

Elektrotechnik. II.

(Elektrisches Licht und elektrische Bahnen.)

Von Ingenieur H. Blücher, Leipzig.

Unter allen Anwendungen, die der elektrische Strom gefunden hat, steht die *elektrische Beleuchtung* an Wichtigkeit obenan. Unbedingt an die zweite Stelle hat man die Bedeutung der Elektrizität zum Betriebe von Bahnen zu setzen, und zwar treten in neuerer Zeit zu den allorts betriebenen *elektrischen Straßenbahnen* in immer steigender Zahl auch *elektrische Fernbahnen* hinzu. Diese Umstände dürften es rechtfertigen, daß der elektrischen Beleuchtung und dem elektrischen Bahnbetrieb eine besondere Abteilung in diesem Werke zufällt.

A. Elektrisches Licht.

Eine Erzeugung von Licht durch elektrische Energie ist auf verschiedene Weise möglich. Entweder erhitzt der Strom gewisse Körper so hoch, daß sie Lichtstrahlen aussenden, oder die Lichterzeugung erfolgt durch andersartige Stromwirkung, ohne daß die lichtausstrahlenden Körper nennenswert erwärmt würden. Lichtquellen der ersteren Art nennt man *Temperaturleuchter*, solche der letzteren Art *Lumineszenzleuchter* oder *kalte Flammen*.

Lichtquellen, die auf Lumineszenz beruhen, sind z. B. die bekannten *Geißlerschen Röhren*. Auf demselben Prinzip beruht das sogenannte *Moore-Licht*, bei dem auch hochgespannte Elektrizität unter sehr niedrigem Druck stehende Gase zum Leuchten bringt. Obwohl das Moore-Licht nach vielen Versuchsjahren jetzt endlich Boden zu gewinnen scheint, ist seine praktische Bedeutung doch noch so gering, daß diese Beleuchtungsart hier nicht berücksichtigt ist.

Zu den elektrischen Temperaturleuchtern gehören die *Bogenlampen* und die *Glühlampen*. Eine besondere Art von Bogenlampen bildet die *Quecksilberdampf Lampe*, bei der die Elektroden nicht fest (Kohle), sondern flüssig (Quecksilber) sind. Übrigens sind die Quecksilberdampflampen keine reinen Temperaturleuchter, und dasselbe gilt von den sogenannten Effektbogenlampen, deren Kohlen Metallsalze beigemischt enthalten. Hier tritt außer dem Temperaturleuchten auch Lumineszenzleuchten auf.

I. Bogenlampen.

Unterbricht man eine vom elektrischen Strom durchflossene Drahtleitung, etwa mittels eines Ausschalters, so beobachtet man an der Öffnungsstelle des Stromkreises, d. h. zwischen den sich voneinander entfernenden Kontakten, einen *Funken*. Dieser ist um so länger, je höher die Spannung der Stromquelle ist; stehen die Kontakte einander sehr nahe, so bleibt er andauernd sichtbar. Hierzu ist aber nötig, daß die vorherigen Kontaktstellen immer in der gleichen Entfernung bleiben, d. h. man muß sie, weil sie unter der Stromwirkung schnell abschmelzen, fortwährend in gleichem Maß einander wieder nähern. Diese 1821 von Davy zuerst beobachtete Erscheinung nennt man *elektrischen Lichtbogen* oder *Davyschen Lichtbogen*. Zu seiner Entstehung

ist immer nötig, daß der Stromkreis zunächst geschlossen und dann erst an einer Stelle geöffnet wird, während die Stromquelle andauernd wirksam bleibt. Unter diesen Umständen kann der Lichtbogen zur Beleuchtung dienen; diese Beleuchtungsart nennt man *elektrisches Bogenlicht*, die Vorrichtungen zu ihrer Erzeugung *Bogenlampen*.

Als Körper, zwischen denen man in den Bogenlampen den Lichtbogen entstehen läßt (*Elektroden*), verwendet man *Kohlenstäbe*, und zwar teils solche aus gleichmäßig gepreßter harter Kohlenmasse (*Homogenkohlen*), teils solche aus einem festen Kohlenmantel mit lockerem, die elektrische Leitfähigkeit erhöhendem Kern oder „Docht“ (*Dochtkohlen*). Damit der Lichtbogen entsteht, muß bei dem kürzesten Lichtbogen (1 mm lang) bei Gleichstrom eine Spannung von mindestens 36 Volt, bei Wechselstrom eine solche von etwa 28 Volt vorhanden sein. Die nötige Spannung steigt mit der zunehmenden Länge des Bogens; sie beträgt z. B. bei einem 7—8 mm langen Lichtbogen mindestens 70 Volt. Am üblichsten sind Lichtbogen von 1—3 mm Länge. Die Temperatur des Lichtbogens liegt zwischen 2000 und 4000°; das hauptsächlich Leuchtende sind die weißglühenden Enden der Kohlenstäbe, nicht der eigentliche Flammenbogen zwischen ihnen.

Von den Kohlen fliegen glühende Kohleteilchen fort, jedoch ist bei Gleichstrom diese *Zerstäubung* nicht bei beiden Elektroden gleich, vielmehr bei der positiven Kohle viel stärker. Deshalb höhlt sich diese, die auch eine viel höhere Temperatur als die negative Kohle annimmt, kraterförmig aus, während sich die negative Elektrode zuspitzt (Fig. 463). Darum setzt man bei *Gleichstrombogenlampen* mit übereinanderstehenden Kohlen die positive nach oben, weil der Krater dann gewissermaßen als Reflektor wirkt und die größte Lichtmenge nach unten wirft. Da die positive Kohle schneller abbrennt als die negative, macht man sie dicker, damit beide Kohlenstäbe gleiche Länge haben. Als positive Kohle dient Dochkohle, als negative dagegen Homogenkohle. Beim Betriebe mit Wechselstrom brennen beide Kohlen gleichmäßig und spitz ab; man verwendet deshalb in *Wechselstrombogenlampen* Dochkohlen gleicher Stärke.

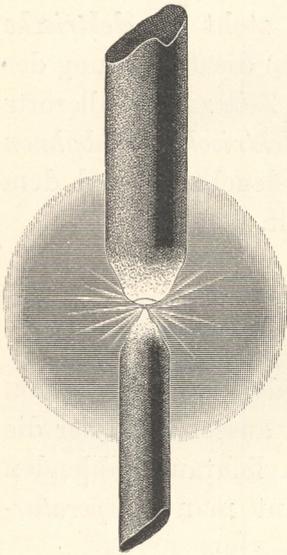


Fig. 463. Elektrischer Lichtbogen (Gleichstrom).

1. Regulierungsvorrichtungen.

Da die Elektroden beim Betriebe abbrennen, während andererseits der Lichtbogen nur bei einem bestimmten, geringen Abstand beider erhalten bleibt, muß jede Bogenlampe Vorrichtungen enthalten, durch die die Kohlen nachgeschoben und in passendem Abstand erhalten werden. Die Regulierung, die man dem Strome selbst überträgt, muß auch dafür sorgen, daß beim „Einschalten“ der Lampe beide Kohlen in Berührung kommen (oder daß sie sich außerhalb der Brennperiode überhaupt ständig berühren), weil dies und die erst nach Stromschluß erfolgende Entfernung der Kohlenspitzen voneinander nötig ist, um den Lichtbogen zu bilden. Weiter muß die Regelung etwaige Schwankungen in der Stromstärke ausgleichen, indem sie den Abstand der Kohlen, d. h. den Widerstand der Lampe, vergrößert, wenn der Strom zu stark wird; dagegen den Abstand verringert, wenn der Strom zu schwach wird. Die Regelung darf dabei nicht ruckweise erfolgen, was ein flackerndes Brennen und Zucken ergäbe, vielmehr muß die Kohlenbewegung ganz allmählich geschehen, dabei aber doch sofort auf alle Änderungsfaktoren reagieren.

Als Mittel zur Regulierung bedient man sich des Elektromagnetismus, und zwar im besondern der Tatsache, daß eine mit isolierten Drahtwindungen versehene Hohlspule (*Solenoid*) einen passenden Kern aus Weicheisen in ihr Inneres hineinzieht, wenn die Drahtwindungen vom Strom durchflossen werden. Nach der Art der Schaltung der Regulierungsvorrichtung unterscheidet man Hauptstromlampen, Nebenschlußlampen und Differentiallampen.

In der *Hauptstrombogenlampe* (Fig. 464) steht die positive Elektrode 3 durch eine Stange 5 mit dem Hebel 6 in Verbindung und kann gehoben und gesenkt werden. An dem einen Ende des Hebels 6 hängt der Eisenkern 7, der vom Solenoid 8 angezogen werden kann. Auf der anderen

Seite des um 9 drehbaren Hebels 6 sitzt das Gegengewicht 10. Der positive Strom kommt von 1, fließt durch die Wickelung des Elektromagnets 8 in die positive Elektrode 3, durch die negative Kohle 4 und von ihr durch 2 zur Stromquelle zurück. Passende Einstellung des Gegengewichtes 10 bewirkt, daß bei einer bestimmten Stromstärke der Kern 7 in eine beabsichtigte Stellung zur Spule 8 kommt und entsprechend der Lichtbogen bei einer bestimmten Bogenlänge eine bestimmte Spannung zeigt. Wenn unter diesen Verhältnissen die Bogenlampe normal funktioniert und die Kohlenspitzen dann allmählich abbrennen, wird der Lichtbogen länger, also sein Widerstand größer, was zu einer Verringerung der Stromstärke führt. Hierdurch wird der Elektromagnetismus des Solenoids 8 geschwächt; Kern 7 wird weniger angezogen, Gegengewicht 10 bringt die rechte Hebelseite zum Sinken, und entsprechend sinkt auch die positive Elektrode 3. Hierbei wird die Lichtbogenlänge kleiner, der Widerstand geringer und dementsprechend die Stromstärke größer, so daß der Elektromagnetismus in 8 wieder wächst und 7 mehr angezogen wird. So regelt sich die Lampe, und zwar bleibt der Reguliermechanismus in Ruhe, wenn die Stromstärke ihren normalen Wert erreicht hat, auf den das Gegengewicht 10 eingestellt war. Die Hauptstromlampe reguliert *auf konstante Stromstärke*. Schaltet man die Lampe aus, so wird auch 8 stromlos und verliert seine Anziehungskraft, so daß sich 7 hebt und Kohle 3 auf Kohle 4 herabsinkt. Beide bleiben in Berührung, bis der Strom wieder eingeschaltet wird, wodurch dann 7 aufs neue angezogen und entsprechend 3 gehoben wird, so daß sich der Lichtbogen bildet.

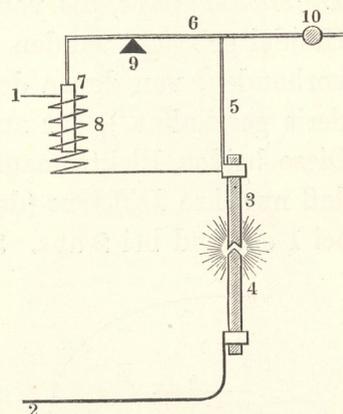


Fig. 464. Schema der Hauptstrombogenlampe.

Derartige Hauptstromlampen sind nur brauchbar, wenn nicht noch andere Lampen in demselben Stromkreis brennen; sie versagen sofort, wenn zwei Lampen hintereinander geschaltet werden. Denn wenn hier die eine Lampe normal brennt, während bei der zweiten die Elektrodenentfernung zu groß ist, nähert die Regulierung die Kohlen der zweiten Lampe einander und verstärkt so den gesamten Strom. Dies führt dann zu einem übergroßen Kohlenabstand in der ersten Lampe usw. — kurz, eine Lampe stört immer die andere, und beide gleichzeitig kommen nicht zum normalen Brennen. Diese Übelstände vermeiden die Nebenschlußlampe und die Differentiallampe.

In der *Nebenschlußbogenlampe* (Fig. 465) wird nur ein abgezwigter Teil des Stromes zur Regulierung benutzt. Der Maschinenstrom tritt bei 1 ein und bei 2 aus; 3 ist die positive, 4 die negative Kohle. Erstere hängt an dem Halter 5 und durch diesen am Hebel 6, der um 9 drehbar ist. 10 ist das Gegengewicht des Hebels, das mit 5 zusammen dem anderen Hebelende nicht ganz das Gleichgewicht hält. Der Hebelausschlag wird durch 11 begrenzt. Das Solenoid 8 liegt zum Hauptstrom im Nebenschluß, d. h. in einer Stromabzweigung zwischen 9 und 12; 7 ist der Eisenkern. Berühren sich bei Stromschluß die Kohlen nicht (da das Gewicht von 7 überwiegt), so läuft der Strom von 1 über 9 und das Solenoid 8 nach 12 und 2.

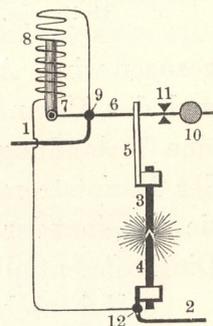


Fig. 465. Schema der Nebenschlußbogenlampe.

Hierdurch wird der Eisenkern 7 in 8 hineingezogen, so daß die Kohlen 3 und 4 zur Berührung kommen. Dann findet aber der Strom den weniger Widerstand bietenden Weg 1, 9, 5, 3, 4, 2, so daß Spule 8 stromlos wird und 7 sich senkt. Der Lichtbogen zwischen 3 und 4 bildet sich und wird zum ruhigen Brennen geregelt. Diese Lampe, bei der also Lichtbogen und Reguliervorrichtung parallel geschaltet sind, kann auch bei Bruch der Kohlen usw. niemals den ganzen Stromkreis öffnen, da der Strom dann den Weg durch die Regulierspule findet. Ist der Lichtbogen gebildet, so steht die Nebenschlußspule unter der Spannung des Lichtbogens. Das Gegengewicht wird so eingestellt, daß bei einer beabsichtigten Lichtbogenlänge eine bestimmte Lichtbogenspannung vorhanden ist und der Reguliermechanismus sich in Ruhe befindet. Die Nebenschlußlampe reguliert *auf konstante Spannung*. Bei den Nebenschlußlampen sind äußere Stromschwankungen von viel geringerem Einfluß als bei den Hauptstromlampen, aber in gewissem Grade störend

machen sich auch hier noch Stromschwankungen bemerkbar. Wird z. B. aus äußeren Ursachen der in die Lampe eintretende Strom zu stark, so werden auch die Ströme in den beiden Stromzweigen zu stark, d. h. das Licht brennt stärker als normal, und die gleichzeitig stärker wirkende Regulierspule bringt die Kohlen noch näher zusammen, so daß also das schon zu starke Licht noch stärker wird. Umgekehrt ist es bei zu schwachem Strom. Die Regelung gleicht also die äußeren Stromschwankungen nicht vollständig aus, wenn sie auch viel besser wirkt als diejenige der Hauptstromlampen.

Die Möglichkeit, viele Lampen in einem Stromkreis hintereinander zu schalten, ohne daß diese im geringsten durch äußere Stromschwankungen beeinflußt werden, verdankt man der *Differentiallampe*, die von v. Hefner-Alteneck erfunden und von Siemens & Halske zuerst in den Handel gebracht worden ist. Bei der Differentialbogenlampe (Fig. 466) sind zwei Elektromagnete vorhanden, von denen der eine in den Hauptstrom eingeschaltet (d. h. mit dem Lichtbogen „in Serie geschaltet“), der andere parallel dazu geschaltet ist (also in einer Stromabzweigung liegt). Diese beiden Elektromagnete beeinflussen die Kohlenentfernung in entgegengesetzter Weise, so daß nur ihre *Differenz* (daher „Differentiallampe“) zur Wirkung kommt. Der Strom tritt wieder bei 1 ein und bei 2 aus. 3 ist die obere, 4 die untere Kohle, 5 und 6 sind die beiden Spulen, von

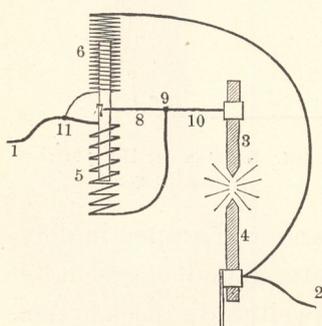


Fig. 466. Schema der Differentiallampe.

denen die erstere mit wenigen Windungen dicken, letztere mit vielen Windungen dünnen Drahtes versehen ist. In die Spulen ragen die Enden des Eisenkernes 7 hinein. Der Kern 7 hängt an dem einen Ende des um 9 drehbaren Hebels 8—10, mit dessen anderem Ende Kohle 3 verbunden ist. Berühren sich anfangs die Kohlen 3 und 4, so geht der Strom durch 1, 11, 5, 9, 10, 3, 4, 2, während 6 viel größeren Widerstand bietet und deshalb stromlos bleibt. Der Strom zieht jetzt 7 in 5 hinein, wodurch sich die mit dem anderen Hebelende verbundene Kohle 3 hebt und der Lichtbogen erscheint. Nunmehr besteht zwischen 3 und 4 ein erheblicher Luftwiderstand, und deshalb zweigt sich bei 11 ein Teil des Stromes nach 6, 2 ab, so daß Kern 7 nach oben mehr in 6 hineingezogen wird. Auf diese Weise regelt die verbundene Wirkung beider Spulen die Kohlenentfernung und das Brennen der Lampe in sehr vollkommener Weise. Die Differentialschaltung ist also eine Verbindung von Hauptstromschaltung und Nebenschlußschaltung. Herrscht die Wirkung der Hauptstromspule vor, so müssen sich die Kohlen im stromlosen Zustande berühren, während sie voneinander entfernt sein müssen, wenn die Wirkung der Nebenschlußspule überwiegt. Die Differentiallampe reguliert auf *konstanten Widerstand des Lichtbogens*.

Nebenschlußlampen sowie Differentiallampen müssen, wenn sie zu mehreren hintereinander geschaltet werden, noch eine Vorrichtung erhalten, durch die eine Lampe ganz aus dem Stromkreise ausgeschaltet wird, wenn sie durch irgendwelche Umstände (z. B. Abbrechen einer Kohle) überhaupt erlischt. Ohne eine solche Ausschaltvorrichtung ginge nämlich der gesamte Strom durch die Zweigleitung des Solenoids und würde diese schwachen Drahtwindungen stark erhitzen (oder ganz durchbrennen), dabei andererseits durch den Widerstand der Spulenwindungen selbst so geschwächt werden, daß die übrigen Lampen erlöschen. Die erwähnte automatische Ausschaltvorrichtung besteht gewöhnlich aus einem kleinen Magnet, der beim Erlöschen der Lampe dem Strom einen weniger Widerstand bietenden Weg unter Umgehung der dünnen Regulierspule schafft.

Nebenschlußlampen sowie Differentiallampen müssen, wenn sie zu mehreren hintereinander geschaltet werden, noch eine Vorrichtung erhalten, durch die eine Lampe ganz aus dem Stromkreise ausgeschaltet wird, wenn sie durch irgendwelche Umstände (z. B. Abbrechen einer Kohle) überhaupt erlischt. Ohne eine solche Ausschaltvorrichtung ginge nämlich der gesamte Strom durch die Zweigleitung des Solenoids und würde diese schwachen Drahtwindungen stark erhitzen (oder ganz durchbrennen), dabei andererseits durch den Widerstand der Spulenwindungen selbst so geschwächt werden, daß die übrigen Lampen erlöschen. Die erwähnte automatische Ausschaltvorrichtung besteht gewöhnlich aus einem kleinen Magnet, der beim Erlöschen der Lampe dem Strom einen weniger Widerstand bietenden Weg unter Umgehung der dünnen Regulierspule schafft.

2. Lampen mit offenem Lichtbogen.

Lampen mit übereinanderstehenden Elektroden. Die mechanische Anordnung der Teile in den Bogenlampen ist verschieden. Bei fast allen Lampen sind die beiden Kohlenhalter durch eine Kette oder Schnur verbunden, die über eine Rolle geführt ist. Das Übergewicht des einen Kohlenhalters treibt dann ein mit der Seilrolle verbundenes Rädergetriebe an; ein Flügelrad, das zugleich Sperrrad ist, wirkt dabei hemmend bzw. verlangsamen. Dadurch, daß man nicht nur die eine Kohle, sondern beide beweglich macht, erreicht man einen wesentlichen Vorteil: Ist nur die obere Kohle

beweglich, so sinkt das Lichtzentrum der Lampe mit dem Abbrennen der Kohlen immer tiefer. Diesen *Lampen mit beweglichem Brennpunkt* stehen die *Fixpunktampen (Lampen mit festem Brennpunkt)* gegenüber, bei denen sich nicht nur die obere Kohle beim Regulieren senkt, sondern die untere Kohle gleichzeitig um ebensoviel gehoben wird; bei geeignetem Verhältnis der Kohlenstärken und passender Bewegungsübersetzung bleibt dann der Brennpunkt immer an derselben Stelle. Die Seilrolle und das ganze Uhrwerk, das den Regelungsmechanismus ausmacht, ruhen meistens in einem schwingenden Rahmen. Dieser trägt auch den Anker des Regelelektromagnets, folgt daher der Zugkraft dieses Elektromagnets oder einer gegenüber angebrachten Feder (je nachdem die eine oder die andere Kraft überwiegt) und gibt dadurch, wenn die Sperrklinke das Flügelrad verläßt, das Uhrwerk und den Nachschub frei, während er bei entgegengesetzter Bewegung das Flügelrad sperrt und damit den Nachschub hemmt. Die Seil- oder Kettenrolle ruht in dem schwingenden Rahmen exzentrisch, d. h. nicht auf seiner Drehachse, und zwar so, daß die Kohlenspitzen sich in der einen Grenzlage des schwingenden Rahmens eben berühren, bei Bewegung in die andere Grenzlage (ohne Drehung der Rolle) gerade auf die gewünschte Lichtbogenlänge auseinandergehen.

Die Außenansicht einer gewöhnlichen Bogenlampe zeigt Fig. 467, die einer solchen kleinerer Form Fig. 468. In dem oberen Teil der Lampen befindet sich, gegen Witterungseinflüsse und Staub geschützt, der Regelungsmechanismus. Derartig Bogenlampen nennt man *Lampen mit offenem Lichtbogen*, weil der Lichtbogen dauernd in atmosphärischer Luft brennt; die Glocke verhindert nicht den Luftaustausch, sondern schützt den Lichtbogen nur vor dem Winde.

In Fig. 469 ist der Reguliermechanismus der Nebenschlußbogenlampe von Körting & Mathiesen dargestellt. Im stromlosen Zustande berühren sich die Kohlen nicht, so daß beim Einschalten der Strom nur durch die Nebenschlußspule des Elektromagnets geht, den Anker anzieht und das Flügelrad und Regulierwerk freigibt, bis die Kohlen sich berühren. Dann fließt der Strom durch die Kohlen, so daß die Federkraft überwiegt und den Rahmen in die andere Grenzlage bringt; hierdurch wird der Lichtbogen „gezogen“ und Flügelrad nebst Nachschub gesperrt. Erst bei Abbrand der Kohlen nimmt mit der Verlängerung des Lichtbogens die Anziehungskraft des Elektromagnets zu, so daß

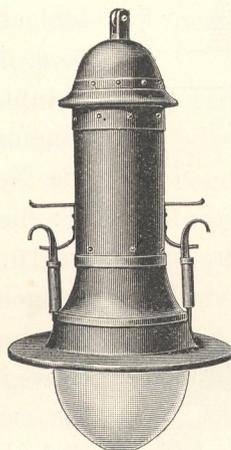


Fig. 468.

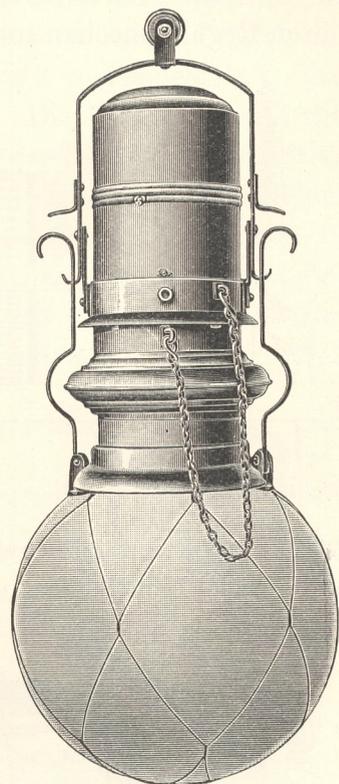


Fig. 467.

Fig. 467 und 468. Bogenlampen (Außenansicht).

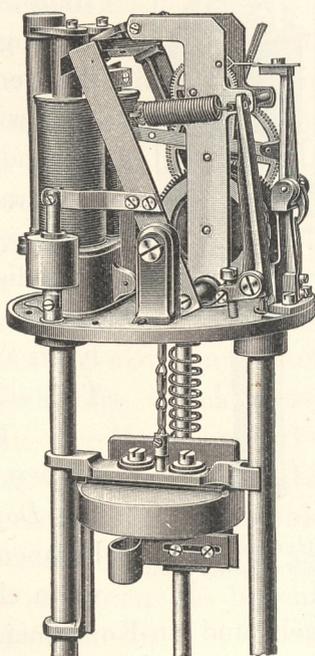


Fig. 469.

Nebenschlußbogenlampe von Körting & Mathiesen.

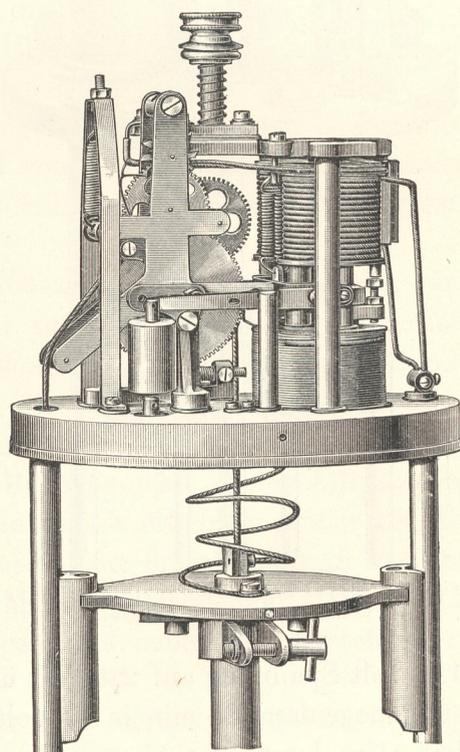


Fig. 470. Seillampe von Siemens & Halske.

er die Federkraft überwindet und Flügelrad und Nachschub freigibt, bis die gewünschte Bogenlänge wieder erreicht ist.

Unter den Differentiallampen besonders verbreitet ist die *Seillampe* von Siemens & Halske; ihren Reguliermechanismus zeigt Fig. 470 in perspektivischer, Fig. 471 in schematischer Darstellung.

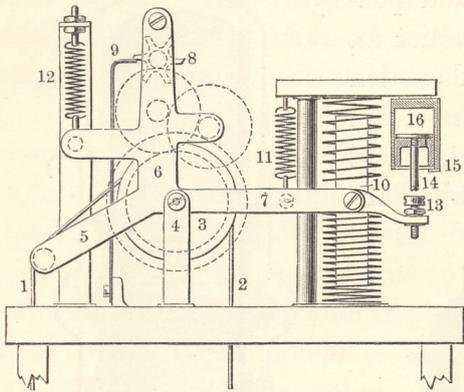


Fig. 471. Seillampe von Siemens & Halske.

Ein Kupferseil 1, 2, das am rechten Ende die obere positive Kohle, am linken die untere negative trägt, läuft über die genutete Seilscheibe 3, die bei 4 in dem dreiarmigen Hebel 5, 6, 7 ruht. Das Übergewicht der positiven Kohle würde die Scheibe 3 so lange im Sinne des Uhrzeigers drehen, bis sich beide Kohlen berühren, wenn nicht 3 mit einem Räderwerk verbunden wäre, dessen Sternrad 8 durch die Blattfeder 9 festgehalten wird. Der rechte Arm 7 des dreiarmigen Hebels 5, 6, 7 trägt den Eisenkern 10, dessen oberes Ende in die Hauptstromspule, dessen unteres in die Nebenschlußspule hineinragt. Wird der Kohlenabstand zu groß, so überwiegt die Nebenschlußspule und zieht den Eisenstab 10 herunter, womit auch das Sternrad 8 frei wird: die Kohle sinkt dann, bis durch den verringerten Widerstand des Lichtbogens der Eisenkern 10 sich wieder hebt und Sternrad 8 durch 9 aufs neue festgehalten wird. Die Spiralfedern 11 und 12 dienen zur Verringerung der Reibungswiderstände. Eine zu schroffe Bewegung der oberen Kohle verhindert die Stellschraube 13, die sich beim Heben von 7 gegen den Stift 14 eines im Zylinder 15 laufenden Ventilkolbens 16 legt.

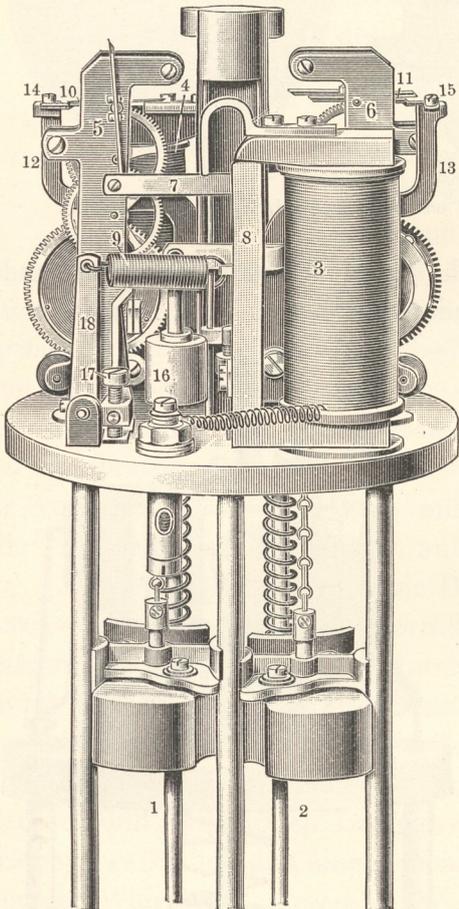


Fig. 473. Oberer Teil der Doppelbogenlampe von Körting & Mathiesen.

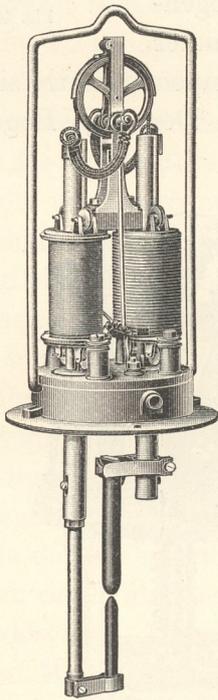


Fig. 472. Differentialbogenlampe, System Krizik.

Von besonders einfacher Konstruktion ist die Differentiallampe System Krizik, deren Mechanismus Fig. 472 zeigt. Der Antrieb erfolgt ohne Räderwerk, durch Übergewicht des oberen Kohlenhalters. Die Hauptstromspule zieht den Lichtbogen und verlängert ihn, während die Nebenschlußspule ihn verkürzen will. Sehr sinnreich ist die Art, wie das konstante Verhältnis der anziehenden Kräfte auch für die durch den Abbrand verschiedenen gewordenen Kohlenlängen gewahrt bleibt. Zu diesem Zwecke sind die im Innern der Röhren befindlichen Magnetkerne zugespitzt, so daß die anziehende Kraft auf einen Teil der Kerne (den dickeren Teil) stärker ist als auf den dünneren.

Lampen mit mehreren Kohlenpaaren werden zu verschiedenen Zwecken gebaut. Die *Doppelbogenlampen* mit zwei gleichzeitig brennenden Lichtbogen kommen in Betracht, wenn ein vorhandenes Beleuchtungsnetz von

110 Volt Spannung auf 220 Volt übergeht und ein Konsument bis dahin zwei gewöhnliche Gleichstrombogenlampen mit je 40 Volt brannte, auch für mehr als zwei Lampen keine Verwendung hat. Um dann nicht übermäßig große Vorschaltwiderstände verwenden zu müssen, benutzt man zwei Doppellampen mit je zwei gleichzeitig brennenden Kohlenpaaren, die zur Erzeugung derselben Lichtstärke mit etwas mehr als der halben Stromstärke der früheren Lampen gebrannt werden. Den Reguliermechanismus einer derartigen Doppelbogenlampe von Körting & Mathiesen (in schon

älter Konstruktion) stellt Fig. 473 dar; die Lampe ist nichts anderes als eine verdoppelte Nebenschlußlampe. Die Regelwerke beider Kohlenspitzenpaare 1 und 2 sind auf gemeinschaftlicher Platte angeordnet; die Kohlen hängen an Ketten, die über Scheiben gehen. 3 und 4 sind die Elektromagnete, deren Spulen sich im Nebenschluß befinden; 5 und 6 sind die Laufwerke, die durch die Zugstange 7 mit dem an der einen Elektromagnetseite befindlichen Anker 8 verbunden sind. Die der Bewegung des Ankers entgegenwirkende Kraft liefert die Spiralfeder 9. Das Laufwerk wird, wie bei der Seillampe von Siemens & Halske, gehemmt und ausgelöst durch das Flügelrad 10 (für das andere Kohlenpaar durch Flügelrad 11), das frei wird, wenn der Anker 8 bei zu stark werdendem Zweigstrome die an dem zweiarmigen Hebel 12 (bzw. 13) sitzende Zunge 14 (bzw. 15) von 10 (bzw. 11) zurückzieht. Die Laufwerke sind mit Luftdämpfern 16 versehen, die stoßweise Bewegungen verhindern. Um die zur Regulierung führende Spannung des Lichtbogens nach Bedürfnis ändern zu können, läßt sich durch die Schraube 17 der Träger 18 der Feder 9 etwas zurückziehen und dadurch die Feder stärker spannen.

Andere Lampen mit mehreren Kohlenpaaren enthalten zwar auch zwei Lichtbogen, jedoch brennen sie nicht beide gleichzeitig, sondern nacheinander. Bei derartigen *Ersatzbogenlampen* sind die Lichtbogen und Regulierwerke beider Kohlenpaare *parallel* geschaltet, während die Doppelbogenlampen für zwei gleichzeitig brennende Lichtbogen naturgemäß die Brenn- und Reguliertheile beider Kohlenpaare in Hintereinanderschaltung aufweisen. Ersatzbogenlampen benutzt man, um das Auswechseln der Kohlen erst in größeren Zwischenräumen vornehmen zu müssen. Zur Einschaltung des zweiten Kohlenpaars nach dem Abbrennen des ersten können mechanische oder elektrische Mittel dienen. Zwecks elektrischer Umschaltung reguliert man beispielsweise die Nebenschlußspule des erst später abbrennen sollenden Kohlenpaars um wenige Volt höher ein als die Nebenschlußspule des zuerst zum Brennen bestimmten Kohlenpaars. Beim Erlöschen der abgebrannten ersten Kohlen steigt die Lampenspannung soweit an und löst dann die der Zündung des zweiten Lichtbogens dienenden Mechanismen aus. Übrigens werden Ersatzbogenlampen wegen der verwickelteren und teureren Konstruktion nicht eben häufig gebraucht. Auch nicht allgemein eingebürgert haben sich sogenannte *Magazinlampen*, die nicht nur zwei, sondern eine ganze Anzahl von revolvermäßig nacheinander zur Wirkung gelangenden Lichtbogen enthalten und bis zu 600 Stunden ununterbrochene Brenndauer ohne Kohlenersatz ermöglichen.

Lampen mit nebeneinanderstehenden Elektroden. Die Konstruktion dieser jetzt sehr verbreiteten Bogenlampen wurde, wenn auch ihre Anfänge weiter zurückreichen, doch namentlich veranlaßt durch die Erfindung der sogenannten *Flammenbogenlampen* (*Effektbogenlampen*) durch Bremer im Jahre 1899. Bei Flammenbogenlampen bestehen die Elektroden nicht aus reiner Kohlenmasse, sondern enthalten Leuchtsalze verschiedener Art (Kalziumsalze, Strontiumsalze, Magnesiumsalze, Fluoride) beigemischt. Die Menge und Art der Beimengungen solcher *Effektkohlen* bestimmen Lichtintensität und Lichtfarbe; immer ist die Lichtintensität erheblich größer als mit Elektroden aus reiner Kohle. Ein Übelstand der Effektkohlen ist nur der hohe Gehalt an Aschenbestandteilen, der bei übereinanderstehenden Kohlen zu schneller Verschlackung führt und sogar Erlöschen bewirken kann. Hier treten die Bogenlampen mit nebeneinanderstehenden, V-förmig angeordneten Elektroden helfend ein.

Eine derartige Bogenlampe mit horizontalem Lichtbogen (von Körting & Mathiesen) zeigt Fig. 474. Die Konstruktion entspricht fast ganz der Seillampe von Siemens & Halske, deren in Fig. 471 (S. 206) dargestellte Teile man in Fig. 474, wenn auch in anderer Lage zueinander, leicht wiedererkennt. Bei fast allen Effektbogenlampen brennen die Elektroden in sogenannten *Sparern* (1 in Fig. 474), die aus Schamotte, Magnesia oder Porzellan bestehen. Um eine hohe Lichtausbeute

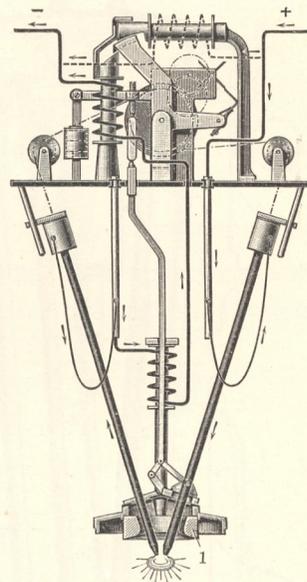


Fig. 474. Bogenlampe mit horizontalem Lichtbogen von Körting & Mathiesen.

zu erzielen, enthalten viele dieser Lampen sogenannte *Blasmagnete*, d. h. bis dicht an den Lichtbogen ist der Kern eines Elektromagnets herangeführt, unter dessen Einwirkung der Lichtbogen weggeblasen und nach unten sichelförmig ausgestülpt wird.

Die starke Entwicklung von Aschenstaub in den Flammenbogenlampen macht es nötig, den Reguliermechanismus sehr sorgfältig abzuschließen. Einen großen Fortschritt bedeuten daher die sogenannten *regelwerklosen Bogenlampen*, deren Regulierung ohne jedes Uhrwerk erfolgt. Das Vorbild dieser Lampen bildet die *Becklampe* (Fig. 475). Sie ist eine Stützkohlen-Effektbogenlampe mit festem, ständig gleichbleibendem Elektrodenabstand. Von den beiden Kohlen 1 und 2, die im spitzen Winkel nebeneinander stehen, hat die eine (1) die übliche Form der Rundkohle; dagegen besitzt die andere (2) eine hervorragende Abbrennrippe aus Kohle. Das Hauptgerüst der

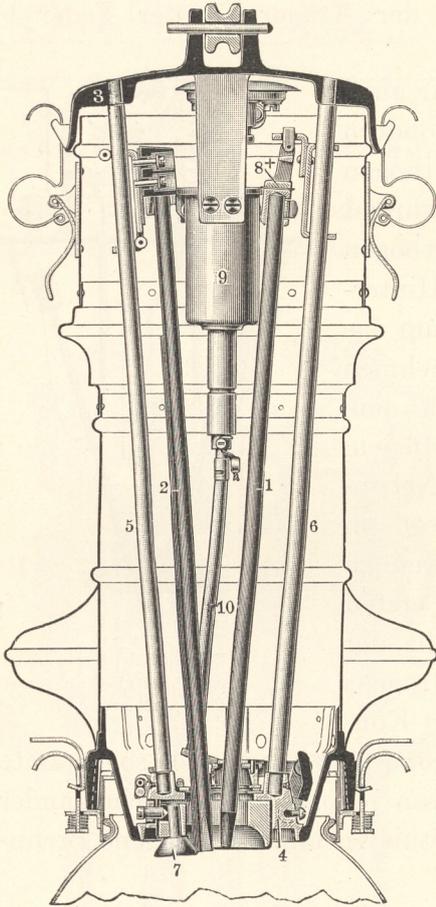


Fig. 475. Becklampe.

Lampe besteht aus der Gußkappe 3, aus der Lampenplatte (Brennerkopf) 4 und aus den diese beiden Teile verbindenden Stangen 5 und 6. Isoliert am Brennerkopf befestigt ist die Metallaufgabe 7, auf die sich die Abbrennrippe der Kohle 2 aufstützt. Bei Gleichstromlampen ist die unterstützte Kohle 2 immer die negative. Der Strom gelangt von der positiven Klemme durch ein leicht bewegliches Kabel zum positiven Kohlenhalter 8, durchläuft die Rundkohle 1 und den Lichtbogen, fließt von der Spitze der gestützten negativen Kohle 2 über die Unterstützungsstelle in die Auflage 7 und von dieser nach Passieren einiger anderer Teile in den Hauptstrommagnet 9 und dann zur negativen Klemme. Nach Einschalten des Stromes wird also 9 erregt und zieht einen Kern nach oben, mit dem gelenkig die Zugstange 10 verbunden ist. Diese greift unten in einen Gabelhebel, dessen Bewegung auf eine Schieberplatte übertragen wird und das Ausschwenken der Rundkohle 1 (und damit die Bildung des Lichtbogens) besorgt. Nach einer kurzen Brennperiode lockert sich dann infolge des Verzehrens der unteren Kohlenspitze, und somit auch der Rippe, der Kontakt zwischen Kohle und Auflage. Damit wächst zwischen beiden Teilen der Übergangswiderstand, so daß momentan an der Berührungsstelle ein stärkeres Aufglühen eintritt. Hierdurch wird ein gleichmäßiges Nachgleiten der negativen und damit auch der mit ihr durch eine besondere Vorrichtung zwangsläufig gekuppelten positiven Kohle hervorgerufen. Ein Blasmagnet bläst den Lichtbogen sichelförmig nach unten.

Der ganze Mechanismus beschränkt sich also auf den Elektromagnet.

Die Bogenlampen mit nebeneinanderstehenden Elektroden werden nicht nur für Effektkohlen benutzt; z. B. verwendet die Becklampe für Innenbeleuchtung gewöhnliche Dochtkohlen. Die Effektbogenlampen enthalten Lüftungsvorrichtungen, damit sich die Glocken nicht mit Aschenbestandteilen beschlagen.

Außer der Becklampe, die auch als Mehrfachlampe gebaut wird, gibt es noch mehrere andere regelwerklose Bogenlampen, jedoch kann auf sie hier nicht eingegangen werden.

3. Lampen mit eingeschlossenem Lichtbogen.

Die Brenndauer einer Bogenlampe ist selbstverständlich abhängig von der Länge und Dicke der eingesetzten Kohlenstäbe. Gewöhnlich wählt man die Kohlen so lang, daß die Lampe 6—10 Stunden brennt. Die Notwendigkeit, dann jedesmal wieder neue Kohlen einzusetzen, wird vielfach als lästig empfunden. Man hat deshalb versucht, die Brenndauer der Kohlen wesentlich zu verlängern, und erreicht das dadurch, daß man den Lichtbogen in ganz kleinen Glasglocken

entstehen läßt und den Zutritt des Luftsauerstoffes möglichst erschwert. Solche *Dauerbrandlampen* erreichen eine Brenndauer bis zu 150 Stunden; die Spannung ist bei solchen Lampen viel höher als bei offenem Lichtbogen, und zwar beträgt sie 70—80 Volt.

Eine ältere Dauerbrandlampe ist die *Reginalampe*, deren Prinzip aus Fig. 476 hervorgeht. Der positive Strom tritt bei 1 ein und bei 2 aus. Er durchläuft die Spule 3, in der sich der Eisenkern 4 auf und ab bewegt. Dann läuft er durch die Kohlen 5 und 6, von denen 5 zwischen den Rollen 7 hin und her gleiten kann, und durch den Widerstand 8 nach 2. Die Kohlenspitzen befinden sich in einem besonderen kleinen Glasbehälter, der nur durch eine enge, unten befindliche Öffnung mit der äußeren Luft in Verbindung steht. Der Bogen erhitzt die in dem Glasbehälter befindlichen Gase so stark, daß ein großer Teil infolge der starken Ausdehnung ausgetrieben wird, der Bogen sich somit in einem stark luftverdünnten Raum befindet und eine höhere Temperatur und größere Länge erhalten kann. Hier nimmt außer den Kohlenspitzen auch der Lichtbogen selbst in erheblichem Maße an der Lichterzeugung teil, was sich an dem mehr violetten Lichte der Lampe zeigt. Das Licht der Reginalampe ist aber nicht sehr ruhig. Außer dem inneren Glasbehälter besitzt die Lampe noch eine äußere Glasglocke.

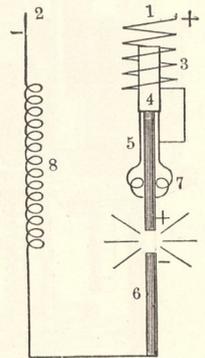


Fig. 476. Schema der Reginalampe.

Neuerdings findet man es vielfach vorteilhafter, den Luftzutritt zwar zu beschränken, aber nicht gar zu sehr abzuschließen. Man erhält dadurch sogenannte *Sparbogenlampen*, die nur von einer einzigen Glocke umgeben sind, eine Brenndauer von nur 20—24 Stunden aufweisen, aber viel weißeres Licht zeigen, ruhiger als die eigentlichen Dauerbrandlampen brennen und durch einen ökonomischen Stromverbrauch ausgezeichnet sind.

Nach vielen Versuchen ist es auch gelungen, Effektkohlen in Lampen mit eingeschlossenem Lichtbogen zu brennen. So erreicht die *Dauerbrand-Flammenbogenlampe* der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft mit einem Kohlenpaar durch weitgehenden Abschluß des Brennraumes eine Brenndauer von 80 Stunden. Bemerkenswert ist bei dieser Lampe (Fig. 477) die Gestaltung der Glocke. Diese besteht aus zwei zusammenhängenden Teilen 1 und 2, die an der Berührungsstelle stark eingeschnürt sind. 1 ist gewöhnlich Klarglas, 2 Opalüberfangglas. Durch diese Glockenform in Verbindung mit dem darüber liegenden Kondensationsraum 3 wird bewirkt, daß sich der starke Aschenniederschlag nicht auf dem den Lichtbogen umgebenden und hauptsächlich der Lichtausstrahlung dienenden Klarglasteil 1 absetzt, sondern infolge der in der Lampe herrschenden Temperaturverteilung entweder in den Kondensationsraum 3 oder in den Opalglasteil 2 gelangt.

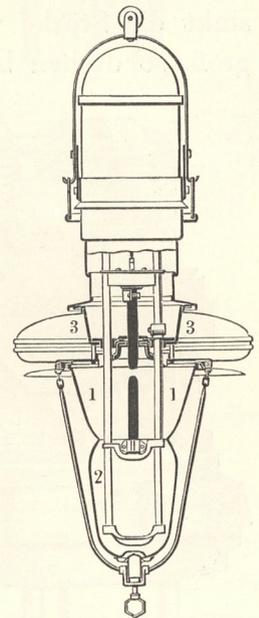


Fig. 477. Dauerbrand-Flammenbogenlampe der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

4. Wechselstrombogenlampen.

Soweit bei den bisher besprochenen Lampen das Regelwerk eingehender erörtert wurde, war im wesentlichen immer die Verwendung von Gleichstrom vorausgesetzt. Aber Bogenlampen lassen sich ja, wie schon eingangs erwähnt wurde, ebensogut mit Wechselstrom betreiben. In diesem Falle brennen dann beide Elektroden spitz zu und gleichschnell ab; man benutzt hier für beide Elektroden Dochkohlen. Auch die Regelung der Wechselstromlampen kann im Grunde ebenso wie bei den Gleichstromlampen erfolgen. Denn man benutzt zur elektrischen Regelung ja stets die Anziehungskraft eines Elektromagnets gegenüber seinem Anker oder diejenige einer Spule gegenüber einem Eisenkern. Die magnetische Anziehung wird aber von der Stromrichtung bzw. der Polarität des entstehenden Magnetismus nicht beeinflußt. Also kann die Regelungsart bei Wechselstrombogenlampen die gleiche bleiben; nur muß man das Eisen des Elektromagnets wegen der entstehenden Wirbelströme zerteilen.

Aber man kann sich bei Wechselstromlampen doch auch anderer Regulierungsarten

bedienen und tut dies sogar mit Vorliebe. So verwendet die Wechselstrom-Nebenschlußlampe von Körting & Mathiesen (Fig. 478) statt der Anziehungskraft der Elektromagnete auf Eisenkerne deren abstoßende Wirkung gegenüber geschlossenen Eisenringen.

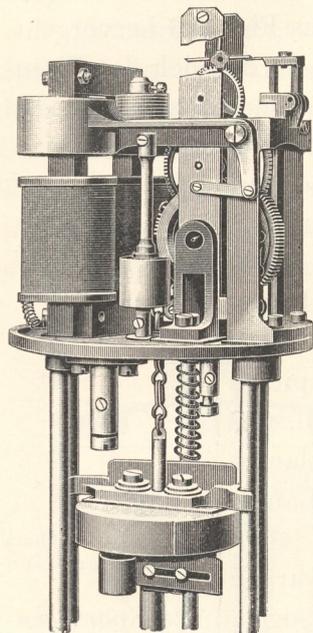


Fig. 478. Nebenschlußlampe für Wechselstrom von Körting & Mathiesen.

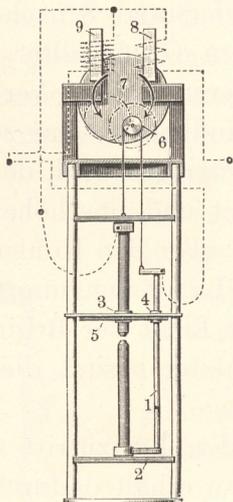


Fig. 479. Wechselstrombogenlampe von Schuckert.

Weiter sind die sogenannten *Motorlampen* beliebt, bei denen die Abstoßung einer zwischen den Polen eines Elektromagnets beweglichen Aluminiumscheibe zur Regulierung dient. Hierher gehört z. B. die Wechselstrombogenlampe von Schuckert, die in Fig. 479 schematisch dargestellt ist, während Fig. 480 ihren Regelungsmechanismus schaubildlich wiedergibt. Die Kohlen hängen an einer Schnur; die obere Kohle sowie der Halter 1—2 der unteren gehen durch die Specksteinringe 3 und 4 des Reflektors 5, der das Licht nach unten wirft. Die die Schnur haltende Rolle 6 ist durch Zahnradübersetzung mit der Aluminiumscheibe 7 verbunden, gerät also mit dieser zusammen in Drehung. In eine solche Drehung kommt 7, wenn sich der Magnetismus des Hauptstromelektromagnets 8 oder des Nebenschlußelektromagnets 9 ändert, da dann der Magnetismus in 7 Ströme erregt, auf die die Magnete abstoßend wirken. Beim Abbrennen der Kohlen

sinkt die Stärke von 8, während die von 9 wächst. Wird also der Abstand der Kohlen zu groß, so drehen beide Magnete die Scheibe 7 so, daß der Abstand sich wieder verringert.

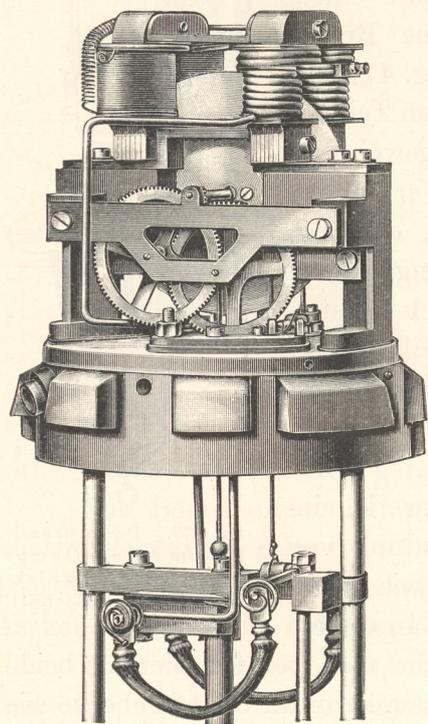


Fig. 480.

Fig. 480. Wechselstrombogenlampe von Schuckert. Fig. 481. Liliputlampe der Siemens-Schuckert-Werke.

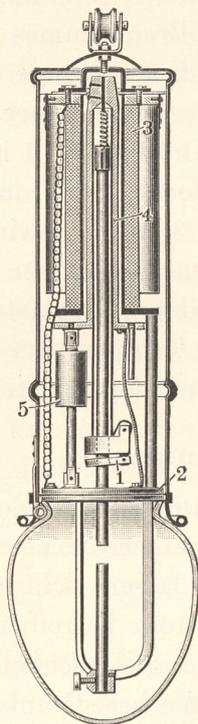


Fig. 481.

Kleinbogenlampen. Bogenlampen für Helligkeiten von nur 100—200 Kerzen werden von verschiedenen Firmen nach dem Prinzip der Dauerbrandlampen gebaut und haben zum Teil sehr kleine Dimensionen, so daß sie sogar als Stehlampen verwendbar sind. Hierher gehört z. B. die *Liliputlampe* der Siemens-Schuckert-Werke, deren Inneres Fig. 481 zeigt. Der Mechanismus enthält kein Laufwerk, vielmehr werden die Kohlen nur durch magnetische Wirkung geklemmt und so in ihrer Bewegung reguliert. In der stromlosen Lampe sitzt die Klemmplatte 1 auf der Führungsplatte 2 auf, so daß die obere Kohle frei beweglich ist und auf die untere herabsinkt. Beim Einschalten des Stromes zieht Spule 3 den Anker 4 und damit auch die Klemmplatte 1 an. Diese stellt sich daher schräg und klemmt die obere Kohle fest, die dementsprechend mit dem Anker gehoben wird. So bildet sich der Lichtbogen. Beim Abbrand wird durch den erhöhten Widerstand der Lampenstrom schwächer und

läßt den Anker 4 allmählich los; Klemmplatte 1 setzt sich auf Platte 2 auf, so daß die obere Kohle wieder nachrückt, bis sie bei richtigen Stromverhältnissen aufs neue geklemmt wird. Das Sinken der Kohle wird dadurch verlangsamt, daß sie gleichzeitig den Kolben einer Luftpumpe 5 in Bewegung setzt.

Die Kleinbogenlampen haben sehr an Bedeutung und Verbreitung verloren, seitdem es gelungen ist, hochkerzige Metallfadenglühlampen zu bauen.

5. Verwendung der Bogenlampen.

Da die meisten Bogenlampen 30—45 Volt Spannung brauchen, so schaltet man sie in Beleuchtungsnetzen von 110 Volt zu je zwei, in Netzen von 220 Volt zu je vier hintereinander. Dabei bleibt jedoch ein Teil der Spannung übrig, der verbraucht bzw. beseitigt werden muß. Es geschieht dies durch Einschaltung eines *Zusatzwiderstandes*, den man auch als *Beruhigungswiderstand* bezeichnet, weil er gleichzeitig den Stromverbrauch und Lichteffekt konstanter macht, als es das Regelwerk allein bewirken würde. Ein solcher Widerstand pflegt 20 bis 30 Volt zu vernichten, die nutzlos verloren gehen. Bei Wechselstrombogenlampen gibt es noch ein anderes Mittel, den Lampenstrom auf die richtige Spannung zu bringen; man kann nämlich eine *Drosselspule* einschalten, also einen Elektromagnet mit kleinem Bewickelungswiderstand, durch dessen Eisenkern die Selbstinduktion der Rolle sehr hoch gemacht wird. In dieser entstehen daher starke Induktionsströme, die den Wechselströmen des Netzes entgegenwirken und so die Spannung herabsetzen. Hiermit ist aber nicht, wie mit der Einschaltung eines Beruhigungswiderstandes, ein großer Verlust an Effekt verbunden, vielmehr geht nur ein geringer Teil verloren. Ein weiteres Mittel, die Spannung dem Bedürfnis der Wechselstromlampe anzupassen, besteht in der Benutzung sogenannter *Kleintransformatoren*, von denen jede Lampe einen erhält.

Die Helligkeit des Bogenlichtes hängt von der Stromstärke ab, also entsprechend von der Länge des Lichtbogens, ferner auch von der Art der Kohlen. So bewegt sich die Lichtstärke von wenigen hundert Kerzen aufwärts bis zu Millionen von Kerzen. Am Blinkfeuer von Helgoland wurde z. B. die Lichtstärke der gewaltigen Bogenlampe, freilich unterstützt von dem zugehörigen Scheinwerfer, in einer Entfernung von 1200 m bei einem Stromaufwand von 34 Ampere und 45 Volt Spannung zu fast 43 Millionen Kerzen gemessen.

Die Bogenlampe dient hauptsächlich zur Beleuchtung im Freien, ferner von Sälen, großen Läden usw., neuerdings auch in steigendem Maße für Fabrikräume, Unterrichts- und Bibliotheksäle usw. Für Zwecke der letztgenannten Art benutzt man sie namentlich in Form der *indirekten Beleuchtung*, wobei das Licht der von einem undurchsichtigen Unterteil umgebenen Lampe gegen die weiße Decke (oder einen großen weißen Reflektor) geworfen wird und erst von dort als mildes, diffuses Licht nach unten zurückstrahlt. Noch beliebter ist die *halb-indirekte Beleuchtung* (Fig. 482), bei der der größte Teil des Lichtes in der beschriebenen Weise gegen die weiße Decke geworfen und von dort zerstreut wird, während der übrige Teil direkt nach unten gelangt, jedoch auch gemildert und zerstreut durch die halbkugelförmige Milchglasglocke der Lampe.

Was den Stromverbrauch der Bogenlampen anlangt, so legt man als praktisches Maß ihrer Leistung die *mittlere untere hemisphärische Lichtstärke* zugrunde, d. h. die direkte Beleuchtung des Raumes unterhalb einer durch die Lichtquelle gelegten Horizontalebene. Dabei soll die Bogenlampe von einer Klarglasglocke umgeben sein. Diese Lichtstärke wird verglichen mit dem Stromverbrauch. So erhält man als Verhältnis beider den sogenannten *praktischen spezifischen Effektverbrauch*, d. h. den Stromverbrauch, der sich auf die praktisch nutzbar gemachte Lichtstärke von 1 Hefnerkerze bezieht. Im allgemeinen rechnet man hiernach mit einem Stromverbrauch der Bogenlampen von 0,45—0,6 Watt auf eine Kerze. Bei Effektbogenlampen bewegt sich der Stromverbrauch pro Kerze zwischen 0,17 und 0,34 Watt, während er bei Kleinbogenlampen und Sparbogenlampen auf 0,6—1 Watt steigen kann.

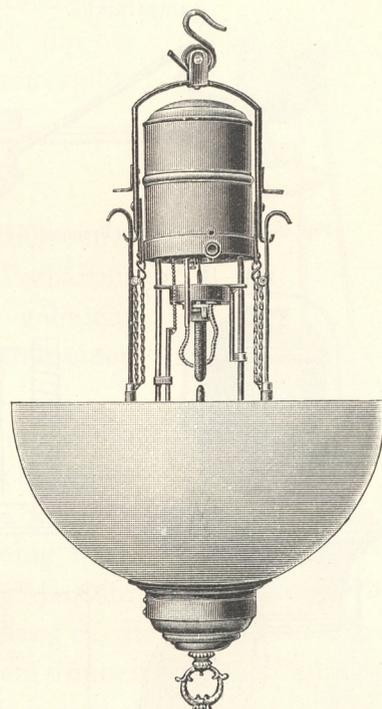


Fig. 482. Halbindirekte Bogenlampen-Beleuchtung.

6. Quecksilberdampf Lampen.

Als Quecksilberdampf Lampen bezeichnet man Beleuchtungsquellen, die auch zu den Bogenlampen gerechnet werden müssen. Der Unterschied gegenüber den gewöhnlichen Bogenlampen besteht darin, daß diese feste Elektroden enthalten, während die Elektroden der Quecksilberlampe aus Quecksilber bestehen. Da die Lampe ihre brauchbare Form durch Cooper-Hewitt erhielt, wird sie auch als *Hewitts Lampe* bezeichnet. In der einfachsten Form (Fig. 483) ist sie ein langes, fast luftleeres, etwas Quecksilber enthaltendes Glasrohr mit an den Enden eingeschmolzenen Stromzuführungen 1 und 2. Um die Lampe in Betrieb zu setzen, bedient man sich der sogenannten *Kippzündung*, d. h. das Glasrohr wird in horizontale Lage gebracht, so daß das Quecksilber sich

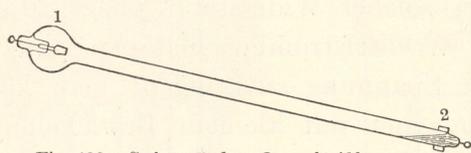


Fig. 483. Schema der Quecksilberdampf Lampe.

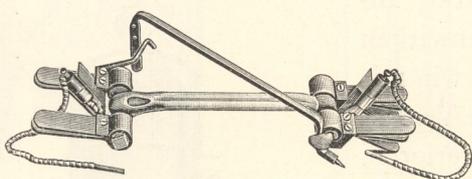


Fig. 485. Quarzrohr (Brenner) der Quarzlampe.

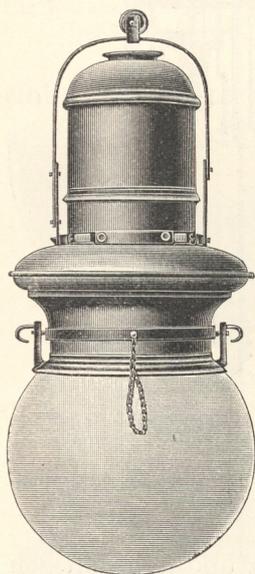


Fig. 484. Quarzlampe, Außenansicht.

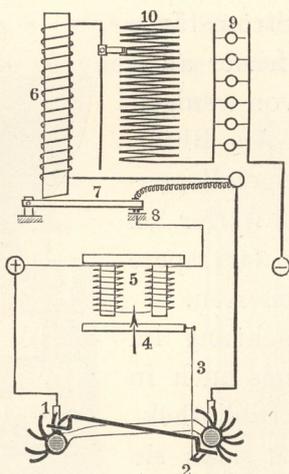


Fig. 486. Schema des Kippmechanismus der Quarzlampe.

über die ganze Röhrenlänge erstreckt und als Metallfaden die beiden Stromzuführungen verbindet. Wird dann das eine Rohrende wieder gesenkt, so bildet sich zwischen den sich teilenden Elektroden der Lichtbogen und erfüllt die ganze Röhre. Das Licht ist sehr hell, aber es hat einen bläulichgrünen Ton, der die Gesichter fahl erscheinen läßt, auch den Augen unangenehm ist.

Der Reichtum des Lichtes der Quecksilberdampf Lampe an violetten und ultravioletten Strahlen macht diese Lampe sehr geeignet für photographische Zwecke und ganz besonders für medizinische Anwendung, d. h. zur elektrischen Lichtbehandlung (gegen Hautkrankheiten usw.). Hierfür muß aber das Rohr aus Quarzglas (in geschmolzenem Zustande verarbeiteter Quarz) bestehen, weil gewöhnliches Glas die ultravioletten Strahlen nicht hindurchläßt. Derartige *Quarz Lampen*, auch *Uviol Lampen* genannt, werden jetzt aber auch allgemein zu Beleuchtungszwecken verwendet, da das Quarzglas nicht springt und bei seinem sehr hochliegenden Schmelzpunkt starker Erwärmung ausgesetzt werden kann. Deshalb macht sich der Gebrauch solcher Lampen, trotz des sehr hohen Preises von Quarzglas, doch schließlich bezahlt. So erreicht die Temperatur in den Quarz Lampen mehrere tausend Grad, und man erzielt Lichtstärken bis zu 3000 Hefnerkerzen, wobei der Stromverbrauch nur etwa 0,55 Watt pro Kerze

beträgt. Das Quarzrohr ist gegenüber dem Rohr der gläsernen Quecksilber Lampen beträchtlich verkürzt. Von außen gleichen derartige Quarz Lampen (Fig. 484) gewöhnlichen Bogen Lampen. Die Form des Quarzrohres zeigt Fig. 485; dieser sogenannte *Brenner* der Lampe hat \perp -Form, d. h. er ist mit zwei quer angesetzten Endgefäßen (ebenfalls aus Quarzglas) versehen, welche die Quecksilberelektroden enthalten. Diese Gefäße tragen außen Metallfächer, die als Kühler dienen, indem sie die Wärme von den Polgefäßen aufnehmen und ausstrahlen. Der Aufsatz der Lampe enthält einen automatischen *Kippmechanismus*, dessen Prinzip und Schaltung Fig. 486 erkennen läßt. Der Brenner 1—2, der von einer quer über dem Leuchtrohr liegenden Achse in zwei Lagern getragen wird, ist durch die Zugstange 3 mit dem Anker 4 des Nebenschluß Elektromagnets 5 verbunden und wird beim Einschalten der Lampe durch die Anziehung von 4 selbsttätig um seine Achse gekippt, so daß von einem zum anderen Polgefäß Quecksilber überfließt und eine stromleitende Verbindung herstellt. Der Hauptstrom magnetisiert jetzt die Drosselspule 6, die ihren Anker 7 anzieht und dadurch den Nebenstromkreis des Kippmagnets bei 8 unterbricht. Brenner 1—2

fällt also wieder in seine Anfangslage zurück, das Quecksilber trennt sich im Leuchtrohr und bildet an der Trennungsstelle den Lichtbogen. Die aus Eisendraht bestehenden Vorschaltwiderstände 9 und 10 lassen sich für verschiedene Netzspannungen einstellen. Die Drosselspule 6 dient nicht nur dazu, nach dem Zünden des Brenners den Nebenschluß zu unterbrechen, sondern sie hat auch durch ihre Induktionswirkung den Brenner unempfindlicher gegen plötzlichen Spannungsabfall zu machen, wie er z. B. beim Einschalten großer Motoren eintreten kann. Unmittelbar nach dem Anzünden gibt der Brenner nur wenig Licht; erst nach etwa acht Minuten, wenn seine Polgefäße durchwärmt sind, erreicht er die volle Lichtstärke.

Soweit die Quarzlampen nicht für Heilzwecke bestimmt sind, müssen sie von einer äußeren Glasglocke umgeben sein, welche die den Augen schädlichen ultravioletten Strahlen zurückhält. Durch indirekte Beleuchtung, getönte Glocken oder gleichzeitiges Mitbrennen von elektrischen Glühlampen beseitigt man die unangenehme Farbe des Lichtes, soweit es sich nicht um beabsichtigte Reklameeffekte handelt. Derartige Quarzlampen, die als *Metalfalampe* und ganz ähnlich als *Saturnlampe* in den Handel gebracht werden, haben eine sehr kompendiöse Form. So zeigt Fig. 487 eine solche, für niedrige Räume bestimmte Lampe, die bei 220 Volt mit 2,5 Ampere brennt und eine Lichtstärke von etwa 1500 Kerzen ergibt.

II. Glühlampen.

Das *elektrische Glühlicht* beruht darauf, daß ein vom Strom durchflossener Leiter nach dem Jouleschen Gesetz erhitzt und bei passendem Verhältnis zwischen Stromstärke und Widerstand zum Glühen und Leuchten gebracht wird. Die in einem elektrischen Leiter mit dem Widerstande W durch einen Strom J in der Zeit t erzeugte Wärmemenge hat die Größe $W \cdot J^2 \cdot t$.

Zuerst versuchte man auf diese Weise Glühlampen herzustellen, deren Glühkörper aus dünnem Platindraht bestand; jedoch ist bei wirklich hellem Leuchten die Gefahr des Abschmelzens sehr nahe gerückt, und auch abgesehen davon wird eine solche Lampe schnell unbrauchbar, da das Platin brüchig wird.

Nach vielen Versuchen hielt man sämtliche Metalle für unbrauchbar für den genannten Zweck und wandte sich anderen Stoffen zu. *Edison* gelang es, die erste brauchbare elektrische Glühlampe zu konstruieren; ihr Glühkörper besteht aus einem dünnen Kohlenfaden, und diese *Kohlenfadenglühlampe*, die 1881 in den Handel kam, eroberte sich in schnellem Zuge die Welt.

1. Kohlenfadenglühlampen.

Da glühende Kohle sich begierig mit dem Sauerstoff der Luft verbindet und verbrennt, so ist es nötig, für den beabsichtigten Zweck den Glühkörper von der Luft abzuschließen, indem man ihn in ein Glasgefäß einschmilzt, aus dem die Luft ausgepumpt wird.

Als Kohlenfaden verwendete *Edison* zuerst gepreßten Graphit, dann hufeisenförmig geschnittene Kartonstücke, die unter Luftabschluß verkohlt wurden, und endlich zu Bügeln oder Schleifen gebogene feine Bambusfasern, die er in luftabschließenden Muffeln einer Temperatur von 200° aussetzte. Jetzt dient als Material des Glühfadens ausschließlich künstlich hergestellte reine Zellulose, die durch Düsen zu feinen Fäden gepreßt wird. Die getrockneten und schleifenförmig gebogenen Fäden werden zunächst verkohlt und dann *karbonisiert*. Sie sind nämlich nie überall genau gleich dick, und um diesen Fehler auszugleichen, werden sie in kohlenwasserstoffreichen Gasen (z. B. Leuchtgas) durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht. Hierbei zersetzen sich die Kohlenwasserstoffe bei der Berührung mit dem glühenden Kohlenfaden, und es schlägt sich strukturlose Kohle auf dem Faden nieder und erhöht dessen Elastizität und Festigkeit. Gleichzeitig werden aber auch alle Querschnittsdifferenzen ausgeglichen, denn der Faden kommt da zum hellsten Glühen, wo er den größten elektrischen Widerstand bietet, also am dünnsten ist, und dort muß sich dementsprechend auch mehr Kohle niederschlagen als an den dickeren, weniger

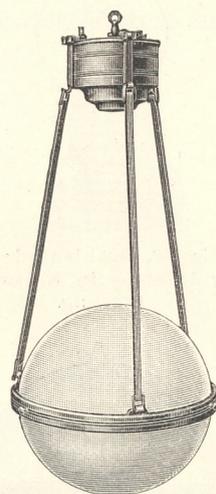


Fig. 487. Quarzlampe Saturn für automatische Zündung.

glühenden Fadenstellen. Auch flüssige Kohlenwasserstoffe werden zum Karbonisieren benutzt. Der Kohlenfaden läßt sich nicht luftdicht in Glas einschmelzen, da Kohle und Glas verschiedene Ausdehnungskoeffizienten haben. Man verwendet daher zur Durchführung durch das Glas kurze Platindrähte, die mit dem Kohlenbügel durch ein dem Karbonisieren entsprechendes Niederschlagen von Kohlenstoff an der Verbindungsstelle vereinigt werden.

Fig. 488 zeigt eine Kohlenfadenlampe gewöhnlicher Form, worin 1 der Kohlenbügel ist. Die von den Enden des Fadens ausgehenden Platindrähte führen zu zwei voneinander isolierten Metallstücken (*Kontakten*) außen am Lampenkörper. Zum Gebrauch wird jede Lampe in eine sogenannte *Fassung* eingesetzt, die sich an den Beleuchtungskörpern befindet, und zu der die Stromleitungsdrähte führen; diese Zuleitungen müssen in der Fassung voneinander isoliert sein. Die am meisten gebräuchliche Fassung ist die *Edisonfassung*. Der Lampenkörper trägt dann (Fig. 488) ein metallisches Schraubengewinde (*Edisongewinde*) 2, mit dem der eine Platindraht verbunden ist. Davon

durch Gips isoliert trägt der Boden ein Metallstück 3, zu dem der andere Platindraht führt. Die zugehörige eigentliche Fassung enthält die passende Schraubenmutter und davon isoliert eine Metallfeder, so daß nach dem Einschrauben der Lampe diese Feder mit dem Metallstück 3, dagegen die Schraubenmutter mit dem Lampengewinde 2 in leitender Verbindung steht. Diese Fassung gibt vorzüglichen Kontakt und die Möglichkeit, Lampen schnell und bequem auszuwechseln.

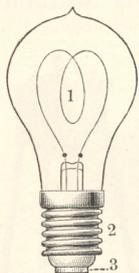


Fig. 488. Kohlenfadenlampe in Edisonfassung.

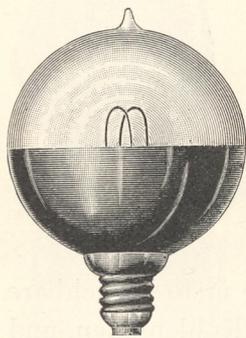


Fig. 491. Reflektorlampe.

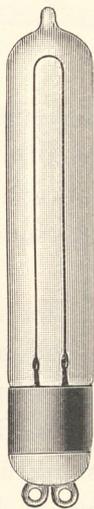


Fig. 489. Röhrenlampe.



Fig. 490. Kerzenlampe.

Fig. 489—491. Formen elektrischer Glühlampen.

Außer in der dargestellten Birnenform fertigt man Glühlampen auch in Kugelform und Röhrenform (Fig. 489) und als Kerzenlampen (Fig. 490), ferner auch mattiert, mit zum Teil spiegelnder Hülle (*Reflektorlampen*, Fig. 491), farbig usw., und alle diese in sehr verschiedener Größe.

Die Leuchtkraft der Glühlampen hängt außer von der Stromstärke ab von dem Widerstand des Kohlenfadens. Der letztere nimmt bei der Erwärmung beträchtlich ab, und zwar beträgt er bei weißglühendem Faden nur etwa die Hälfte von dem Widerstande in kaltem Zustand. Jede Glühlampe darf nur mit einem Strom passender Stärke gespeist werden; ist der Strom zu stark, so *zerstäubt* der Kohlenfaden sehr schnell, oder er brennt überhaupt sofort

durch. Ist anderseits der Strom zu schwach, so gerät die Lampe nicht bis zur hellen Weißglut. Für jede Glühlampe gibt es daher eine normale Stromstärke, mit der sie gebrannt werden muß. Man gibt jedoch gewöhnlich nicht diese an, sondern die Spannung des speisenden Stromes, denn da der Widerstand der Lampe in der Fabrikation gegeben, also von vornherein bekannt ist, so folgert aus der normalen Spannung auch die normale Stromstärke.

Die üblichsten Spannungen für Glühlampen sind 110 und 220 Volt, doch baut man auch Lampen für viel niedrigere Spannungen, z. B. Miniaturlämpchen für 2 und 4 Volt. Die gewöhnlichen 110- und 220voltigen Lampen werden für eine Lichtstärke von 16 Kerzen (gewissermaßen die „Normallampe“), 25 und 32 Kerzen hergestellt, doch auch für geringere und größere Helligkeit. Glühfäden, die bei 220 Volt dieselbe Lichtstärke ergeben sollen wie bei 110 Volt, müssen erheblich dünner und länger sein und lassen sich nur in Form mehrfach gewundener Schleifen oder als Doppelbügel in der Birne unterbringen. Wird eine Kohlenfadenlampe nie mit stärkerem als dem für sie normalen Strom gespeist, so hat sie durchschnittlich eine Brenndauer von 600—800 Stunden, jedoch nimmt die Lichtstärke in dieser Zeit um 20—25 Proz. ab. Der Stromverbrauch der Kohlenfadenlampen schwankt zwischen 2,5 und 3,5 Watt pro Hefnerkerze; übrigens nimmt der Verbrauch gegen Ende der Brenndauer wesentlich zu. Man kann Kohlenfadenlampen konstruieren, die sehr hoch erhitzt werden und dementsprechend viel Licht geben; solche Lampen werden, weil sie einen

verhältnismäßig niedrigen Stromverbrauch (bis 1,5 Watt pro Kerze herab) haben, *niederwattige Lampen* genannt. Aber solche Lampen haben nur eine äußerst kurze Brenndauer, während *hochwattige Lampen* mehr Strom verbrauchen, aber auch viel länger halten. Ob man Glühlampen mit Gleichstrom oder Wechselstrom brennt, ist ohne wesentlichen Einfluß.

Da die Glühlampe einen verhältnismäßig sehr hohen Widerstand hat, bedarf sie auch hoher Spannung, dagegen nur geringer Stromstärken. Deshalb wählt man für Glühlampen fast ausnahmslos *Parallelschaltung*. Nur bei Anwendung kleinkerziger Illuminationslämpchen usw. kommt auch Hintereinanderschaltung in Frage.

2. Metallfadenglühlampen.

Neuerdings ist der Kohlenfadenlampe in der Metallfadenlampe ein so starker Konkurrent erwachsen, daß man ein allmähliches Verschwinden der Kohlenfadenlampe als wahrscheinlich hinstellen kann. Drei Metalle sind es, die man bisher in großem Maßstabe als Fadenmaterial elektrischer Glühlampen verwendet hat, nämlich *Osmium*, *Tantal* und *Wolfram*. Diese drei Metalle können in Fadenform erheblich höher erhitzt werden als der Kohlenfaden, ohne wie der letztere zu zerstäuben und auch noch ohne zu schmelzen. Glühlampen mit Fäden aus diesen Metallen brennen viel ökonomischer als Kohlenfadenlampen, beträgt doch z. B. der Stromverbrauch der Tantalampen nur etwa 1,5, der Wolframlampen wenig über 1—1,1 Watt pro Hefnerkerze.

Die von Auer erfundene *Osmiumlampe* ist wegen mancherlei Übelstände wieder aus dem Handel verschwunden; um so mehr vergrößern Tantal- und Wolframlampe ihr Feld. Wegen des gegenüber Kohle viel geringeren elektrischen Widerstandes der Metalle müssen die Metallfäden viel länger sein als Kohlenfäden, und man muß, um den langen Draht in der Glühbirne unterzubringen, eine Art von Zickzackwicklung wählen, wie dies Fig. 492 bei der *Tantallampe* zeigt. Dadurch, daß die Drahtalter in eine gläserne Mittelsäule eingeschmolzen sind, wird Kurzschluß zwischen den einzelnen Windungsstücken verhindert. Auch die Metallfadenlampen befinden sich in einer luftleeren Glashülle.

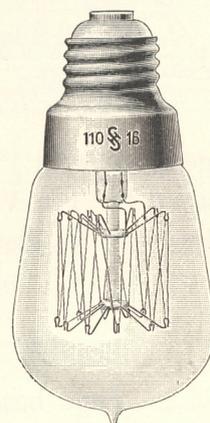


Fig. 492. Tantallampe.

Die *Wolframlampen* haben, wie erwähnt, noch erheblich geringeren Stromverbrauch als die Tantalampen, und wenn sie diese dennoch nicht zu verdrängen vermögen, so liegt das an ihrer hohen Empfindlichkeit gegen Stöße usw. Die Wolframlampen wurden bis in die letzte Zeit meistens nach dem *Spritzverfahren* hergestellt, bei dem man das Metall in kolloidaler Form mit Wasser zu einer Paste anrührt und diese durch feine Düsen hindurch in Fadenform preßt. Dagegen läßt man beim *Substitutionsverfahren* einen Kohlenfaden in einem Gemisch aus Wolframoxychlorid-dampf mit Wasserstoff glühen, wobei sich das Wolfram auf dem Kohlenfaden niederschlägt; durch nachherige Erhitzung auf Weißglut wird die Kohle des Fadens verflüchtigt, so daß reines Wolfram in Fadenform zurückbleibt. Nach einem dieser Verfahren hergestellte Wolframfäden sind nun eben gegen Erschütterungen sehr empfindlich, so daß sie beispielsweise in den Wagen von Straßenbahnen nicht verwendet werden können und auch für Tisch- und Zuglampen nicht empfehlenswert sind. Viel besser verhalten sich gegen mechanische Einflüsse die Tantalampen, deren Fäden direkt aus dem kompakten Tantalmetall *gezogen* werden. Jetzt werden aber auch Wolframlampen nach demselben Verfahren, also aus gezogenem Wolframdraht, hergestellt, die ebenfalls haltbarer sind als die nach anderen Verfahren erhaltenen.

Wolframlampen kommen unter zahlreichen Phantasienamen in den Handel, z. B. als *Osrاملampe*, *Kuzellampe*, *Kolloidlampe*, *Omegalampe* usw., auch als *Metallfadenlampe* schlechthin; Wolframlampen mit gezogenem Faden als *Wotanlampe* und *Metalldrahtlampe*.

Auch gezogene Metallfäden sind immerhin noch stoßempfindlicher als Kohlenfäden, so daß zunächst der Kohlenfadenlampe noch gewisse Gebiete verbleiben. Hierzu trägt auch bei, daß die Metallfadenlampen wesentlich teurer sind als Kohlenfadenlampen, wiewohl der Preis schon sehr ermäßigt worden ist.

Auf andere Metallfadenlampen, wie die *Helionglühlampe* (Kohlenfaden mit einem Mantel von Siliziummetall) und die *Zirkonlampe*, kann hier nicht eingegangen werden.

3. Nernstlampe.

Eine besondere Stellung unter den Glühlampen nimmt die Nernstlampe ein, da ihr Glühkörper aus *Metalloxyden* besteht und — ebenfalls im Gegensatz zu Kohlenfaden- und Metallfadenlampen — *in freier Luft* glüht. Die Form des Nernstglühkörpers ist die eines *Stäbchens* aus Magnesia mit Zer- und Thoroxyd. Da die Oxyde dieser Erdmetalle bei niedriger Temperatur außerordentlich hohen elektrischen Widerstand haben und erst in erhitztem Zustande den Strom leiten, ist es nötig, das Glühstäbchen der Nernstlampe vorzuwärmen: Der Strom bringt (Fig. 493) eine Heizspirale 1—2 zum Glühen und erhitzt dadurch das im Innern sitzende Glühstäbchen 3. Hierdurch wird der Widerstand des Glühkörpers geringer, so daß er selbst den Strom leitet und nun in Weißglut gerät. Jetzt wird die parallel zum Glühstäbchen geschaltete Heizspirale 1—2 stromlos, und zwar dadurch, daß der Hauptstrom, weil er das Glühstäbchen 3 passieren kann, auch die Windungen des kleinen Elektromagnets 4 durchfließt, so daß der Anker 5 angezogen und der Heizstromkreis geöffnet wird.

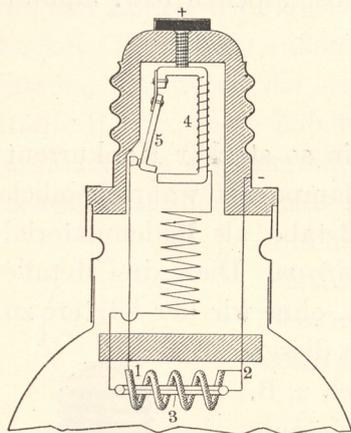


Fig. 493. Nernstlampe.

Die Nernstlampe ist vor allem eine Hochspannungslampe für 220 Volt, wird aber auch für 110 Volt gebaut; ihr Stromverbrauch ist 1,5 Watt pro Hefnerkerze. Unter der Konkurrenz der Metallfadenlampe verschwindet die Nernstlampe allmählich aus dem Verkehr.

B. Elektrische Bahnen.

Eine besondere Form der elektrischen Kraftübertragung bildet die Ausnutzung der elektrischen Energie zum Transport von Fahrzeugen. Dies gilt wenigstens für die gebräuchlichsten Systeme elektrischer Bahnen. Ohne Fernübertragung arbeiten nur solche Bahnen, die ihre Stromquelle mit sich führen, also Akkumulatorenwagen und benzolelektrische Triebwagen.

Die Möglichkeit, elektrische Energie den Fahrzeugen von weither zuzuführen, bietet große Vorteile gegenüber der Verwendung anderer Energieformen, bei denen es fast ausnahmslos nötig ist, daß das bewegte Fahrzeug die ganze Energiequelle mit sich führt. Das gilt vor allem für die Dampfeisenbahnen, bei denen der Heizstoff und das Wasser sowie der Dampfkessel außer der eigentlichen Dampfmaschine mittransportiert werden müssen. Wo dies nicht nötig ist, wie z. B. bei der feuerlosen Lokomotive (vgl. Abteilung „Eisenbahn“), beschränkt sich die Verwendung auf sehr kurze Strecken.

Zum Betriebe einer elektrischen Eisenbahn genügt es, an einem oder einigen Punkten der zu betreibenden Strecke ortsfeste Kraftquellen zu schaffen (Dampfmaschinen, Wasserturbinen usw.) und durch sie elektrische Generatoren treiben zu lassen. Die gewonnene elektrische Energie führt man durch Leitungen den Triebwagen der Bahn zu; die Wagen enthalten Elektromotoren, die die zugeführte elektrische Energie wieder in mechanische umwandeln und auf die Räder übertragen. Die Schwierigkeiten liegen dabei darin, den in Bewegung begriffenen Wagen den Strom sicher zuzuführen, also darin, daß die Stromleitung wegen der wechselnden Entfernung zwischen Stromquelle und Fahrzeug eine fortwährend wechselnde Länge haben muß.

W. v. Siemens, der Erfinder der elektrischen Bahnen, benutzte zuerst (1879) zur Stromzuführung die Schienen, und zwar zur Zuführung eine isolierte Mittelschiene, auf der eine Kontaktvorrichtung des Wagens schleifte, während die Stromrückführung durch die Räder und Außenschienen erfolgte. Dieses System ist aber wenig betriebssicher, da schon bei feuchter Witterung ein Stromübergang zwischen Mittel- und Außenschienen unvermeidlich ist, auch jeder quer auf das Gleis fallende Leiter Kurzschluß hervorruft. Zudem verbietet die Anordnung jede Verwendung höherer Spannungen wegen der Lebensgefahr bei etwaiger Berührung der Schienen.