O. Weise. 4. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 16.)
- Volkstrachten, Deutsche.** Von Pfarrer C. Spieß. (Bd. 342.)
 — siehe auch Deutsche Volksterte usw.
- Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit.** Von Prof. Dr. H. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 102.)
- Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte.** Von Prof. Dr. D. Weber. 2 Bde. 2. Aufl. (Bd. 123, 124.)
- Wahlrecht, Das.** Von Reg.-Rat Dr. O. Boensgen. (Bd. 249.)
- Weidwerk, Das deutsche.** Von G. Frh. v. Nordenflicht. (Bd. 436.)
- Welthandel** siehe Handel.
- Wirtschaftliche Erdkunde.** Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearb. von Prof. Dr. R. Dove. (Bd. 122.)

- Wirtschaftsleben, Deutsches.** Auf geographischer Grundlage geschildert. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. Neubearb. von Dr. S. Reinlein. (Bd. 42.)
- **Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrhundert.** Von Prof. Dr. L. Pohle. 3. Aufl. (Bd. 57.)
- **Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft.** Von Prof. Dr. P. Arndt. 2. Aufl. (Bd. 179.)
- Wirtschaftliche Organisation, Die.** Von Privatdozent Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)
- Wirtschaftsgeschichte** siehe Antike Wirtschaftsgeschichte.
- Zeitungswesen.** Von Dr. S. Diez. (Bd. 328.)
- Zivilprozessrecht, Das deutsche.** Von Rechtsanwält Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)

Wichtige Gebiete der Volkswirtschaft sind auch in der Abteilung Naturwissenschaft und Technik behandelt unter den Stichwörtern: Automobil, Bierbrauerei, Bilder aus der chem. Technik, Eisenbahnwesen, Eisenhüttenwesen, Elektr. Kraftübertragung, Gartenstadtbewegung, Ingenieurtechnik, Kaffee, Kakao, Kinematographie, Kohlen, Landwirtschaftl. Maschinen, Metalle, Patente, Salz, Schmucksteine, Spinnerei, Straßenbahnen, Tabak, Tee, Wald, Wasserkraftmaschinen, Weinbau.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Aus Mathematik, Naturwissenschaften, Medizin u. Technik erschienen:

- Aberglaube, Der, in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben.** Von Prof. Dr. D. v. Hansemann. 2. Aufl. (Bd. 83.)
- Abstammungs- und Vererbungslehre, Experimentelle.** Von Dr. S. Lehmann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.)
- Abstammungslehre und Darwinismus.** Von Prof. Dr. R. Hesse. 4. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39.)
- Agrikulturchemie.** Von Dr. P. Frische. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)
- Algebra** siehe Arithmetik.
- Alkoholismus, Der.** Von Dr. G. B. Gruber. Mit 7 Abb. (Bd. 103.)
- Ameisen, Die.** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 61 Fig. (Bd. 94.)
- Anatomie des Menschen, Die.** Von Prof. Dr. R. v. Bardeleben. 6 Bde. 2. Aufl.
- I. Teil: Zellen- und Gewebelehre. Entwicklungsgeschichte der Körper als Ganzes. Mit 70 Abb. (Bd. 418.)
- II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abb. (Bd. 419.)
- III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem. Mit 68 Abb. (Bd. 420.)
- IV. Teil: Die Eingeweide (Darm-, Atmungs-, Harn- und Geschlechtsorgane). Mit 39 Abb. (Bd. 421.)
- V. Teil: Nervensystem und Sinnesorgane. Mit Abb. (Bd. 422.)
- VI. Teil: Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abb. (Bd. 423.)
- Aquarium, Das.** Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)
- Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Crauß. 2 Bde.
- I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. 2. Aufl. Mit 9 Fig. (Bd. 120.)
- II. Teil: Gleichungen. Arithmetische und geometrische Reihen. Zinseszins- und Rentenrechnung. Komplexe Zahlen. Binomischer Lehrsatz. 3. Aufl. Mit 23 Fig. (Bd. 205.)
- Arzneimittel und Genußmittel.** Von Prof. Dr. D. Schmiedeberg. (Bd. 363.)
- Arzt, Der.** Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leitfaden der soz. Medizin. Von Dr. med. M. Fürst. (Bd. 265.)
- Astronomie, Probleme der modernen Astr.** Von Prof. Dr. E. Oppenheim. Mit 11 Fig. (Bd. 355.)
- **Astronomie in ihrer Bedeutung für das praktische Leben.** Von Prof. Dr. A. Marcuse. Mit 26 Abb. (Bd. 378.)
- siehe auch Weltall, Weltbild, Sonne, Mond, Planeten.
- Atome, Moleküle — Atome — Weltäther.** Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)
- Auge des Menschen, Das, und seine Gesundheitspflege.** Von Prof. Dr. G. Abelsohoff. Mit 15 Abb. (Bd. 149.)
- Auge, Das, und die Brille.** Von Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)
- Automobil, Das.** Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ingenieur R. Blau. 2. Aufl. Mit 86 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 166.)

- Bakterien, Die, im Kreislauf des Stoffes in der Natur und im Haushalt des Menschen.** Von Prof. Dr. E. Gutzeit. Mit 13 Abb. (Bd. 233.)
- **Die krankheitserregenden Bakterien.** Von Privatdozent Dr. M. Voehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)
- Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.** Von Prof. Dr. H. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)
- Baufunde. Das Wohnhaus.** Von Reg.-Baumeister a. D. G. Langen. 2 Bde. Mit Abb.
 Bd. I: Sein technischer Aufbau. (Bd. 444.)
 Bd. II: Seine Anlage und Ausgestaltung. (Bd. 445.)
- **Eisenbetonbau, Der.** Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. 81 Abb. (Bd. 275.)
- Baukunst** siehe Abtlg. Kunst.
- Befruchtungsvorgang, Der, sein Wesen und seine Bedeutung.** Von Dr. E. Reichmann. 2. Aufl. Mit 7 Abb. und 4 Doppeltafeln. (Bd. 70.)
- Beleuchtungsarten, Die, der Gegenwart.** Von Dr. H. Lur. Mit Abb. (Bd. 108.)
- Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)
- Biochemie. Einführung in die B.** Von Prof. Dr. W. Löb. (Bd. 352.)
- Biologie, Experimentelle.** Von Dr. E. Thejng. Mit Abb. 2 Bde.
 Bd. I: Experimentelle Zellforschung. (Bd. 336.)
 Band II: Regeneration, Transplantation und verwandte Gebiete. (Bd. 337.)
- Biologie** siehe auch Abstammungslehre, Befruchtungsvorgang, Erscheinungen des Lebens, Lebewesen, Organismen, Mensch und Tier.
- Blumen. Unsere Bl. und Pflanzen im Garten.** Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
- **Unsere Bl. und Pflanzen im Zimmer.** Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 65 Abb. (Bd. 359.)
- Blut, Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen.** Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
- Botanik** siehe Kolonialbotanik, Blumen, Kulturpflanzen.
- Brauerei. Die Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)
- Brille. Das Auge und die Br.** Von Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)
- Buch. Wie ein Buch entsteht.** Von Prof. U. W. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Tafeln und 26 Abb. (Bd. 175.)
- siehe auch Abt. Kultur (Buchgewerbe, Schrift- u. Buchwesen).
- Chemie. Einführung in die chemische Wissenschaft.** Von Prof. Dr. W. Löb. Mit 16 Figuren. (Bd. 264.)
- **Bilder aus der chemischen Technik.** Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)
- Chemie in Küche und Haus.** Von weil. Prof. Dr. G. Abel. 2. Aufl. von Dr. F. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)
- Chemie und Technologie der Sprengstoffe.** Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Chirurgie, Die, unserer Zeit.** Von Prof. Dr. Fessler. Mit 52 Abb. (Bd. 339.)
- Dampfkessel** siehe Dampfmaschine I und Feuerungsanlagen.
- Dampfmaschine, Die.** 2 Bde. I: Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 393.)
- II: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 95 Abb. u. 1 Taf. (Bd. 394.)
- Darwinismus. Abstammungslehre und D.** Von Prof. Dr. R. Hesse. 4. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39.)
- Differential- u. Integralrechnung.** Von Dr. M. Lindow. (Bd. 387.)
- Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik.** Von Telegrapheninspektor S. Brück. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
- Eisenbahnwesen, Das.** Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor a. D. E. Biedermann. 2. Aufl. M. zahlr. Abb. (Bd. 144.)
- siehe auch Klein- u. Straßenbahnen, Verkehrsentwicklung.
- Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)
- Eisenhüttenwesen.** Von weil. Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Wedding. 4. Aufl. von Bergreferendar F. W. Wedding. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)
- Eiszeit, Die, und der vorgeschichtliche Mensch.** Von Prof. Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)
- Elektrische Kraftübertragung.** Von Ing. B. Röhn. Mit Abb. (Bd. 424.)
- Elektrochemie.** Von Prof. Dr. R. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)
- Elektrotechnik. Grundlagen der E.** Von Dr. A. Roth. Mit 72 Abb. (Bd. 391.)
- siehe auch Drähte und Kabel, Telegraphie.
- Energie. Die Lehre von der E.** Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)
- Ernährung und Vollnahrungsmittel.** Von weil. Prof. Dr. F. Frenzel. 2. Aufl. Neu bearbeitet von Geh.-Rat Prof. Dr. R. Junz. Mit 7 Abb. und 2 Tafeln. (Bd. 19.)
- Erscheinungen, Die, des Lebens.** Von Prof. Dr. H. Miehle. Mit 40 Fig. (Bd. 130.)

- Farben siehe Licht.
- Feuerungsanlagen, Industrielle, u. Dampfkessel. Von Ingenieur F. E. Mayer. Mit 88 Abb. (Bd. 348.)
- Funkentelegraphie. Von Oberpostpraktikant S. Thurn. Mit 53 Illustr. 2. Aufl. (Bd. 167.)
- Garten siehe Blumen, Pflanzen.
- Gartenkunst. Geschichte der G. Von Reg.-Baumeister Chr. Ranc. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
- Gartenstadtbewegung. Die. Von Generalsekretär S. Kamppfmeier. Mit 43 Abb. 2. Aufl. (Bd. 259.)
- Gebiß, Das menschliche, seine Erkrankung und Pflege. Von Zahnarzt Fr. Jäger. Mit 24 Abb. (Bd. 229.)
- Geisteskrankheiten. Von Anstaltsoberarzt Dr. G. Silber. (Bd. 151.)
- Genußmittel siehe Kaffee, Tee, Kakao, Tabak, Arzneimitteln u. Genußmittel.
- Geologie. Aus der Vorzeit der Erde. Von Prof. Dr. Fr. Frech. 2. Aufl.
Bd. I: Vulkane einst und jetzt. Mit 80 Abb. (Bd. 207.)
Bd. II: Gebirgsbau und Erdbeben. Mit 57 Abb. (Bd. 208.)
Bd. III: Die Arbeit des fließenden Wassers. Mit 51 Abb. (Bd. 209.)
Bd. IV: Die Arbeit des Ozeans und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen. Mit 1 Titelbild und 51 Abb. (Bd. 210.)
Bd. V: Kohlenbildung und Klima der Vorzeit. 49 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 211.)
Bd. VI: Gletscher einst und jetzt. Mit 1 Titelbild und 65 Abb. (Bd. 61.)
- Geschlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung und Verhütung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 4 Abb. und 1 Tafel. (Bd. 251.)
- Gesundheitslehre. Acht Vorträge aus der G. Von weil. Prof. Dr. S. Buchner. 4. Aufl. besorgt von Prof. Dr. M. von Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)
- Gesundheitslehre für Frauen. Von Prof. Dr. Dpiß. Mit Abb. (Bd. 171.)
- Getreidegräser siehe Kulturpflanzen.
- Graphische Darstellung. Die. Von Prof. Dr. F. Auerbach. (Bd. 437.)
- Handfeuerwaffen. Die. Ihre Entwicklung und Technik. Von Hauptmann R. Weiß. Mit 69 Abb. (Bd. 364.)
- Häuserbau siehe Baukunde, Heizung und Lüftung.
- Haustiere. Die Stammesgeschichte unserer S. Von Prof. Dr. E. Keller. Mit 28 Fig. (Bd. 252.)
- Hebezeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Geh. Bergrat Prof. R. Bate. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)
- Heilwissenschaft, Die moderne. Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernadi. Deutsch von Dr. S. Ebel. (Bd. 25.)
- Heizung und Lüftung. Von Ingenieur F. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. S. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
- Hüttenwesen siehe Eisenhüttenwesen.
- Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömer. 2. Aufl. (Bd. 199.)
- Infinitesimalrechnung. Einführung in die S. mit einer historischen Übersicht. Von Prof. Dr. G. Kowalewski. 2. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)
- Ingenieurtechnik. Bilder aus der S. Von Baurat R. Merkel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.)
- Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Geh. Regierungsrat M. Geitel. Mit Abb. (Bd. 28.)
- Kabel. Drähte und K., ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Telegrapheninspektor S. Brück. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
- Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narotischen Getränke. Von Prof. Dr. A. Wiewer. Mit 24 Abb. und 1 Karte. (Bd. 132.)
- Kälte, Die, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Bewertung. Von Dr. S. Alt. Mit 45 Abb. (Bd. 311.)
- Kinematographie. Von Dr. S. Lehmann. Mit 69 Abb. (Bd. 358.)
- Klein- und Straßenbahnen. Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
- Kohlen. Unsere. Von Bergassessor B. Kuf. Mit 60 Abb. (Bd. 396.)
- Kolonialbotanik. Von Prof. Dr. F. Toller. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
- Korallen und andere gesteinsbildende Tiere. Von Prof. Dr. W. May. Mit 45 Abb. (Bd. 321.)
- Kraftanlagen siehe Feuerungsanlagen und Dampfkessel, Elektr. Kraftübertragung, Dampfmaschine, Wärmekraftmaschine.
- Kraftmaschinen siehe Wärmekraftmaschine, Wasserkraftmaschine.
- Kraftübertragung, Die elektrische. Von Ingenieur B. Köhn. Mit Abb. (Bd. 424.)
- Krankenpflege. Von Chefarzt Dr. B. Seif. (Bd. 152.)
- Kriegsschiff, Das. Von Geh. Marinebau- rat Prieger. Mit 60 Abb. (Bd. 389.)
- Küche siehe Chemie in Küche und Haus.
- Kulturpflanzen. Unsere wichtigsten K. (Die Getreidegräser). Von Prof. Dr. R. Giesenhagen. 2. Aufl. Mit 38 Fig. (Bd. 10.)

- Landwirtschaftliche Maschinenkunde.** Von Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abb. (Bd. 316.)
- Lebewesen. Die Beziehungen der L. zueinander.** Von Prof. Dr. R. Kraepelin. Mit Abb.
 — I. Der Tiere zueinander. (Bd. 426.)
 — II. Der Pflanzen zueinander und zu den Tieren. (Bd. 427.)
 — siehe Organismen, Biologie.
- Leibesübungen, Die, und ihre Bedeutung für die Gesundheit.** Von Prof. Dr. R. Zander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)
- Licht, Das, und die Farben.** Von Prof. Dr. L. Graëtz. 3. Aufl. Mit 117 Abb. (Bd. 17.)
- Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimentalchemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. 4. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)
- Luftfahrt, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung.** Von Dr. R. Rimsühr. 3. Aufl. von Dr. Fr. Suth. Mit zahlr. Abb. (Bd. 300.)
- Luftstickstoff, Der, und seine Verwertung.** Von Prof. Dr. R. Kaiser. Mit 13 Abb. (Bd. 313.)
- Lüftung, Heizung und L.** Von Ingenieur J. E. Maher. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Maschinen** siehe Hebezeuge, Dampfmaschine, Wärmekraftmaschine, Wasserkraftmaschine und die folg. Bände.
- Maschinenelemente.** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)
- Maschinenkunde** siehe Landwirtschaftl. Maschinenkunde.
- Mäße und Messen.** Von Dr. W. Bloch. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)
- Mathematik, Praktische.** Von Dr. R. Neundorff. I. Teil: Graphisches u. numerisches Rechnen. Mit 62 Fig. u. 1 Tafel. (Bd. 341.)
- Mathematik, Naturwissenschaften und M. im klassischen Altertum.** Von Prof. Dr. Joh. L. Heiberg. (Bd. 370.)
- Mathematische Spiele.** Von Dr. W. Ahrens. 2. Aufl. Mit 70 Fig. (Bd. 170.)
- Mechanik.** Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Fhering. 2 Bde.
 Bd. I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. (Bd. 303.)
 Bd. II: Die Mechanik der flüssigen Körper. Mit 34 Abb. (Bd. 304.)
- Meeresforschung und Meeresleben.** Von Dr. D. Fanson. 3. Aufl. Mit 41 Fig. (Bd. 30.)
- Mensch. Entwicklungsgeschichte des M.** Von Dr. A. Heilborn. Mit Abb. (Bd. 388.)
- Mensch der Urzeit, Der, vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechtes.** Von Dr. A. Heilborn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)
- Mensch, Der vorgeschichtliche, siehe Eiszeit.**
- Mensch und Erde.** Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil. Prof. Dr. A. Kirchhoff. 3. Aufl. (Bd. 31.)
- Mensch und Tier. Der Kampf zwischen Mensch und Tier.** Von Prof. Dr. R. Edstein. 2. Aufl. Mit 51 Fig. (Bd. 18.)
- Menschlicher Körper. Bau und Tätigkeit des menschl. K.** Von Prof. Dr. S. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)
 — siehe auch Anatomie, Blut, Herz, Nervensystem, Sinne, Verbildungen.
- Metalle, Die.** Von Prof. Dr. R. Scheid. 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)
- Mikroskop, Das, seine Optik, Geschichte und Anwendung.** Von Dr. Scheffer. 2. Aufl. Mit 66 Abb. (Bd. 35.)
- Milch, Die, und ihre Produkte.** Von Dr. A. Reib. Mit 16 Abb. (Bd. 362.)
- Moleküle — Atome — Weltäther.** Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)
- Mond, Der.** Von Prof. Dr. J. Franz. Mit 31 Abb. (Bd. 90.)
- Naturlehre. Die Grundbegriffe der modernen N.** Von Prof. Dr. F. Auerbach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)
- Naturstoffe. Künstliche Darstellung von N.** Von Prof. Dr. E. Rüst. Mit Abb. (Bd. 457.)
- Naturwissenschaften im Haushalt.** Von Dr. J. Bongardt. 2 Bde.
 I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb. (Bd. 125.)
 II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abb. (Bd. 126.)
- Naturwissenschaften und Mathematik im klassischen Altertum.** Von Prof. Dr. Joh. L. Heiberg. (Bd. 370.)
- Naturwissenschaft und Religion. N. und M. in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick.** Von Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)
- Naturwissenschaften und Technik. Am saulenden Webstuhl der Zeit, übersicht über Wirkungen der Entwicklung der N. und T. auf das gesamte Kulturleben.** Von Prof. Dr. W. Saunhardt. 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 23.)
- Nautik.** Von Dir. Dr. J. Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)
- Nerven. Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande.** Von Prof. Dr. R. Zander. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.)
- Obstbau.** Von Dr. E. Voges. Mit 13 Abb. (Bd. 107.)
- Optik** siehe Auge, Brille, Licht u. Farbe, Mikroskop, Spektroskopie, Stereoskop, Strahlen.

- Optischen Instrumente, Die.** Von Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)
- Organismen, Die Welt der D.** In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt. Von Prof. Dr. R. Lampert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)
- siehe Lebewesen.
- Patente und Patentrecht** siehe Abtlg. Recht. (Gewerbl. Rechtsschutz).
- Pflanzen, Das Werden und Vergehen der Pfl.** Von Prof. Dr. P. Gisevius. Mit 24 Abb. (Bd. 173.)
- Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.)
- Die fleischfressenden Pflanzen. Von Dr. A. Wagner. Mit 82 Abb. (Bd. 344.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. U. Dammmer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Zimmer. Von Prof. Dr. U. Dammmer. Mit 65 Abb. (Bd. 359.)
- siehe auch Lebewesen.
- Pflanzen- und Tierstoffe, Natürliche und künstliche.** Von Dr. B. Bavinck. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)
- Pflanzenwelt des Mikroskops, Die.** Von Bürgerschullehrer E. Neukauf. Mit 100 Abb. (Bd. 181.)
- Photochemie.** Von Prof. Dr. G. Kümmerell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)
- Photographie, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre Anwendung.** Von Dr. D. Prelinger. Mit Abb. (Bd. 414.)
- Photographie, Die künstlerische.** Von Dr. W. Warstat. Mit Bilderanhang (12 Tafeln). (Bd. 410.)
- Physik, Werdegang der modernen Ph.** Von Dr. S. Keller. Mit 13 Fig. (Bd. 343.)
- Einleitung in die Experimentalphysik. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 90 Abb. (Bd. 371.)
- Physiker, Die großen Ph. und ihre Leistungen.** Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)
- Pilze, Die.** Von Dr. A. Eichinger. Mit 54 Abb. (Bd. 334.)
- Planeten, Die.** Von Prof. Dr. W. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.)
- Planimetrie zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Crank. Mit 99 Fig. (Bd. 340.)
- Radium und Radioaktivität.** Von Dr. M. Centnerszwer. 33 Abb. (Bd. 405.)
- Salzlagertstätten, Die.** Von Dr. C. Riemann. (Bd. 407.)
- Säugling, Der, seine Ernährung und seine Pflege.** Von Dr. W. Raupe. Mit 17 Abb. (Bd. 154.)
- Schachspiel, Das, und seine strategischen Prinzipien.** Von Dr. M. Lange. 2. Aufl. Mit den Bildnissen E. Gaskers und B. Morphhs, 1 Schachbretttafel u. 43 Darst. von Übungsbeispielen. (Bd. 281.)
- Schiffbau** siehe Kriegsschiff.
- Schiffahrt** siehe Nautik und Abt. Wirtschaft.
- Schmucksteine, Die, und die Schmuckstein-Industrie.** Von Dr. A. Eppler. Mit 64 Abb. (Bd. 376.)
- Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 43 Fig. (Bd. 96.)
- Sinne des Menschen, Die fünf.** Von Prof. Dr. F. R. Kreibitz. 2. Aufl. Mit 39 Abb. (Bd. 27.)
- Spektroskopie.** Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)
- Spinnerei.** Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abb. (Bd. 338.)
- Sprengstoffe, Chemie und Technologie der Spr.** Von Prof. Dr. R. Fiedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Stereoskop, Das, und seine Anwendungen.** Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. und 19 Tafeln. (Bd. 135.)
- Sonne, Die.** Von Dr. A. Frause. Mit 64 Abb. im Text u. auf 1 Buntdrucktafel. (Bd. 357.)
- Stimme, Die menschliche St. und ihre Hygiene.** Von Prof. Dr. P. S. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)
- Strahlen, Sichtbare und unsichtbare.** Von Prof. Dr. R. Börnstein und Prof. Dr. W. Markwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)
- Strassenbahnen, Die Klein- und Strassenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
- Suggestion, Hypnotismus und Suggestion.** V. Dr. E. Trömmner. 2. Aufl. (Bd. 199.)
- Süßwasser-Plankton, Das.** Von Prof. Dr. D. Zacharias. 2. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 156.)
- Tabak, Der, in Landwirtschaft, Handel und Industrie.** Mit Abb. Von Jac. Wolf. (Bd. 416.)
- Tea, Kaffee, Tee, Kalao und die übrigen narkotischen Getränke.** Von Prof. Dr. A. Winter. Mit 24 Abb. und 1 Karte. (Bd. 132.)
- Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** Von Telegrapheninspektor S. Fried. Mit 58 Abb. (Bd. 235.)
- Die Funkentelegraphie. Von Oberpostpraktikant S. Thurn. Mit 53 Illustr. 2. Aufl. (Bd. 167.)
- siehe auch Drähte und Kabel.
- Tiere der Vorzeit.** Von Prof. Dr. D. Abel. Mit Abb. (Bd. 399.)

- Tierkunde.** Eine Einführung in die Zoologie. Von weil. Privatdozent Dr. R. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)
 — Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Prof. Dr. D. Maas. Mit 11 Karten und Abb. (Bd. 139.)
 — Zweigestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. Fr. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)
 — siehe auch Lebewesen.
- Tierwelt des Mikroskops (die Urtiere).** Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 39 Abb. (Bd. 160.)
- Tierzüchtung.** Von Dr. G. Wilzbort. Mit 30 Abb. auf 12 Tafeln. (Bd. 369.)
 — Die Fortpflanzung der Tiere. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
- Trigonometrie, Ebene, zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Crank. Mit 50 Fig. (Bd. 431.)
- Tuberkulose, Die, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung.** Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 1 Tafel u. 8 Fig. (Bd. 47.)
- Uhr, Die.** Von Reg.-Bauführer a. D. H. Bod. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)
- Verbildungen, Körperliche, im Kindesalter und ihre Verhütung.** Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)
- Vererbung, Experimentelle Abstammungs- und Vererbungslehre.** Von Dr. S. Lehmann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.)
- Vogelleben, Deutsches.** Von Prof. Dr. U. Voigt. (Bd. 221.)
- Vogelzug und Vogelschutz.** Von Dr. W. R. Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)
- Vollnahrungsmittel** siehe Ernährung u. V.
- Wald, Der deutsche.** Von Prof. Dr. S. Hausrat. 2. Aufl. Mit 15 Abb. und 2 Karten. (Bd. 153.)
- Wärme, Die Lehre von der W.** Von Prof. Dr. R. Bornstein. Mit 33 Abb. (Bd. 172.)
 — siehe auch Luft, Wasser, Licht, Wärme.
- Wärmekraftmaschinen, Die neueren.** 2 Bde.
 I: Einführung in die Theorie und den Bau der Maschinen für gasförmige und flüssige Brennstoffe. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 4. Aufl. Mit 33 Abb. (Bd. 21.)
 — II: Gasmaschinen, Gas- und Dampfturbinen. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)
 — siehe auch Kraftanlagen.
- Wasser, Das.** Von Privatdozent Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)
 — siehe auch Luft, Wasser, Licht, Wärme.
- Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte.** Von Geh. Reg.-Rat A. v. Thering. 2. Aufl. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)
- Weinbau und Weinbereitung.** Von Dr. F. Schmittbener. 34 Abb. (Bd. 332.)
- Weltall, Der Bau des W.** Von Prof. Dr. J. Scheiner. 4. Aufl. Mit 26 Fig. (Bd. 24.)
- Weltäther** siehe Moleküle.
- Weltbild, Das astronomische W. im Wandel der Zeit.** Von Prof. Dr. S. Oppenheim. 2. Aufl. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)
- Weltentstehung, Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft.** Von Prof. Dr. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)
- Wetter, Gut und schlecht.** Von Dr. R. Hennig. Mit 46 Abb. (Bd. 349.)
- Wind und Wetter.** Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit 28 Figuren und 3 Tafeln. (Bd. 55.)
- Wirbeltiere, Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der W.** Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)
- Wohnhaus** siehe Baukunde.
Zahnheilkunde siehe Gebiß.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

DIE KULTUR DER GEGENWART

== IHRE ENTWICKLUNG UND IHRE ZIELE ==

HERAUSGEGEBEN VON PROF. PAUL HINNEBERG

Eine systematisch aufgebaute, geschichtlich begründete Gesamtdarstellung unserer heutigen Kultur, welche die Fundamentalergebnisse der einzelnen Kulturgebiete nach ihrer Bedeutung für die gesamte Kultur der Gegenwart und für deren Weiterentwicklung in großen Zügen zur Darstellung bringt. Das Werk vereinigt eine Zahl erster Namen aus Wissenschaft und Praxis und bietet Darstellungen der einzelnen Gebiete jeweils aus der Feder des dazu Berufensten in gemeinverständlicher, künstlerisch gewählter Sprache auf knappstem Raume. Jeder Band ist inhaltlich vollständig in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

*) Jeder Band kostet in Leinw. geb. M. 2.—, in Halbf. geb. M. 4.— mehr.

TEIL I u. II: Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete.

Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Gegenwart.

Geh.*) M. 18.—. [2. Aufl. 1912. Teil I, Abt. 1.]

Inhalt: Das Wesen der Kultur: W. Lexis. — Das moderne Bildungswesen: Fr. Paulsen †. — Die wichtigsten Bildungsmittel. A. Schulen und Hochschulen. Das Volksschulwesen: G. Schöppa. Das höhere Knabenschulwesen: A. Matthias. Das höhere Mädchenschulwesen: H. Gaudig. Das Fach- und Fortbildungsschulwesen: G. Kerschensteiner. Die geisteswissenschaftliche Hochschulausbildung: Fr. Paulsen †. Die mathematische, naturwissenschaftliche Hochschulausbildung: W. v. Dyck. B. Museen. Kunst- und Kunstgewerbemuseen: L. Pallat. Naturwissenschaftliche Museen: K. Kraepelin. Technische Museen: W. v. Dyck. C. Ausstellungen. Kunst- u. Kunstgewerbeausstellungen: J. Lessing †. Naturwissensch. - techn. Ausstellungen: O. N. Witt. D. Die Musik: G. Göhler. E. Das Theater: P. Schlenther. F. Das Zeitungswesen: K. Bücher. G. Das Buch: R. Pietschmann. H. Die Bibliotheken: F. Milkau. — Organisation der Wissenschaft: H. Diels.

Die Religionen des Orients und die altgermanische Religion.

Geh.*) M. 8.—. [2. Aufl. 1913. Teil I, Abt. 3, I.]

Inhalt: Die Anfänge der Religion und die Religion der primitiven Völker: Edv. Lehmann. — Die ägyptische Religion: A. Erman. — Die asiatischen Religionen: Die babylonisch-assyrische Religion: C. Bezold. — Die indische Religion: H. Oldenberg. — Die iranische Religion: H. Oldenberg. — Die Religion des Islams: J. Goldziher. — Der Lamaismus: A. Grünwedel. — Die Religionen der Chinesen: J. J. M. de Groot. — Die Religionen der Japaner: a) Der Shintoismus: K. Florenz, b) Der Buddhismus: H. Haas. — Die orientalischen Religionen in ihrem Einfluß auf den Westen im Altertum: Fr. Cumont. — Altgermanische Religion: A. Heusler.

Geschichte der christl. Religion. M. 18.—*). [2. A. 1909. T. I, 4, I.]

Inhalt: Die israelitisch-jüdische Religion: J. Wellhausen. — Die Religion Jesu und die Anfänge des Christentums bis zum Nicaenum (325): A. Jülicher. — Kirche und Staat bis zur Gründung der Staatskirche: A. Harnack. — Griechisch-orthodoxes Christentum und Kirche in Mittelalter und Neuzeit: N. Bonwetsch. — Christentum und Kirche Westeuropas im Mittelalter: K. Müller. — Katholisches Christentum und Kirche in der Neuzeit: A. Ehrhard. — Protestantisches Christentum und Kirche in der Neuzeit: E. Troeltsch.

Systemat. christl. Religion. M. 6.60*). [2. A. 1909. Teil I, 4, II.]

Inhalt: Wesen der Religion u. der Religionswissenschaft: E. Troeltsch. — Christlich-katholische Dogmatik: J. Pohle. — Christlich-katholische Ethik: J. Mausbach. — Christlich-katholische praktische Theologie: C. Krieg. — Christlich-protestantische Dogmatik: W. Herrmann. — Christlich-protestantische Ethik: R. Seeberg. — Christlich-protestantische praktische Theologie: W. Faber. — Die Zukunftsaufgaben der Religion und der Religionswissenschaft: H. J. Holtzmann.

Allgemeine Geschichte der Philosophie. Geh.*) M. 14.—.

[2. Auflage 1913. Teil I, Abt. 5.]

Inhalt. Einleitung. Die Anfänge der Philosophie und die Philosophie der primitiven Völker: W. Wundt. I. Die indische Philosophie: H. Oldenberg. II. Die islamische und jüdische Philosophie: J. Goldziher. III. Die chinesische Philosophie: W. Grube. IV. Die japanische Philosophie: T. Jnouye. V. Die europäische Philosophie des Altertums: H. v. Arnim. VI. Die patristische Philosophie: Cl. Bäumker. VII. Die europäische Philosophie des Mittelalters: Cl. Bäumker. VIII. Die neuere Philosophie: W. Windelband.

Systemat. Philosophie. Geh.)* M. 10.—. [2. Aufl. 1908. T. I, 6.]

Inhalt. Allgemeines. Das Wesen der Philosophie: W. Dilthey. — Die einzelnen Teilgebiete. I. Logik und Erkenntnistheorie: A. Riehl. II. Metaphysik: W. Wundt. III. Naturphilosophie: W. Ostwald. IV. Psychologie: H. Ebbinghaus. V. Philosophie der Geschichte: R. Eucken. VI. Ethik: Fr. Paulsen. VII. Pädagogik: W. Münch. VIII. Ästhetik: Th. Lipps. — Die Zukunftsaufgaben der Philosophie: Fr. Paulsen.

Die oriental. Literaturen. Geh.)* M. 10.—. [1906. Teil I, Abt. 7.]

Inhalt. Die Anfänge der Literatur und die Literatur der primitiven Völker: E. Schmidt. — Die ägyptische Literatur: A. Erman. — Die babylonisch-assyrische Literatur: C. Bezold. — Die israelitische Literatur: H. Gunkel. — Die aramäische Literatur: Th. Nöldeke. — Die äthiop. Literatur: Th. Nöldeke. — Die arab. Literatur: M. J. de Goeje. — Die ind. Literatur: R. Pischel. — Die altpers. Literatur: K. Geldner. — Die mittelpers. Literatur: P. Horn. — Die neupers. Literatur: P. Horn. — Die türkische Literatur: P. Horn. — Die armenische Literatur: F. N. Finck. — Die georg. Literatur: F. N. Finck. — Die chines. Literatur: W. Grube. — Die japan. Literatur: K. Florenz.

Die griechische und lateinische Literatur und Sprache. Geh.)*

M. 12.—. [3. Auflage. 1912. Teil I, Abt. 8.]

Inhalt: I. Die griechische Literatur und Sprache: Die griech. Literatur des Altertums: U. v. Wilamowitz-Moellendorff. — Die griech. Literatur des Mittelalters: K. Krumbacher. — Die griech. Sprache: J. Wackernagel. — II. Die lateinische Literatur und Sprache: Die römische Literatur des Altertums: Fr. Leo. — Die latein. Literatur im Übergang vom Altertum zum Mittelalter: E. Norden. — Die latein. Sprache: F. Skutsch.

Die osteuropäischen Literaturen u. die slawischen Sprachen.

Geh.)* M. 10.—. [1908. Teil I, Abt. 9.]

Inhalt: Die slawischen Sprachen: V. v. Jagić. — Die slawischen Literaturen. I. Die russische Literatur: A. Wesselovsky. — II. Die poln. Literatur: A. Brückner. III. Die böhm. Literatur: J. Máchal. IV. Die südslaw. Literaturen: M. Murko. — Die neugriech. Literatur: A. Thumb. — Die finnisch-ugr. Literaturen. I. Die ungar. Literatur: F. Riedl. II. Die finn. Literatur: E. Setälä. III. Die estn. Literatur: G. Suits. — Die litauisch-lett. Literaturen. I. Die lit. Literatur: A. Bezenberger. II. Die lett. Literatur: E. Wolter.

Die romanischen Literaturen und Sprachen. Mit Einschluß des Keltischen. Geh.)* M. 12.—. [1908. Teil I, Abt. 11, I.]

Inhalt: I. Die kelt. Literaturen. 1. Sprache u. Literatur im allgemeinen: H. Zimmer. 2. Die einzelnen kelt. Literaturen. a) Die ir.-gäl. Literatur: K. Meyer. b) Die schott.-gäl. u. die Manx-Literatur. c) Die kymr. (walis.) Literatur. d) Die korn. u. die breton. Literatur: L. Ch. Stern. II. Die roman. Literaturen: H. Morf. III. Die roman. Sprachen: W. Meyer-Lübke.

Allgemeine Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte. I. Hälfte.

Geh.)* M. 10.—. [1911. Teil II, Abt. 2, I.]

Inhalt: Einleitung. Die Anfänge der Verfassung und der Verwaltung und die Verfassung und Verwaltung der primitiven Völker: A. Vierkandt. A. Die orientalische Verfassung und Verwaltung: 1. des orientalischen Altertums: L. Wenger, 2. des Islams: M. Hartmann, 3. Chinas: O. Franke, 4. Japans: K. Rathgen. — B. Die europäische Verfassung und Verwaltung (1. Hälfte): 1. des europäischen Altertums: L. Wenger, 2. der Germanen und des Deutschen Reiches bis zum Jahre 1806: A. Luschin v. Ebengreuth.

Staat u. Gesellschaft d. Griechen u. Römer. M. 8.—*). [1910. II, 4, I.]

Inhalt: I. Staat und Gesellschaft der Griechen: U. v. Wilamowitz-Moellendorff — II. Staat und Gesellschaft der Römer: B. Niese.

Staat u. Gesellschaft d. neueren Zeit. M. 9.—*). [1908. Teil II, 5, I.]

Inhalt: I. Reformationszeitalter. a) Staatensystem und Machtverschiebungen. b) Der moderne Staat und die Reformation. c) Die gesellschaftlichen Wandlungen und die neue Geisteskultur: F. v. Bezold. — II. Zeitalter der Gegenreformation: E. Gothein. — III. Zur Höhezeit des Absolutismus. a) Tendenzen, Erfolge und Niederlagen des Absolutismus. b) Zustände der Gesellschaft. c) Abwandlungen des europäischen Staatensystems: R. Koser.

Allgem. Rechtsgeschichte. [1913. Teil II, Abt. 7, I. Unt. d. Presse.]

Inhalt: Die Anfänge des Rechts: J. Kohler — Orientalisches Recht im Altertum: L. Wenger. — Europäisches Recht im Altertum: L. Wenger.

Systematische Rechtswissenschaft. Geh.)* ca. M. 14.—. [2. Auflage 1913. Unter der Presse. Teil II, Abt. 8.]

Inhalt: I. Wesen des Rechtes und der Rechtswissenschaft: R. Stammler. II. Die einzelnen Teilgebiete: A. Privatrecht. Bürgerliches Recht: R. Sohm. — Handels- und Wechselrecht: K. Gareis. — Internationales Privatrecht: L. v. Bar. B. Zivilprozeßrecht: L. v. Seuffert. C. Strafrecht u. Strafprozeßrecht: F. v. Liszt. D. Kirchenrecht: W. Kahl. E. Staatsrecht: P. Laband. F. Verwaltungsrecht. Justiz und Verwaltung: G. Anschütz — Polizei- und Kulturpflege: E. Bernatzik. G. Völkerrecht: F. von Martitz. III. Die Zukunftsaufgaben des Rechtes und der Rechtswissenschaft: R. Stammler.

Allgemeine Volkswirtschaftslehre. Von W. Lexis. Geh.)* M. 7.—, [2. Auflage. 1913. Teil II, Abt. 10, I.]

TEIL III: Die mathematischen, naturwissenschaftlichen und medizinischen Kulturgebiete.

Die Mathematik im Altertum und im Mittelalter: H. G. Zeuthen. Geh. M. 3.—. [1912. Abt. I. Lfrg. 1.]

Chemie einschl. Kristallographie u. Mineralogie. Bandredakt.: E. v. Meyer u. F. Rinne. Mit Abb. Geh.)* M. 18.—. [1913. Abt. III., 2.]

Inhalt: Entwicklung der Chemie von Robert Boyle bis Lavoisier [1660—1793]: E. v. Meyer. — Die Entwicklung der Chemie im 19. Jahrhundert durch Begründung und Ausbau der Atomtheorie: E. v. Meyer. — Anorganische Chemie: C. Engler und L. Wöhler. — Organische Chemie: O. Wallach. — Physikalische Chemie: R. Luther und W. Nernst. — Photochemie: R. Luther. — Elektrochemie: M. Le Blanc. — Beziehungen der Chemie zur Physiologie: A. Kossel. — Beziehungen der Chemie zum Ackerbau: † O. Kellner und R. Immendorf. — Wechselwirkungen zwischen der chemischen Technik: O. Witt. — Kristallographie und Mineralogie: Fr. Rinne.

Zellen- u. Gewebelehre, Morphologie u. Entwicklungsgesch.

1. Botan. Teil. Mit Abb. Geh.)* M. 10.—. [1913. Abt. IV., Bd. 2, I.]

2. Zoolog. Teil. Mit Abb. Geh.)* M. 16.—. [1913. Abt. IV., Bd. 2, II.]

Inhalt des botanischen Teils (Bandred. E. Strasburger): Pflanzl. Zellen- und Gewebelehre: E. Strasburger. — Morphologie und Entwicklungsgeschichte der Pflanzen: W. Bencke.

Inhalt des zoologischen Teils (Bandred. O. Hertwig): Die einzelligen Organismen: R. Hertwig. — Zellen und Gewebe des Tierkörpers: H. Poll. — Allgemeine und experimentelle Morphologie und Entwicklungslehre der Tiere: O. Hertwig. — Entwicklungsgeschichte und Morphologie der Wirbellosen: K. Heider. — Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere: F. Keibel. — Morphologie der Wirbeltiere: E. Gaupp.

Unter der Presse befinden sich:

Abt. I, Lfrg. 2: Die Beziehungen der Mathematik zur allgemeinen Kultur: A. Voß. — Mathematik und Philosophie: A. Voß. — Lfrg. 3: Die Verbreitung mathemat. Auffassungen und Kenntnisse: H. E. Timerding. Abt. III, 1: Physik. Bandred.: E. Warburg.

Bd. 3: **Astronomie.** Bandred.: J. Hartmann. Abt. IV, Bd. 4: **Abstammungslehre, Systematik, Paläontologie, Biogeographie.** Bandredakt.: R. v. Hertwig u. R. v. Wettstein. Abt. VII, Band 1: **Naturphilosophie.** Bandredakt.: C. Stumpf. Bearb. von E. Becher.

TEIL IV: Die technischen Kulturgebiete.

Technik d. Kriegswesens. Mit Abb. Geh.)* M. 24.—. [1913. Bd. 1 2.]

Inhalt (Bandredakt. M. Schwarte): Kriegsvorbereitung, Kriegsführung: M. Schwarte. — Waffentechnik, a) in ihren Beziehungen zur Chemie: O. Poppenberg; b) in ihren Beziehungen z. Metallurgie: W. Schwinning; c) in ihren Bezieh. z. Konstruktionslehre: W. Schwinning; — d) in ihren Beziehungen zur optischen Technik: O. von Eberhard; e) in ihren Beziehungen zur Physik und Mathematik: O. Becker. — Technik des Befestigungswesens: J. Schröter. — Kriegsschiffbau: O. Kretschmer. — Vorbereitung für den Seekrieg u. Seekriegsführung: M. Glatzel. — Einfluß d. Kriegswesens auf die Gesamtkultur: A. Kersting.

Probeheft mit Inhaltsübersicht des Gesamtwerkes, mit Probeabschnitten, Resümees, Inhaltsverzeichnissen und Besprechungen der Bände steht umsonst zur Verfügung bei B. G. TEUBNER, Leipzig, Poststraße 3.

Schaffen und Schauen

Zweite Auflage **Ein Führer ins Leben** Zweite Auflage

1. Band:

Von deutscher Art
und Arbeit



2. Band:

Des Menschen Sein
und Werden

Unter Mitwirkung von

R. Büfner · J. Cohn · H. Dade · R. Deutsch · A. Dominicus · K. Dove · E. Fuchs
P. Klopfer · E. Koerber · O. Lyon · E. Maier · Gustav Maier · E. v. Malkahn
† A. v. Reinhardt · F. A. Schmidt · O. Schnabel · G. Schwamborn
G. Steinhausen · E. Teichmann · A. Thimm · E. Wentscher · A. Witting
G. Wolff · Th. Zielinski · Mit 8 allegorischen Zeichnungen von Alois Kolb

Jeder Band in Leinwand gebunden M. 5.—

Nach übereinstimmendem Urteile von Männern des öffentlichen Lebens und der Schule, von Zeitungen und Zeitschriften der verschiedensten Richtungen löst „Schaffen und Schauen“ in erfolgreichster Weise die Aufgabe, die deutsche Jugend in die Wirklichkeit des Lebens einzuführen und sie doch in idealem Lichte sehen zu lehren.

Bei der Wahl des Berufes hat sich „Schaffen und Schauen“ als ein weitblickender Berater bewährt, der einen Überblick gewinnen läßt über all die Kräfte, die das Leben unseres Volkes und des Einzelnen in Staat, Wirtschaft und Technik, in Wissenschaft, Weltanschauung und Kunst bestimmen.

Zu tüchtigen Bürgern unsere gebildete deutsche Jugend werden zu lassen, kann „Schaffen und Schauen“ helfen, weil es nicht Kenntnis der Formen, sondern Einblick in das Wesen und Einsicht in die inneren Zusammenhänge unseres nationalen Lebens gibt und zeigt, wie mit ihm das Leben des Einzelnen aufs engste verflochten ist.

Im ersten Bande werden das deutsche Land als Boden deutscher Kultur, das deutsche Volk in seiner Eigenart, das Deutsche Reich in seinem Werden, die deutsche Volkswirtschaft nach ihren Grundlagen und in ihren wichtigsten Zweigen, der Staat und seine Aufgaben, für Wehr und Recht, für Bildung wie für Förderung und Ordnung des sozialen Lebens zu sorgen, die bedeutsamsten wirtschaftspolitischen Fragen und die wesentlichsten staatsbürgerlichen Bestrebungen, endlich die wichtigsten Berufsarten behandelt.

Im zweiten Bande werden erörtert die Stellung des Menschen in der Natur, die Grundbedingungen und Äußerungen seines irdischen und seines geistigen Daseins, das Werden unserer geistigen Kultur, Wesen und Aufgaben der wissenschaftlichen Forschung im Allgemeinen wie der Geistes- und Naturwissenschaften im besonderen, die Bedeutung der Philosophie, Religion und Kunst als Erfüllung tiefwurzelnder menschlicher Lebensbedürfnisse und endlich zusammenfassend die Gestaltung der Lebensführung auf den in dem Werke dargestellten Grundlagen.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Dr. R. Hesse

und

Dr. S. Doflein

Professor an der Landwirtschaftlichen
Hochschule in Berlin

Professor der Zoologie an der Universität
Freiburg i. Br.

Tierbau und Tierleben in ihrem Zusammenhang betrachtet

2 Bände. Leg.-8.

Mit Abbildungen und Tafeln in Schwarz-, Bunt- und Lichtdruck.

In Original-Ganzleinen geb. je M. 20.—,
in Original-Halbfranz je M. 22.—

I. Band. **Der Tierkörper als selbständiger Organismus.**
Von R. Hesse. Mit 480 Abbild. u. 15 Tafeln. [XVII u. 789 S.] 1910.

II. Band. **Das Tier als Glied des Naturganzen.** Von S. Doflein.
Mit ca. 500 Abbild., 8 farbigen und zahlr. schwarzen Tafeln.
[Unter der Presse.]

Aus den Besprechungen:

„Der wissenschaftliche Charakter des Werkes und die ruhige, sachliche Darstellung, die sich von allen phantastischen Abschweifungen, wie sie in der gegenwärtigen biologischen Literatur so häufig sind, freihält, verdienen volle Anerkennung. Dabei ist das Werk so klar und populär geschrieben, daß sich auf den Leser unwillkürlich die Liebe des Verfassers zu seinem Gegenstande überträgt und er sich ohne Mühe auch zu den verwickelten Einzelfragen führen läßt. Eine ungewöhnlich große Anzahl von Abbildungen erleichtert das Verständnis und bildet nicht nur einen Schmuck, sondern einen wesentlichen Bestandteil des ausgezeichneten Buches.“
(Deutsche Rundschau.)

„Man wird dieses groß angelegte, prächtig ausgestattete Werk, das einem wirklichen Bedürfnis entspricht, mit einem Gefühl hoher Befriedigung durchgehen. Es ist wieder einmal eine tüchtige und originelle Leistung. . . . Eine Zierde unserer naturwissenschaftlichen Literatur. . . . Es wird rasch seinen Weg machen. Wir können es seiner Originalität und seiner Vorzüge wegen dem gebildeten Publikum nur warm empfehlen. Ganz besonders aber begrüßen wir sein Erscheinen im Interesse des naturgeschichtlichen Unterrichts.“ (Prof. C. Keller in der „Neuen Zürcher Zeitung“.)

„. . . Der erste Band von R. Hesse liegt vor, in prächtiger Ausstattung und mit so gediegenem Inhalt, daß wir dem Verfasser für die Bewältigung seiner schwierigen Aufgabe aufrichtig dankbar sind. Jeder Zoologe und jeder Freund der Tierwelt wird dieses Werk mit Vergnügen studieren, denn die moderne zoologische Literatur weist kein Werk auf, welches in dieser großzügigen Weise alle Seiten des tierischen Organismus so eingehend behandelt. Hesses Werk wird sich bald einen Ehrenplatz in jeder biologischen Bibliothek erobern.“ (L. Plate im Archiv f. Rassen- u. Gesellschafts-Biologie.)

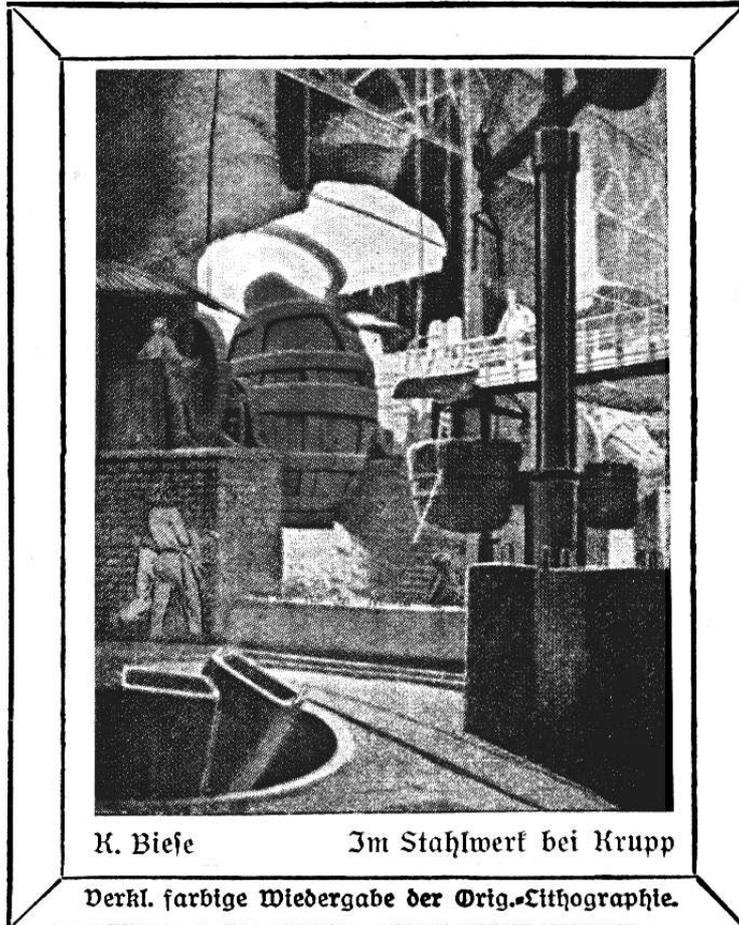
„Ein in jeder Hinsicht ausgezeichnetes Werk. Es vereint sachliche, streng wissenschaftliche Behandlung des Gegenstandes mit klarer, jedem, der in rechter Mitarbeit an das Werk herantritt, verständlicher Darstellung. Jeder wird das Buch mit großem Gewinn und trotzdem großem Genuß lesen und Einblick in den Ernst der Wissenschaft gewinnen. Das schöne Werk darf als Muster volkstümlicher Behandlung wissenschaftlicher Probleme bezeichnet werden.“ (Lit. Jahresbericht des Dürerbundes.)

Ausführl. Prospekt vom Verlag B. G. Teubner in Leipzig

Künstlerischer Wandschmuck für das deutsche Haus

B. G. Teubners farbige Künstler-Steinzeichnungen

(Original-Lithographien) entsprechen allein vollwertig Original-Gemälden. Keine Reproduktion kann ihnen gleichkommen an künstlerischem Wert. Sie bilden den schönsten Zimmerschmuck und behaupten sich in vornehm ausgestatteten Räumen ebensogut, wie sie das einfachste Wohnzimmer schmücken.



K. Biese

Im Stahlwerk bei Krupp

Verkl. farbige Wiedergabe der Orig.-Lithographie.

„Von den Bilderunternehmungen der letzten Jahre, die der neuen ‚ästhetischen Bewegung‘ entsprungen sind, begrüßen wir eins mit ganz ungetrübter Freude: den ‚künstlerischen Wandschmuck für Schule und Haus‘, den die Firma B. G. Teubner in Leipzig herausgibt. Wir haben hier wirklich einmal ein aus warmer Liebe zur guten Sache mit rechtem Verständnis in ehrlichem Bemühen geschaffenes Unternehmen vor uns – fördern wir es, ihm und uns zu Nutz, nach Kräften!“ (Kunstwart.)

„... Es ist unseres Erachtens wertvoller, an dieser originalen Kunst sehen zu lernen, als an vielen hundert mittelmäßigen Reproduktionen das Auge zu verbilden und totes Wissen zu lernen, statt lebendige Kunst mitzuerleben.“ (Illustrierte Zeitung.)

Vollständiger Katalog der Künstler-Steinzeichnungen mit farbiger Wiedergabe von ca. 200 Blättern gegen Einsend. von 40 Pf. (Ausland 50 Pf.) vom Verlag B. G. Teubner, Leipzig, Poststr. 3