

## 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.

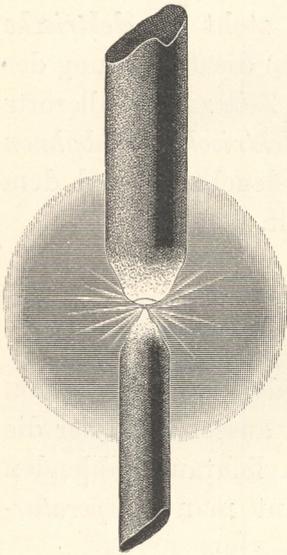


Fig. 463. Elektrischer Lichtbogen (Gleichstrom).

### 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.

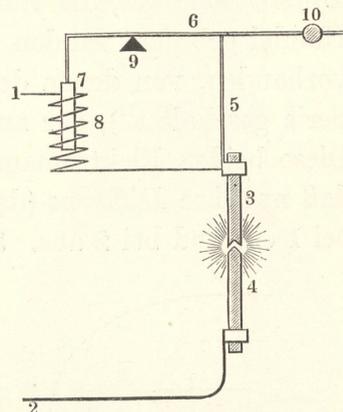


Fig. 464. Schema der Hauptstrombogenlampe.

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.

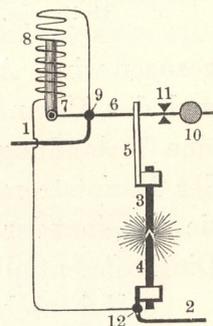


Fig. 465. Schema der Nebenschlußbogenlampe.

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

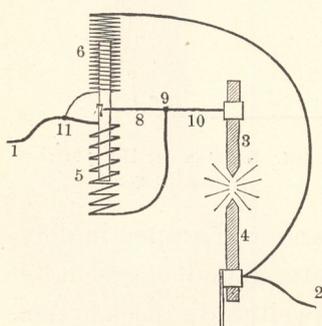


Fig. 466. Schema der Differentiallampe.

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. verlangsamernd. 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

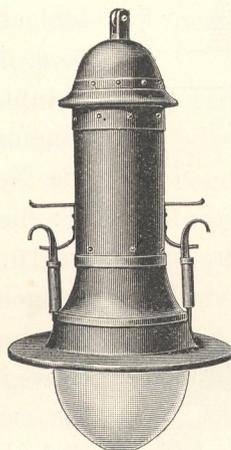


Fig. 468.

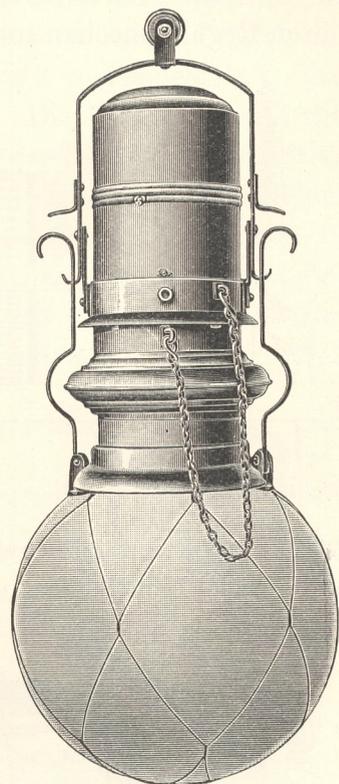


Fig. 467.

Fig. 467 und 468. Bogenlampen (Außenansicht).

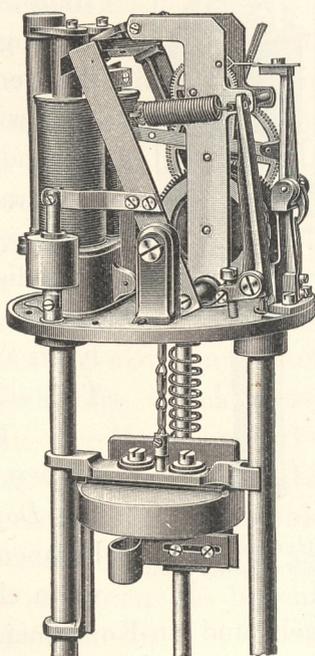


Fig. 469.

Nebenschlußbogenlampe von Körting &amp; Mathiesen.

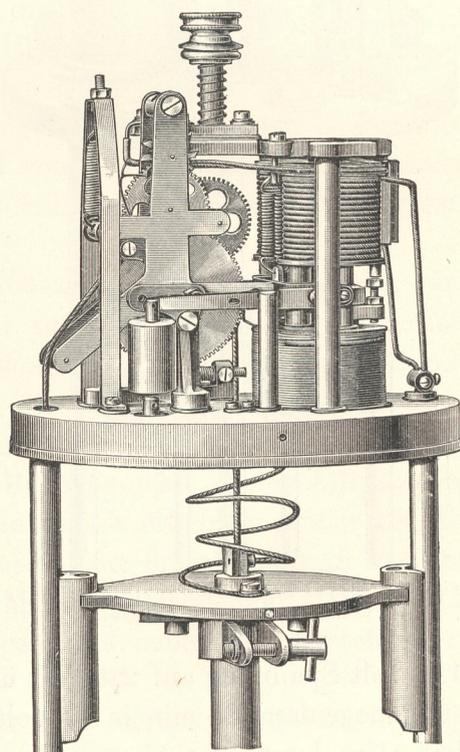


Fig. 470. Seillampe von Siemens &amp; Halske.

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.

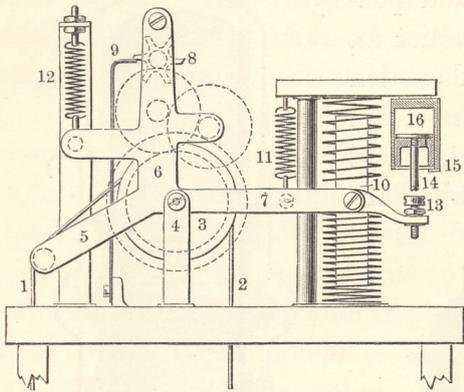


Fig. 471. Seillampe von Siemens & Halske.

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.

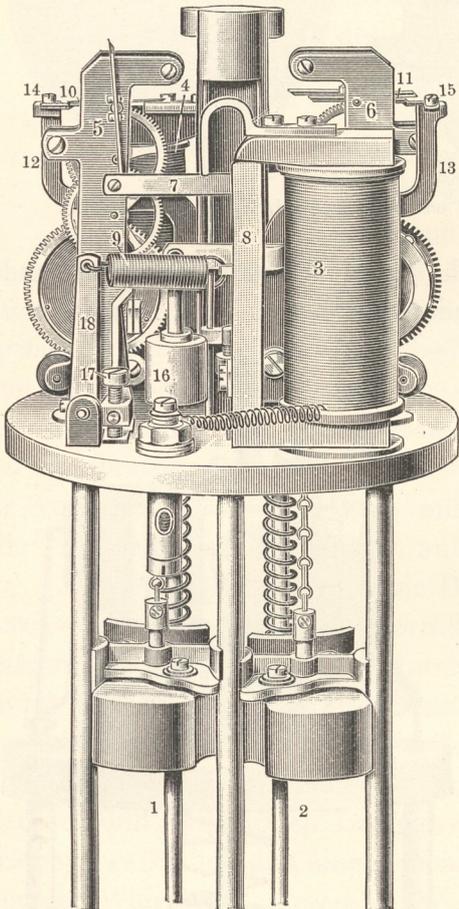


Fig. 473. Oberer Teil der Doppelbogenlampe von Körting & Mathiesen.

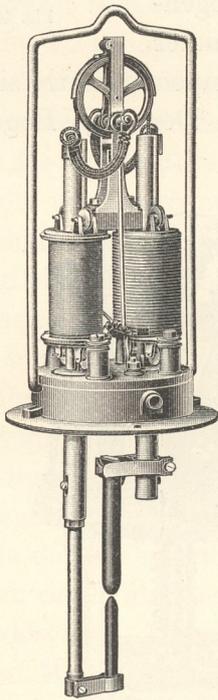


Fig. 472. Differentialbogenlampe, System Krizik.

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 Zweigstrom 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 Kohlenpaares nach dem Abbrennen des ersten können mechanische oder elektrische Mittel dienen. Zwecks elektrischer Umschaltung reguliert man beispielsweise die Nebenschlußspule des erst später abbrennen sollenden Kohlenpaares um wenige Volt höher ein als die Nebenschlußspule des zuerst zum Brennen bestimmten Kohlenpaares. 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

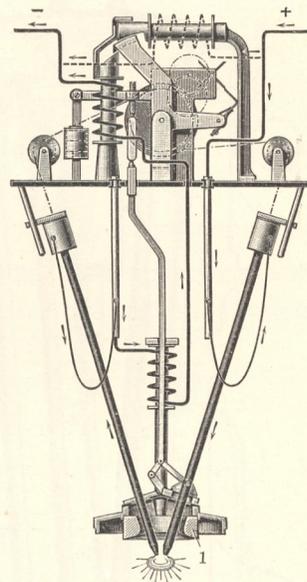


Fig. 474. Bogenlampe mit horizontalem Lichtbogen von Körting & Mathiesen.

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

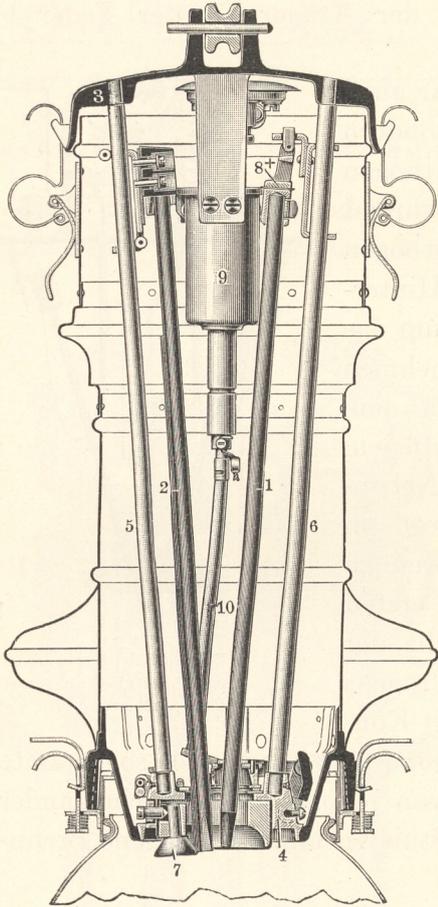


Fig. 475. Becklampe.

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.

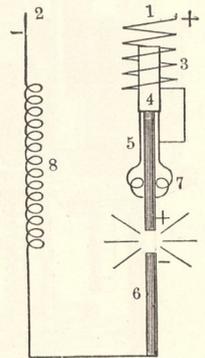


Fig. 476. Schema der Reginalampe.

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.

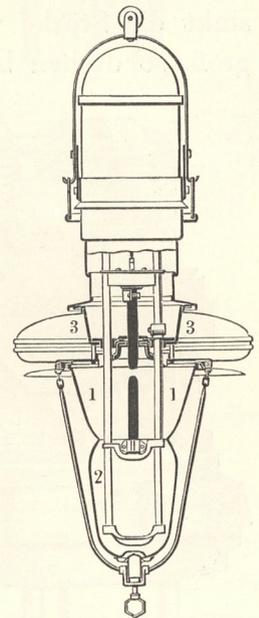


Fig. 477. Dauerbrand-Flammenbogenlampe der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

#### 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.

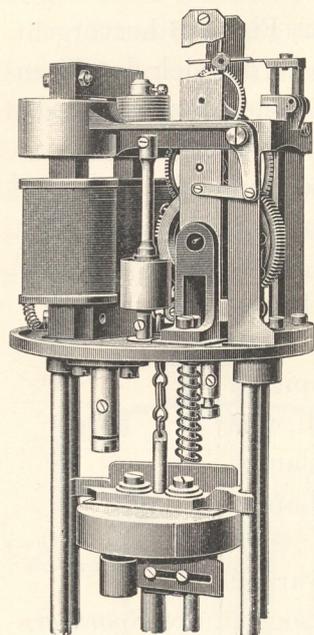


Fig. 478. Nebenschlußlampe für Wechselstrom von Körting & Mathiesen.

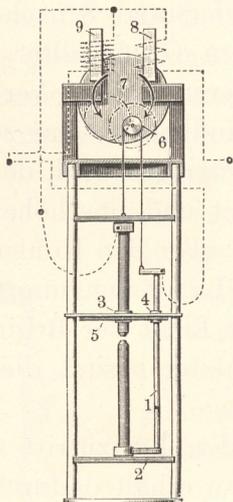


Fig. 479. Wechselstrombogenlampe von Schuckert.

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.

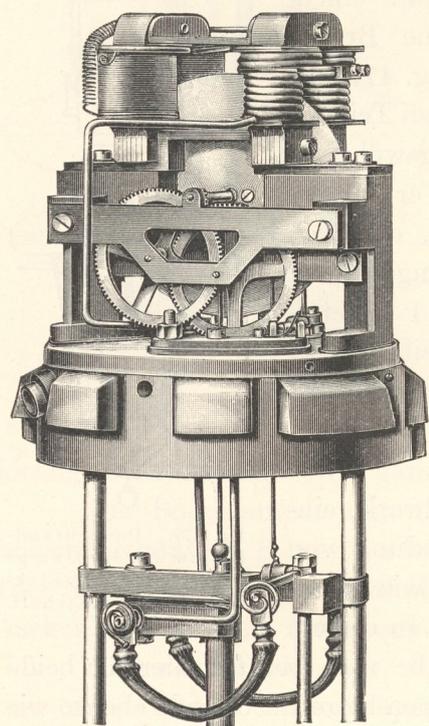


Fig. 480.

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

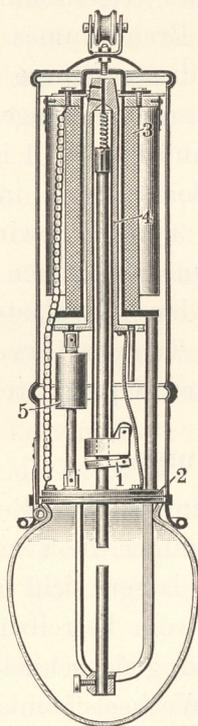


Fig. 481.

**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.

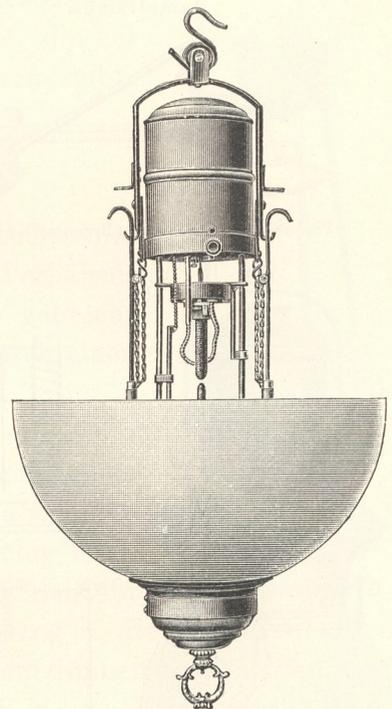


Fig. 482. Halbindirekte Bogenlampen-Beleuchtung.

## 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

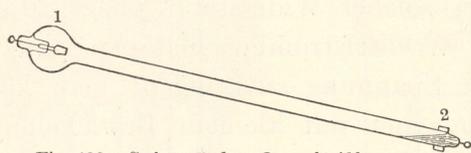


Fig. 483. Schema der Quecksilberdampf Lampe.

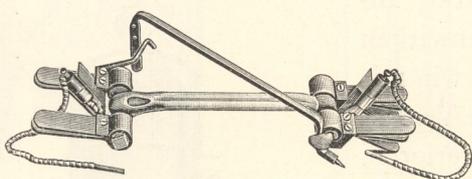


Fig. 485. Quarzrohr (Brenner) der Quarzlampe.

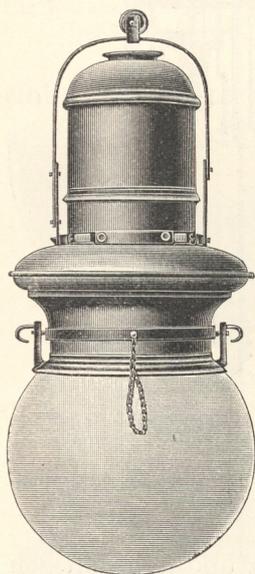


Fig. 484. Quarzlampe, Außenansicht.

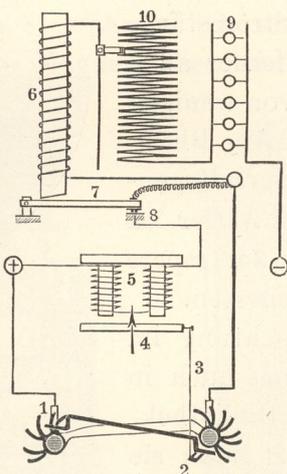


Fig. 486. Schema des Kippmechanismus der Quarzlampe.

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  $200^{\circ}$  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

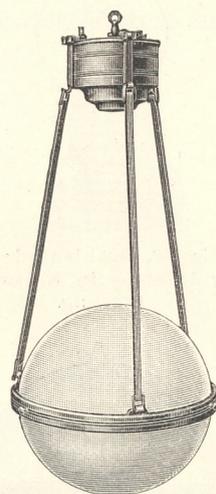


Fig. 487. Quarzlampe Saturn für automatische Zündung.

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.

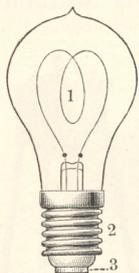


Fig. 488. Kohlenfadenlampe in Edisonfassung.

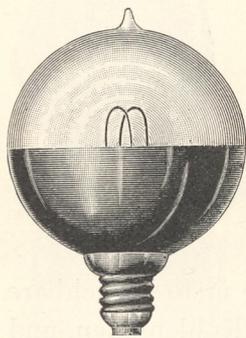


Fig. 491. Reflektorlampe.

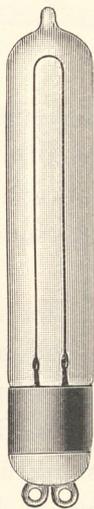


Fig. 489. Röhrenlampe.

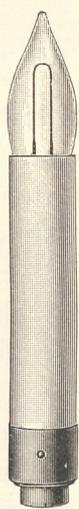


Fig. 490. Kerzenlampe.

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.

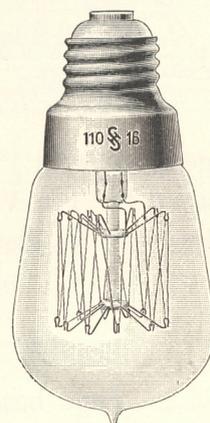


Fig. 492. Tantallampe.

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 *Osramlampe*, *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.

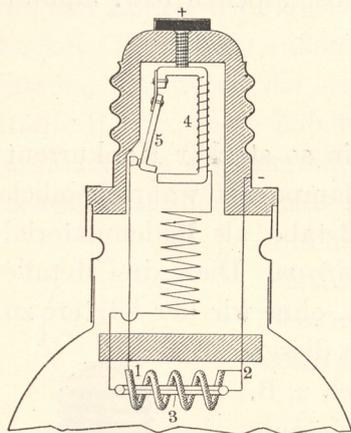


Fig. 493. Nernstlampe.

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.

Man teilt die elektrischen Bahnen nach der Art der Stromzuführung, d. h. nach der Form der *Arbeitsleitungen*, ein in: 1. *Bahnen mit oberirdischer Stromzuführung*, 2. *Bahnen mit unterirdischer Stromzuführung*, 3. *Bahnen mit dritter (Strom-) Schiene* und 4. *Bahnen ohne äußere Stromzuführung*.

Nach der Art des Verwendungszweckes unterscheidet man *Straßenbahnen*, *Stadtbahnen*, *Vollbahnen (Fernbahnen)* und *Industriebahnen*.

## I. Elektrische Straßenbahnen.

### 1. Straßenbahnen mit oberirdischer Stromzuführung.

Für Straßenbahnen kommt die oberirdische Stromzuführung am meisten in Betracht. Das

Schema einer Straßenbahn mit Oberleitung zeigt Fig. 494. In Wirklichkeit ist die Anordnung nicht so einfach, denn sonst würde ein Drahtbruch an irgendeiner Stelle den Betrieb auf der ganzen Strecke unterbrechen, was nicht geschehen darf. Man

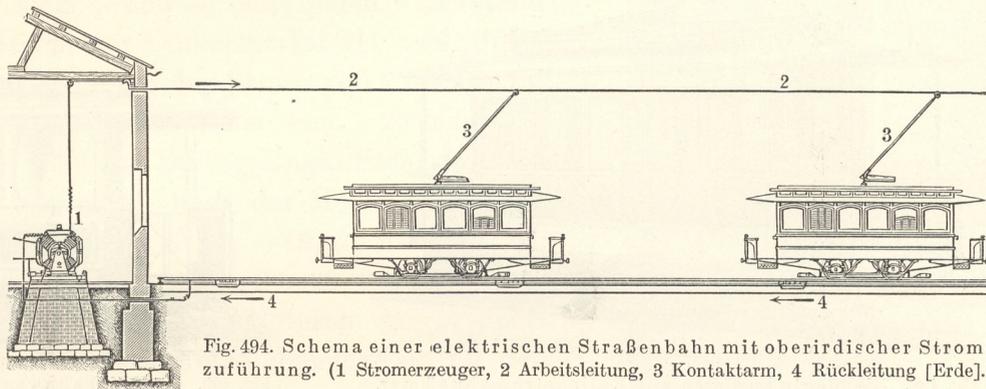


Fig. 494. Schema einer elektrischen Straßenbahn mit oberirdischer Stromzuführung. (1 Stromerzeuger, 2 Arbeitsleitung, 3 Kontaktarm, 4 Rückleitung [Erde].)

führt deshalb vom Generator längs der Strecke eine Hauptstromleitung (*Speiseleitung*), die aber nicht von den Wagenkontakten berührt wird, sondern vor allen Beschädigungen geschützt liegt. Der eigentliche *Fahrdraht (Trolleyleiter)*, über den Gleismitten, wird in Abständen von je 100 bis 300 m mit Strom aus der Speiseleitung versorgt (Schema Fig. 495), so daß bei Störung der Fahrleitung nur eine kurze Strecke stromlos wird.

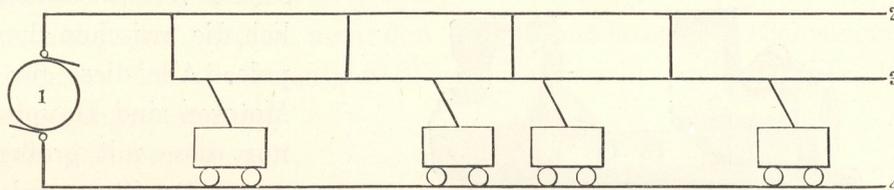


Fig. 495. Schema einer elektrischen Straßenbahn mit oberirdischer Stromzuführung und besonderer Speiseleitung. (1 Stromerzeuger, 2 Speiseleitung, 3 Arbeitsleitung [Fahrdraht], 4 Rückleitung [Schiene].)

Der Fahrdraht (Siliziumbronzedraht) ist isoliert an Querdrähten aus Stahl und mittels dieser, nochmals isoliert, zwischen Rohrmasten aufgehängt (Fig. 496), an deren Stelle oftmals auch Wandrosetten oder Auslegermasten treten.

Als Stromabnehmer vom Fahrdraht dient eine *Kontaktrolle (Trolley, Fig. 497)*, deren Haltestange auf dem Wagendach mittels eines Gelenkes befestigt ist (wegen der wechselnden Höhe des Fahrdrahtes) und durch Federn gegen den Draht gedrückt wird. Einen Straßenbahnwagen mit Rollenkontakt zeigt Fig. 498. Da die Rolle nicht selten vom Fahrdraht abspringt, verwendet man häufig statt ihrer einen *Gleitbügel* (Fig. 499).

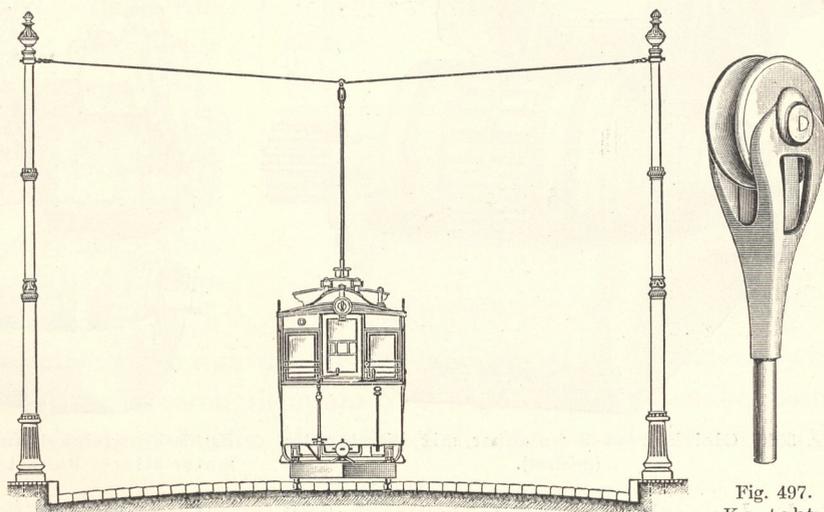


Fig. 496. Aufhängung der Leitung zwischen Rohrmasten.

Fig. 497. Kontaktrolle.

Für hohe Geschwindigkeiten ist der Bügelstromabnehmer die einzig mögliche Kontaktvorrichtung; namentlich wird durch sie die Führung der Drähte über Kurven und Weichen viel einfacher.

Der unten im Wagengestell sitzende Elektromotor ist, um gegen Beschädigungen, Staub und Schmutz geschützt zu sein, vollständig eingekapselt (*Kapselmotor*). Die Übertragung von ihm auf die Radachsen geschieht durch Zahnräder (einfaches Stirnradvorgelege 1:4 bis 1:6). Für Straßenbahnen kommt meistens Gleichstrom von 500—1000 Volt Spannung zur Anwendung. Einen älteren Gleichstrom-Bahnmotor zeigt (geöffnet) Fig. 500. Neuerdings rüstet man die

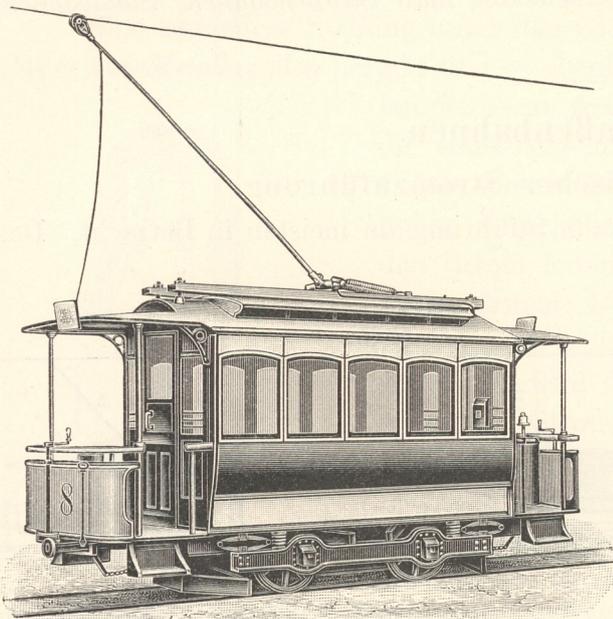


Fig. 498. Straßenbahnwagen mit Rollenstromabnehmer.

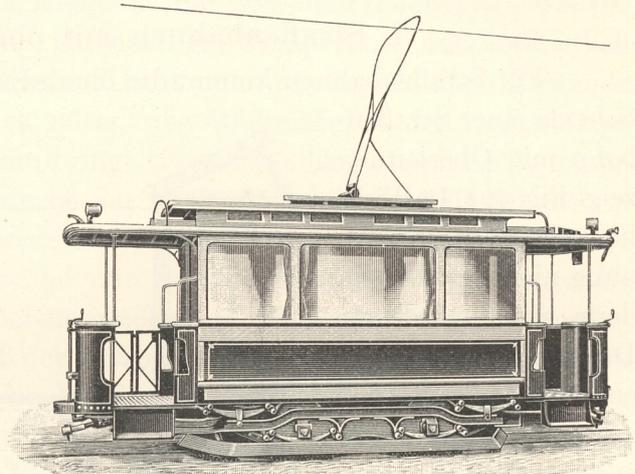


Fig. 499. Straßenbahnwagen mit Bügelstromabnehmer.

Motoren mit Wendepolen (vgl. S. 160) aus, und zwar zu dem Zweck, die Funkenbildung an den Bürsten zum Verschwinden zu bringen; einen solchen Motor der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft veranschaulicht Fig. 501; man erkennt deutlich die zwischen den Hauptpolen liegenden Wendepole. Alle diese für den Bahnbetrieb verwendeten Motoren sind Hauptstrommotoren (vgl. S. 172), da nur diese mit großer Zugkraft anlaufen.

Der Strom gelangt von dem Schleifkontakt aus nicht direkt zum Motor, sondern muß vorher einen *Fahrschalter* (*Kontroller*) passieren, der am Platze des Wagenführers angeordnet ist und dazu dient, die Geschwindigkeit des Wagens zu regeln sowie bei Bedarf auch die Fahrtrichtung umzukehren. Einen Fahrschalter zeigt (geöffnet) Fig. 502. Auf einer Walze, die vom Wagenführer mittels Kurbel gedreht wird, sitzt übereinander eine Reihe von Kontaktstücken, auf denen Federn schleifen können. Die Kontaktstücke werden mit den Ankerdrähten, mit der Magnetwicklung und mit Drahtwiderständen je

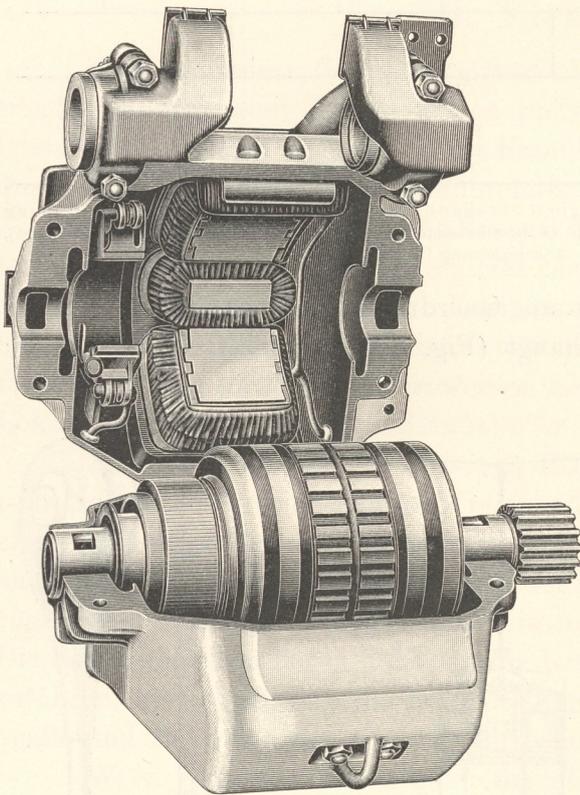


Fig. 501. Gleichstrom-Bahnmotor mit Wendepolen (geöffnet).

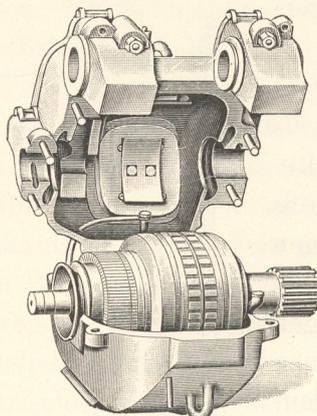


Fig. 500. Gleichstrom-Bahnmotor älterer Bauart (geöffnet).

nach den schleifenden Federpaaren in verschiedener Weise verbunden. Die Geschwindigkeit verändert man durch Einschaltung von Widerständen in den Stromkreis oder dadurch, daß man die mehrfach unterteilte Magnetwicklung parallel oder hintereinander schaltet. Damit der Motor rückwärts läuft, muß man die Stromrichtung im Anker oder in den Magneten (nicht in beiden

gleichzeitig!) umkehren, wozu der Kontroller noch eine zweite Walze (*Reversierwalze*) enthält, die nur bei Fahrtrichtungsänderungen benutzt wird. Das Schema eines ganz einfachen Fahrschalters mit Reversierwalze zeigt Fig. 503; die Geschwindigkeitswalze ist mit I, die Reversierwalze mit III bezeichnet; II ist das System der Schleiffedern. Der Strom gelangt zuerst nach 1; bei der ersten Stellung von I geht er von 1 nach 10, 11, 2, dann durch alle fünf zwischen 2 und 7 eingeschalteten Widerstände und darauf erst zum Motor, der aus der Magnetwicklung 19 und dem Anker 20 besteht. Durch Weiterdrehen der Kurbel I werden die Widerstände nach und nach ausgeschaltet, so daß der Wagen immer schneller läuft. Schleift z. B. Kontakt 16 auf 7, so geht der Strom von 1 über 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 nach 7 und so ohne jeden Widerstand zum Motor. Steht der Hebel der Umkehrwalze III nach links, so läuft der Motor vorwärts, indem der Strom von 7 über +19, -19, 21, 22, 23, 26, dann durch den Anker von -20 bis +20, nach 27, 24, 25, 28, 8, 17, 18, 9 zur Erde gelangt. Steht dagegen der Hebel von III nach rechts, so läuft der Motor rückwärts, denn der Strom gelangt von 7 über +19, -19, 21 nach 29, 31, 27, durch den Anker von +20 nach -20, 26, 30, 32, 28, 8, 17, 18, 9 zur Erde, d. h. die Stromrichtung durch die Magnetwindungen ist dieselbe geblieben, während diejenige durch den Anker umgekehrt worden ist.

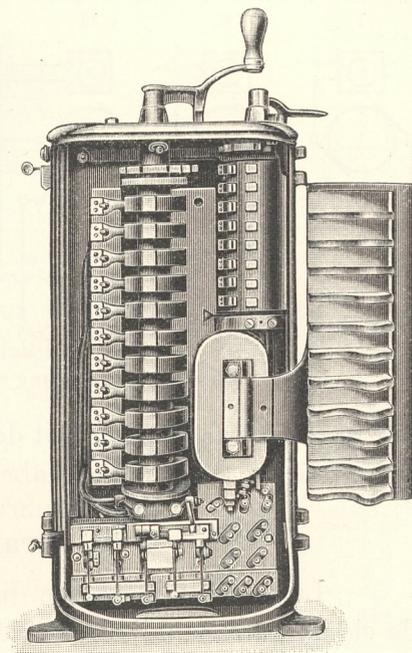


Fig. 502. Fahrschalter, geöffnet.

Da an den Kontaktstücken der Fahrschalter leicht Lichtbogen entstehen, so enthält der Fahrschalter noch eine magnetische Ausblasevorrichtung. Auch weist jede Stirnseite des Wagens einen besonderen Fahrschalter auf, damit man den Wagen nach beiden Richtungen führen kann, ohne ihn umzudrehen. Auf die sonstigen Sicherheitsvorrichtungen der Wagen soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

Größere Straßenbahnwagen sind immer mit mehreren Motoren ausgestattet; auch hat das Fahrgestell sehr häufig mehr als zwei Achsen.

Enthält der Wagen mehrere Motoren, so legt man sie zusammen in eine Schaltung (Fig. 504); in der Figur bezeichnet 1 den ersten Motor, 2 den zweiten Motor und 3 den Widerstand. Beim Anfahren (Stellung I der Figur) schaltet man beide Anker und beide Magnete mit dem Widerstand in Reihe. Zur Erhöhung der Geschwindigkeit werden die Widerstände allmählich abgeschaltet; ist dies ganz erfolgt (II), so hat die Geschwindigkeit die Hälfte des Wertes, den jeder Motor erreichen würde, wenn er allein an der Spannung läge. Zwecks weiterer Geschwindigkeitssteigerung schaltet man nun beide Motoren parallel und legt dabei wiederum den Widerstand vor (III). Letzterer wird dann wieder allmählich abgeschaltet, bis die Motoren allein am Netz liegen (IV), und endlich kann man für größte Tourenzahlen den Widerstand beiden Magnetwickelungen parallel schalten (V).

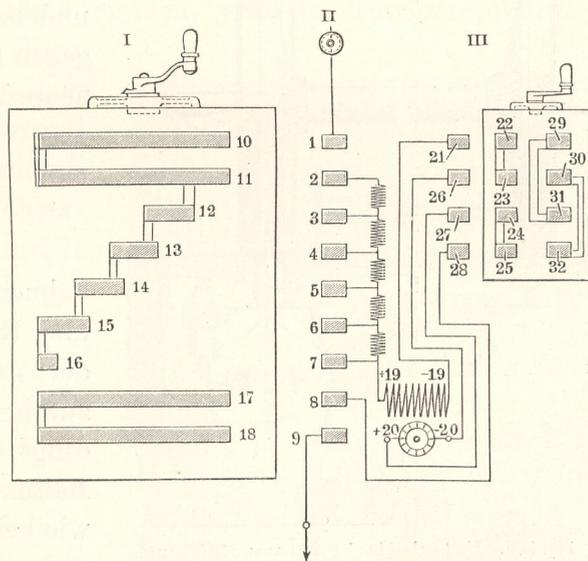


Fig. 503. Schema eines einfachen Fahrschalters.

## 2. Straßenbahnen mit unterirdischer Stromzuführung.

Solche sind in der Anlage viel teurer als Bahnen mit Oberleitung und werden nur noch verhältnismäßig selten angelegt. Bei diesem System bestehen die beiden Arbeitsleitungen (Hin- und Rückleitung) aus schmiedeeisernen, meist T-förmigen Profilleisen, die unterirdisch liegen, und

zwar dient zu ihrer Aufnahme ein im Straßenkörper liegender Kanal aus Beton, in dem die Profileisen auf Isolatoren ruhen. Gewöhnlich liegt der Kanal unter einer der Fahrschienen, so daß diese, die dann zweiteilig ausgeführt wird, die Decke des Kanals bildet und im Scheitel einen Schlitz von ca. 30 mm Breite freiläßt. Der Schlitz dient zur Einführung des unterirdischen Stromabnehmers und außerdem als Spurrille für die Spurkränze der Räder (Fig. 505). Zwei bewegliche

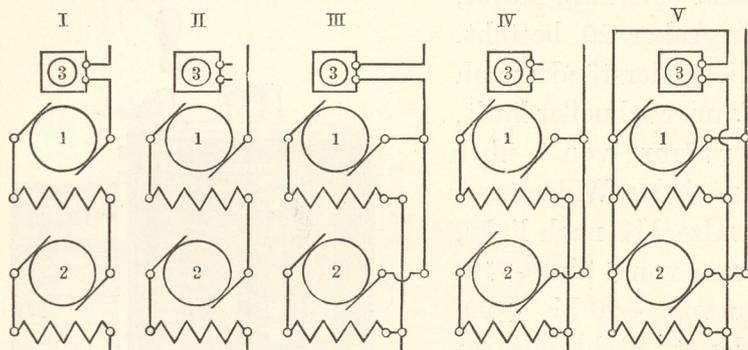


Fig. 504. Zusammenschaltung zweier Wagenmotoren.

(federnde) Zungen des Stromabnehmers legen sich nach Durchführung durch den Schlitz auf die Stromschienen auf und gleiten während der Fahrt auf ihnen entlang; sie führen Strom den Motoren zu und wieder zurück (*zweipolige* Ausführung). In Amerika findet sich ein ähnlicher Schlitzkanal häufig in der Mitte zwischen beiden Fahrschienen angeordnet. Daß die unterirdische Stromzuführung wenig verbreitet ist, erklärt sich nicht

nur durch die Kostspieligkeit der Anlage, sondern auch dadurch, daß in Gegenden, die mit größeren Schneefällen zu rechnen haben, leicht Betriebsstörungen eintreten.

### 3. Straßenbahnen mit Akkumulatorenwagen.

Lange Zeit herrschte die Tendenz, elektrische Oberleitungen in den Städten zu verbieten, da sie das Straßenbild beeinträchtigen sollten. Unter diesen Umständen versuchte man, Straßenbahnen mit Akkumulatoren zu betreiben. Die Akkumulatorenbatterie war unter den Sitzen angebracht und wurde an den Endpunkten der Fahrstrecke geladen. Diese Betriebsart hat sich aber als durchaus unwirtschaftlich erwiesen und ist für Straßenbahnen ganz wieder verschwunden. Dagegen beginnen sich Akkumulatorenwagen für andere Zwecke neuerdings einzuführen; wir kommen darauf Seite 226 zurück.

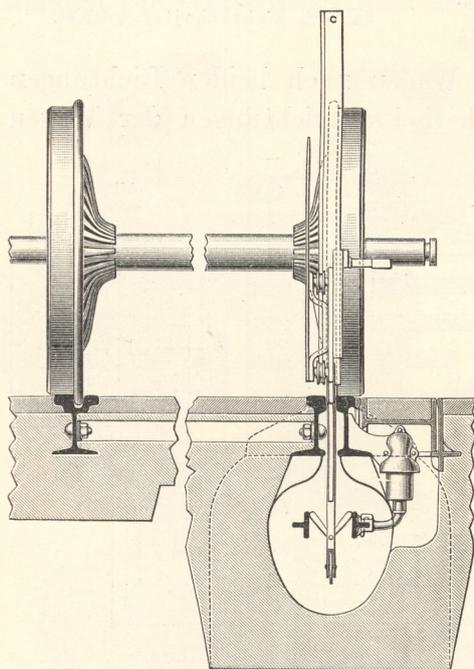


Fig. 505. Unterirdische Stromzuführung.

so daß zufällige Kurzschlüsse kaum zu befürchten sind. Wo solche doch möglich sind, wird die Stromschiene einseitig überdacht. Fig. 506 zeigt die Anordnung der Stromschiene, Fig. 507 die Art der Stromabnahme; dabei ist meist jeder Stromabnehmer doppelt am Wagen vorhanden.

Bei der oberirdischen Stromzuführung der Fernbahnen legt man besonderen Wert darauf, daß der Fahrdrabt keinen starken Durchhang hat. Vielmehr muß der Draht möglichst wagerecht liegen, damit die Stromabnehmerbügel trotz der großen Geschwindigkeit sicher am Draht entlang gleiten. Dieser Durchhang wäre aber bei einfacher Aufhängung um so mehr zu erwarten, als der Fahrdrabt bei langen Strecken und mit Rücksicht auf die erforderliche Festigkeit verhältnismäßig stark genommen werden muß, also hohes Gewicht hat. Deshalb verbindet man neuerdings

bahnen mit Akkumulatoren zu betreiben. Die Akkumulatorenbatterie war unter den Sitzen angebracht und wurde an den Endpunkten der Fahrstrecke geladen. Diese Betriebsart hat sich aber als durchaus unwirtschaftlich erwiesen und ist für Straßenbahnen ganz wieder verschwunden. Dagegen beginnen sich Akkumulatorenwagen für andere Zwecke neuerdings einzuführen; wir kommen darauf Seite 226 zurück.

## II. Elektrische Fernbahnen.

Unter *Fernbahnen*, als Gegensatz zu den Straßenbahnen, sind hier auch die elektrisch betriebenen Stadt- und Ringbahnen zu verstehen. Bei diesen kommt außer der oberirdischen Stromzuführung vorzugsweise die Stromzuführung *mittels dritter Schiene* in Betracht, wobei allerdings ein besonderer, von anderem Verkehr abgeschlossener Bahnkörper Bedingung ist. Die Stromschiene ist aber nicht, wie bei der ersten Siemesschen Bahn, zwischen den Schienen angeordnet, sondern seitwärts vom Gleis und etwas erhöht,

(Fig. 508) den Fahrdrabt mit einem über ihm in Form einer Kettenlinie aufgehängten stählernen Tragedraht oder Trageseil in kurzen Abständen. Diese Aufhängung macht außerdem im Fall eines Drahtbruches das Herabfallen des stromführenden Fahrdrabtes auf die Erde unmöglich.

### 1. Vollbahnen mit Gleichstrom.

Als man anfang, den elektrischen Betrieb über das Gebiet der Straßenbahnen hinaus auf die Vollbahnen zu übertragen, benutzte man naturgemäß auch hier zunächst Gleichstrom. Dabei ließ man die Züge durch eine vorgespannte *elektrische Lokomotive* ziehen, die die Motoren enthielt, und der der Strom durch Oberleitung oder eine Seitenschiene zugeführt wurde. Diese Versuche hatten jedoch, wenigstens bei eigentlichen Fernbahnen, wenig Erfolg, und man beschränkte sich daher auf Stadt- und Vorortbahnen. Die Lokomotive nahm dann die Form des *Triebwagens* an, der nur in kleinen Stirnabteilungen die elektrischen Bedienungsapparate enthält, im übrigen aber gleichzeitig als Personenwagen dient. Ein oder mehrere Triebwagen ziehen eine Reihe anderer, nicht mit Elektromotoren ausgestatteter *Beiwagen (Anhängewagen)*.

Bei solchen Zügen, deren Triebkraft sich auf mehrere Triebwagen verteilt, ist die Anordnung eines gewöhnlichen Kontrollers im Führerstand schwierig und wird bei größeren Zügen ganz unmöglich, weil dann der Controller für die große Stromstärke sämtlicher Motoren des Zuges zu bemessen wäre, und weil alle Wagen durch zahlreiche Starkstromkuppelungen verbunden werden müßten. Man ordnet deshalb bei größeren Zügen in jedem Triebwagen Fahrschalter unter den Sitzen oder Wagenkasten an, versieht die Walzen mit kleinen Motoren und regelt diese alle zugleich vom jeweiligen vorderen Führerstande aus mittels eines kleineren Fahrschalters für die schwachen Steuerströme. Hierbei ist die Leitungskuppelung für die Steuerströme einfach, und die Starkstromkuppelungen können größtenteils oder ganz erspart werden. Statt der Schaltwalzen für die Motorströme ordnet man auch Einzelschalter, sogenannte *Schützen*, an (*Schützensteuerung*) und öffnet oder schließt sie elektromagnetisch oder mittels Druckluftkolben; die *Meisterwalze* (Steuerschalter) im Führerstande steuert dabei die Elektromagnete der Schützen direkt oder aber die mit Elektromagneten versehenen Ventile des Druckluftantriebes.

Zum Bremsen werden die Motoren von der Oberleitung abgeschaltet und durch regelbare Widerstände kurzgeschlossen. Die Motoren arbeiten dann als Generatoren, deren Antriebskraft die lebendige Kraft des Wagens ist; man bezeichnet diese Anordnung als *elektrische Bremse* oder *Kurzschlußbremse*. Sie wirkt bei schneller Fahrt rasch verlangsamend, muß aber zum Anhalten sowie zur Hemmung auf fallender Strecke durch eine mechanische Bremse unterstützt werden. Beim Betrieb mit Anhängewagen führt man vielfach durch Kuppelungen den beim Bremsen erzeugten Strom statt in Widerstände in Magnetbremsen des Anhängewagens. Die *Magnetbremse* besteht aus Ankerscheiben, die auf den Wagenachsen festgekeilt sind, also mit umlaufen; in geringer Entfernung vor den Ankerscheiben sitzt am Untergestell ein unbewegliches Elektromagnetsystem, das bei Erregung durch den Bremsstrom die Ankerscheibe anzieht und die Drehung der Wagenachse hemmt.

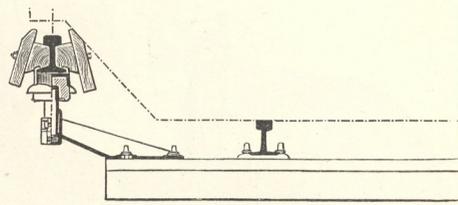


Fig. 506. Anordnung der Stromschiene.

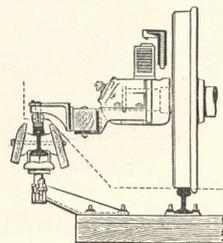


Fig. 507. Stromabnehmer auf der Stromschiene.

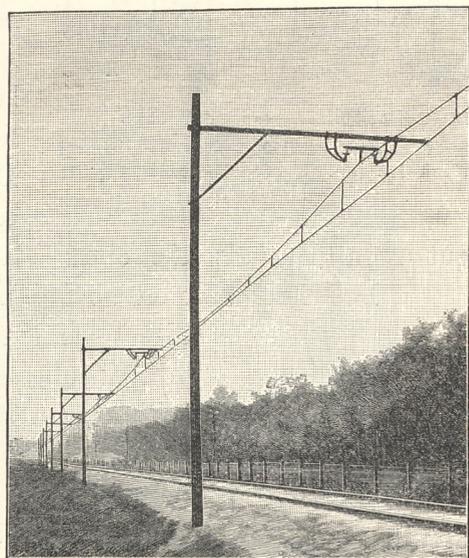


Fig. 508. Kettenaufhängung der Fahrleitung.

## 2. Vollbahnen mit Wechselstrom.

Für die elektrische Kraftübertragung auf größere Entfernungen eignet sich (vgl. S. 197) nur hochgespannter Wechselstrom. Zuerst verfiel man für den Bahnbetrieb auf den *dreiphasigen*

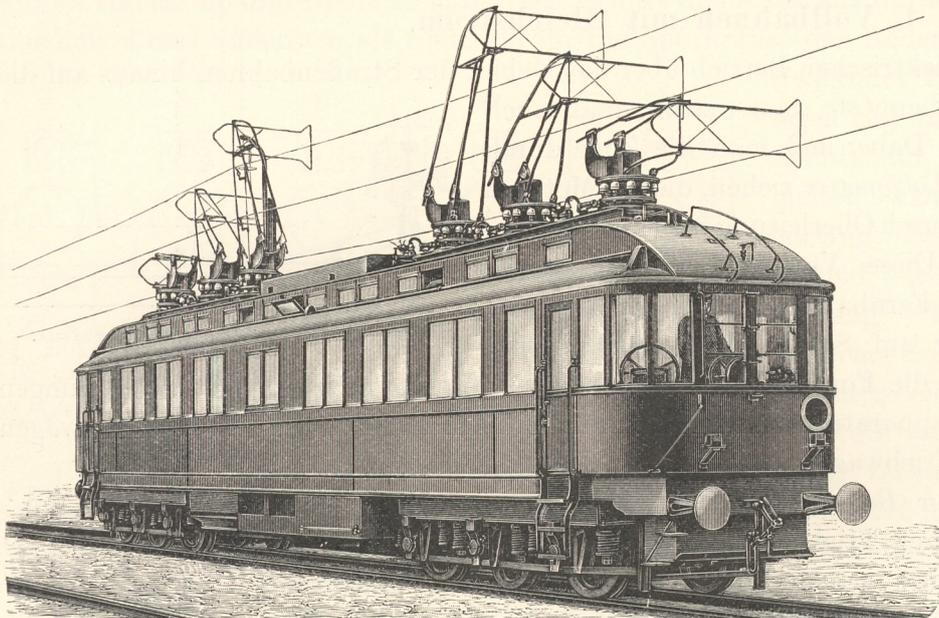


Fig. 509. Wagen der elektrischen Versuchsschnellbahn.

Wechselstrom (Drehstrom), da es zu jener Zeit (um 1900) Einphasenmotoren für den Bahnbetrieb noch nicht gab. Es bliebe freilich auch der Weg, den hochgespannten Wechselstrom zu besonderen, an der Bahnstrecke gelegenen Unterstationen zu leiten und ihn dort in Gleichstrom umzuwandeln, der dann den Arbeitsleitungen zugeführt wird. Aber solche Unterstationen sind teure Anlagen und müssen in verhältnismäßig geringen Entfernungen vorhanden sein.

Bei direkter Verwendung des Wechselstroms in den Bahnmotoren kann man wieder noch verschieden verfahren: Entweder wandelt man die Hochspannung in Transformatoren in Niederspannung um, die mittels der Arbeitsleitungen den Wechselstrommotoren der Fahrzeuge zugeführt wird. Oder man führt die Hochspannung den Arbeitsleitungen und Fahrzeugen direkt zu und transformiert erst im Wagen nur für die zu bedienenden Apparate und den entsprechenden Teil der Motoren den jeweils nötigen Stromteil in Niederspannung.

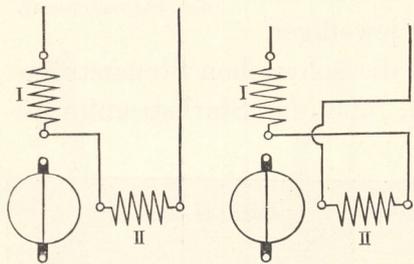


Fig. 510.

Fig. 511.

Schema des Repulsionsmotors mit zwei Wickelungen. Fig. 510 Rechtslauf, Fig. 511 Linkslauf.

Der Drehstrom hat aber viele Nachteile. Vor allem verlangt er drei Leitungen, was bei großen Strecken eine erhebliche Verteuerung der Anlage nach sich zieht; außerdem hat der Drehstrommotor die Eigenschaften des Gleichstrom-Nebenschlußmotors, d. h. seine Geschwindigkeit läßt sich weniger gut regulieren als die eines Hauptstrommotors.

Drehstrombahnen sind immerhin in großer Zahl gebaut worden, und man hat mittels dieses Systems auch die höchsten bisher überhaupt erreichten Eisenbahngeschwindigkeiten erzielt.

Dies geschah bei Schnellbahnversuchen auf der Militärbahn zwischen Marienfelde und Zossen in den Jahren 1901—03, wo man mit Motorwagen der in Fig. 509 abgebildeten Form Stundengeschwindigkeiten bis zu 210 km erreichte. Die Wagen, die mit zweimal drei Kontaktarmen ausgerüstet waren, hatten beim Anfahren einen Kraftbedarf zwischen 550 und 1000 PS, während dieser in gleichförmiger Fahrt bei einer Geschwindigkeit von 90 km sich auf 245 PS, bei 140 km Geschwindigkeit sich bereits auf 707 PS belief.

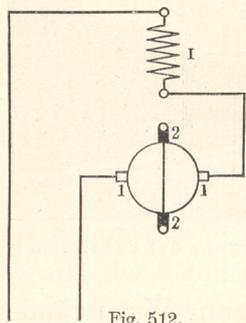


Fig. 512.

Schema des Winter-Eichberg-Motors.

Seitdem man brauchbare Einphasenmotoren besitzt, wird der Drehstrom für den Bahnbetrieb immer mehr durch den einphasigen Wechselstrom verdrängt. Die Induktionsmotoren für Einphasenstrom sind für den Bahnbetrieb unverwendbar, weil sie den Forderungen nicht genügen: mit voller Last anzugehen und in Tourenzahl und Drehungsrichtung weitgehend verändert werden zu können. Um so mehr eignen sich dafür die

*Kommutatormotoren* (vgl. S. 173), und zwar sowohl in der Form des Serienmotors als des Repulsionsmotors. Das Schema des letzteren ist in Fig. 371, S. 173, dargestellt. Will man einen Repulsionsmotor umsteuern, wie dies ja für Bahnbetriebe oft nötig ist, so muß man die Bürstenbrücke nach der entgegengesetzten Seite verschieben. Gewöhnlich trifft man aber eine andere Anordnung: Man bringt zwei Statorwickelungen an, die aufeinander senkrecht stehen (Zweiphasenwicklung), und schaltet beide Wickelungen hintereinander (Fig. 510). Wickelung I will ein Feld in vertikaler Richtung, Wickelung II ein Feld in horizontaler Richtung hervorrufen; die Ankerbürsten stehen vertikal. Der Strom, der von Wickelung I (Induktionswicklung) aus durch Transformation im Anker erzeugt wird, bewirkt in dem von der Wickelung II (Erregerwicklung) hervorgerufenen Felde eine Drehung. Grundsätzlich ist zwischen dem Repulsionsmotor mit einfacher und dem mit zweifacher Statorwicklung kein Unterschied, denn wenn von

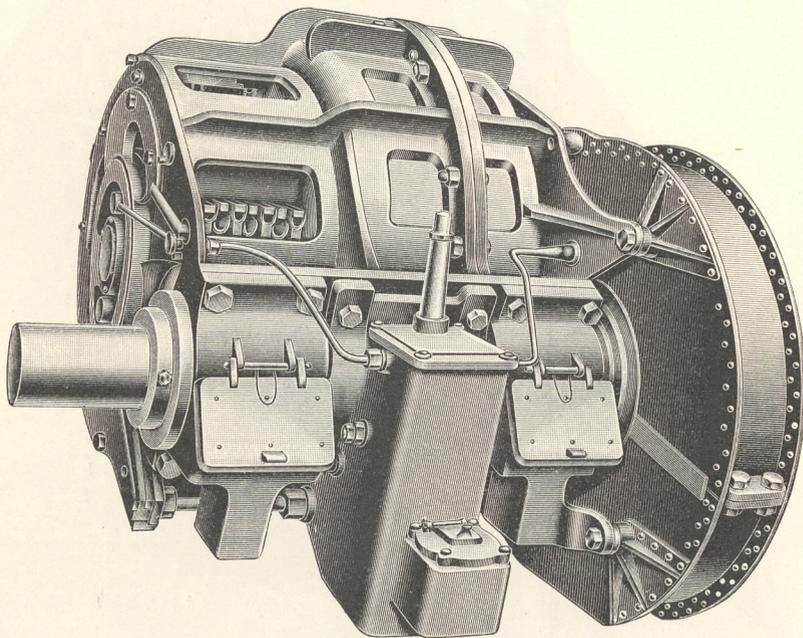


Fig. 513. Wechselstrommotor, Bauart Winter-Eichberg (350 PS Stundenleistung, 25 Perioden).

zwei Spulen die eine ein schwingendes Feld in senkrechter Richtung, die andere ein solches in wagerechter Richtung erzeugen will und beide von demselben Strome durchflossen werden, so ruft dies eine Schwingung in schräger Richtung (gegenüber den Ankerbürsten) hervor. Um die Drehrichtung eines solchen Motors umzukehren, vertauscht man einfach die Anschlüsse der Spule II, so daß das Schaltschema Fig. 511 entsteht.

Ganz besondere Bedeutung für den Bahnbetrieb hat eine Abart dieser Motoren erlangt, nämlich der *Repulsionsmotor* mit *Ankererregung*, wie er von Eichberg und Winter, andererseits von

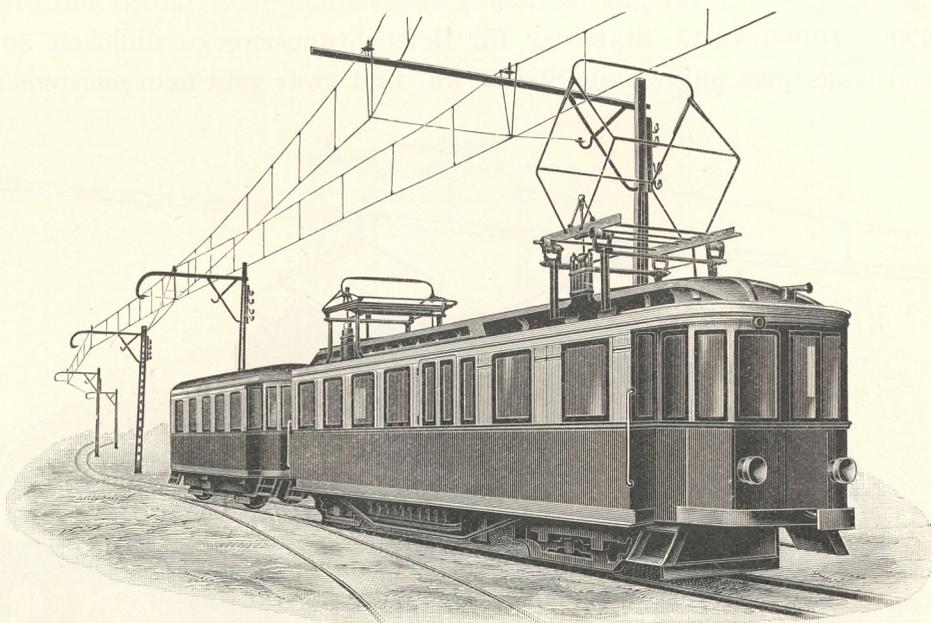


Fig. 514. Triebwagen mit Anhängewagen der A. E. G. (Wechselstrombahn Padua-Fusina).

Latour konstruiert worden ist. Der Winter-Eichberg-Motor hat statt der Statorwicklung II des Repulsionsmotors (Fig. 510) auf dem Anker ein zweites Bürstenpaar 1, 1 in horizontaler Richtung, das mit der Wickelung I hintereinander geschaltet ist, so daß das Schema Fig. 512 entsteht. Dadurch, daß Strom den Anker von der rechten zur linken Bürste 1, 1 durchfließt, entsteht im Anker ein Feld in horizontaler Richtung, gleich als ob eine Erregerwicklung II vorhanden wäre; 2, 2 sind die Bürsten der Kurzschlußwicklung. In Wirklichkeit benutzen Winter und Eichberg zur Ankererregung nicht unmittelbar den Motorstrom, sondern bringen ihn durch Zwischenschaltung

eines sogenannten Erregertransformators auf einen anderen Wert; hierdurch wird die Abhängigkeit der Statorwicklung von der Ankerwicklung beseitigt, und der Motor behält die Eigenschaft

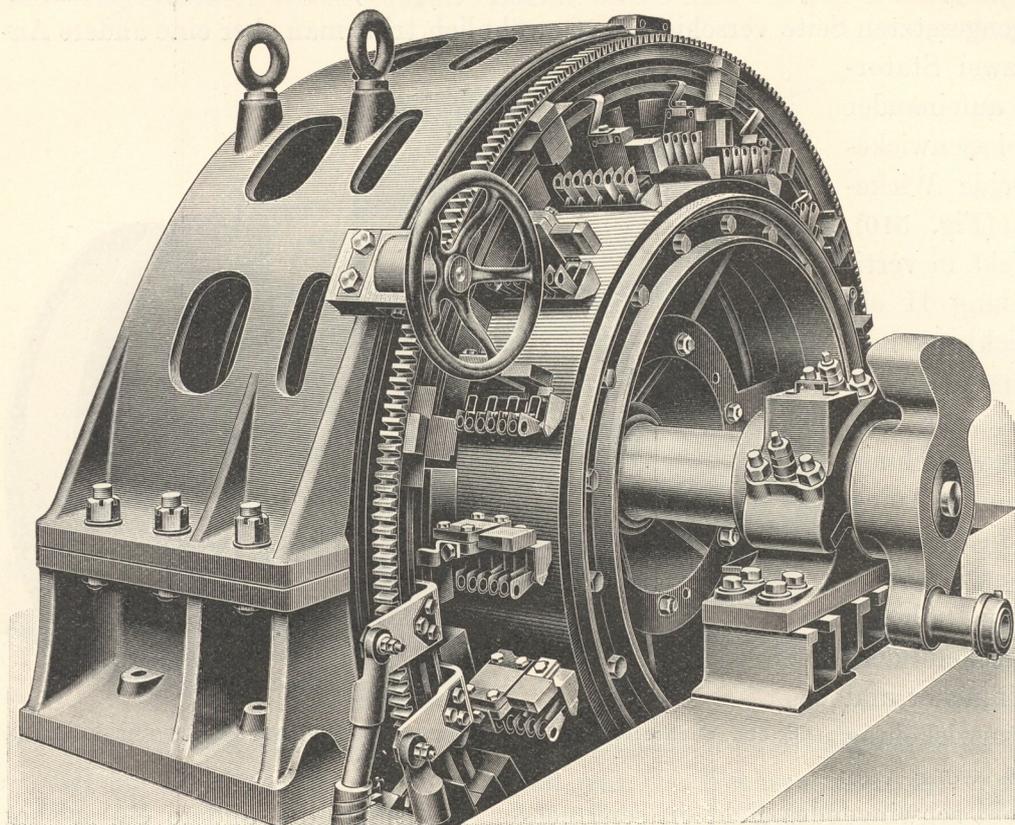


Fig. 515. Lokomotivmotor der Siemens-Schuckert-Werke (1600 PS, 15 Perioden, 10000 Volt, 400 Umdrehungen in der Minute).

des Repulsionsmotors, für höhere Spannungen ausführbar zu sein. Durch Änderung des Übersetzungsverhältnisses können in gewissen Grenzen Drehzahl, Leistungsfaktor und Kurzschlußspannung unter den Bürsten reguliert werden. Die Außenansicht eines großen Wechselstrommotors der Bauart Winter-Eichberg für 350 PS Stundenleistung zeigt Fig. 513.

Der Einphasenstrom kommt für den Bahnbetrieb mit recht hoher Spannung zur Verwendung, und zwar mit

6000—10000 Volt. Statt der für Beleuchtungszwecke üblichen 50 Perioden wendet man jetzt viel langsamer pulsierende Ströme an, und zwar geht man meistens auf  $\frac{1}{3}$  der üblichen Perioden,

d. h. auf  $15-16\frac{2}{3}$  Perioden pro Sekunde, herab. Für Vorortbahnen vereinigt man noch immer die Motoren

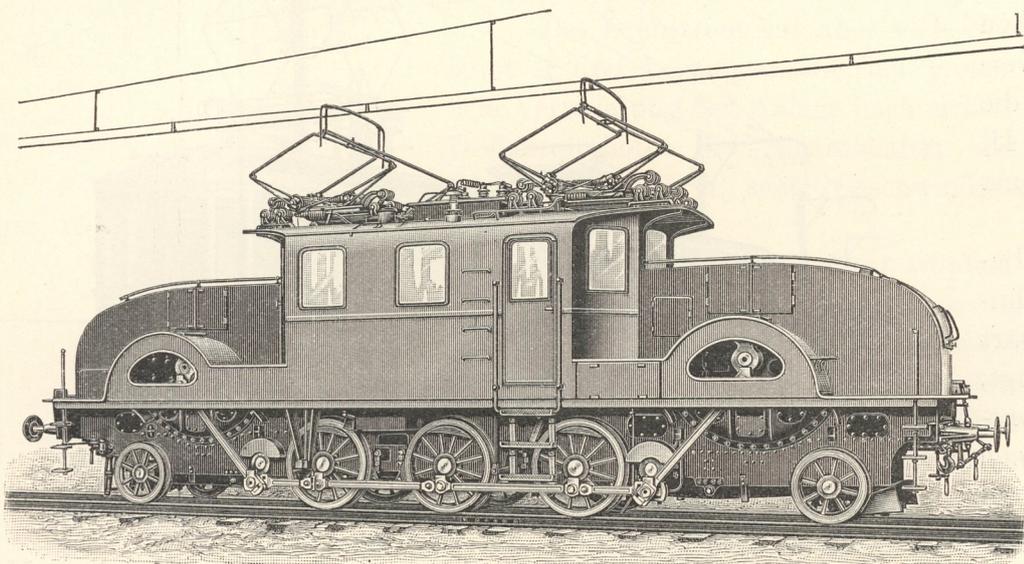


Fig. 516. Wechselstromlokomotive der Siemens-Schuckert-Werke (1-C-1, 1050 PS).

und Bedienungsapparate mit Personenwagen zu *Triebwagen*; einen solchen der Bahn Padua-Fusina (erbaut von der A. E. G.) zeigt Fig. 514.

Zum Ziehen schwerer Vollbahnzüge muß man be-

sondere *elektrische Lokomotiven* bauen. Die neueren Lokomotivmotoren erreichen hohe Leistungen und nehmen entsprechend viel Platz fort. Einen solchen Motor für 1600 PS Stundenleistung bei 15 Perioden, 10000 Volt, 400 Umdrehungen in der Minute, erbaut von den Siemens-Schuckert-Werken, zeigt Fig. 515. Für derartig große Motoren eignet sich die Zahnradübersetzung nicht mehr; man lagert die Motoren vielmehr hoch und fest im Lokomotivgestell und läßt sie

mittels einer Blindwelle und eines Parallelkurbelgetriebes auf die Triebräder wirken. Die Wechselstromlokomotive der Badischen Staatsbahn (Fig. 516) für 1050 PS läßt dies deutlich erkennen; sie enthält an jedem Ende einen Motor und in dem Raum dazwischen die Bedienungsapparate. Auch die eigenartige Form der Stromabnehmer ist daraus zu ersehen.

Die erste elektrisch betriebene

Hauptbahnstrecke Deutschlands bildet die Wechselstrombahn Dessau-Bitterfeld, die 1911 eröffnet wurde; sie ist nur ein 27 km langer Teil der für elektrische Zugförderung vorgesehenen Strecke Magdeburg-Halle-Leipzig (118 km) und hat Schnell-, Personen- und Güterzugverkehr, der ausschließlich elektrisch erfolgt. Der Generator erzeugt Ein-

phasenstrom von 3000 Volt und 15 Perioden. Transformatoren bringen den Strom auf 60 000 Volt, und mit dieser Spannung wird der Strom dem Unterwerke Bitterfeld zugeführt. Dort erfolgt die Rücktransformation auf

10 000 Volt, und diese Spannung wird in die Fahrdrathleitung geschickt. In Fig. 517 ist eine Güterzuglokomotive dieser Bahn wiedergegeben; bei ihr sind sämtliche Achsen als Triebachsen gekuppelt, um hohe Zugkraft zu erzeugen. Die Anordnung der Schnellzuglokomotiven legt mehr Wert auf die Erzielung hoher Zuggeschwindigkeiten; es werden mühelos solche von 110 km in der Stunde erreicht.

Die elektrische Lokomotive hat gegenüber der Dampflokomotive den Vorteil, stets betriebsbereit zu sein und beliebig lange Strecken ununterbrochen durchfahren zu können, während die Dampflokomotive nach ca. 200 km gewechselt werden muß und überhaupt durch Anheizen, Kohle- und Wassernehmen, Ausschlacken usw. über 50 Proz. der Zeit außer Dienst steht. Deshalb werden bei Einführung des elektrischen Betriebes zur Bewältigung eines gegebenen Fahrplanes nur halb so viel Lokomotiven wie bei Dampf erforderlich.

Auf die zum Teil recht verwickelten Schaltungs- und Regulierungseinrichtungen der Wechselstrombahnen kann hier nicht eingegangen werden.

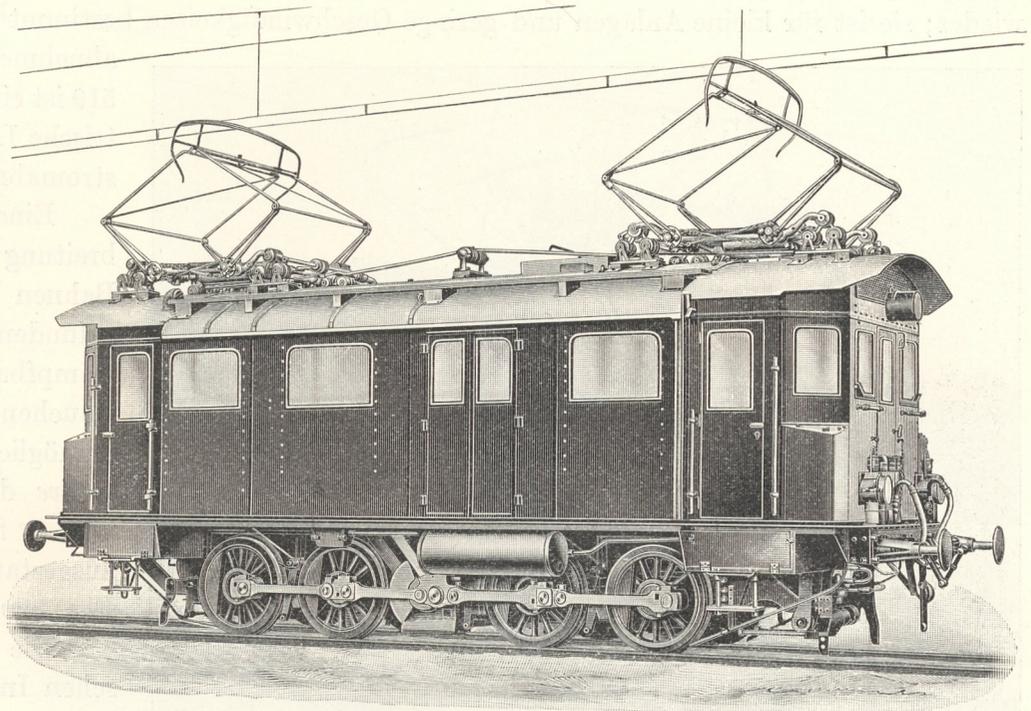


Fig. 517. Elektrische Güterzuglokomotive der Einphasenstrombahn Dessau-Bitterfeld.

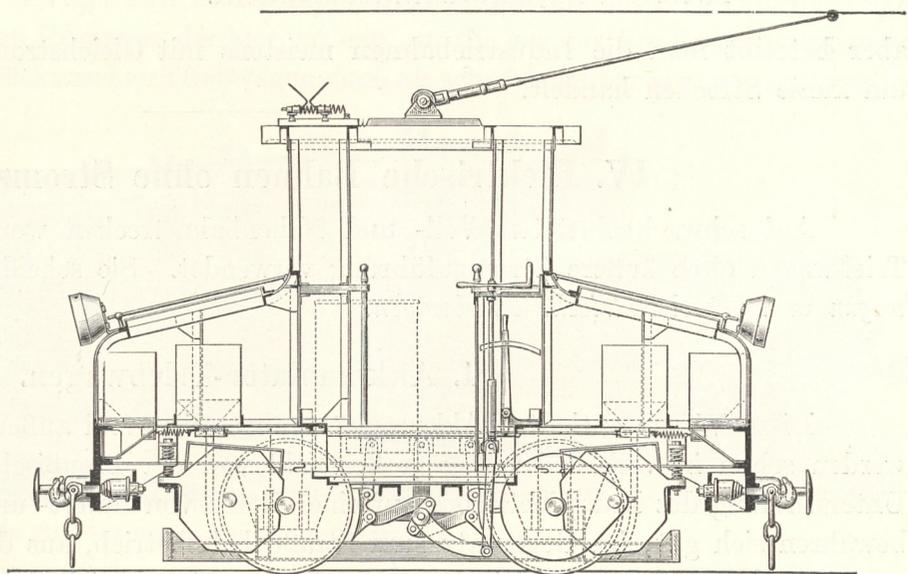


Fig. 518. Schmalspurige elektrische Lokomotive für Industriebahnen.

### III. Elektrische Industriebahnen.

Elektrische Bahnen werden für industrielle Zwecke immer mehr benutzt, da sie sich leicht anlegen lassen, ohne Schwierigkeit bedienbar sind und auch sonst mannigfache Vorteile bieten.

Fig. 518 gibt eine schmalspurige elektrische Lokomotive für Industriebahnen im Schnitt wieder; sie ist für kleine Anlagen und geringe Geschwindigkeiten bestimmt und mit Rollenstromabnehmer ausgestattet. In Fig. 519 ist eine normalspurige elektrische Lokomotive mit Bügelstromabnehmer dargestellt.

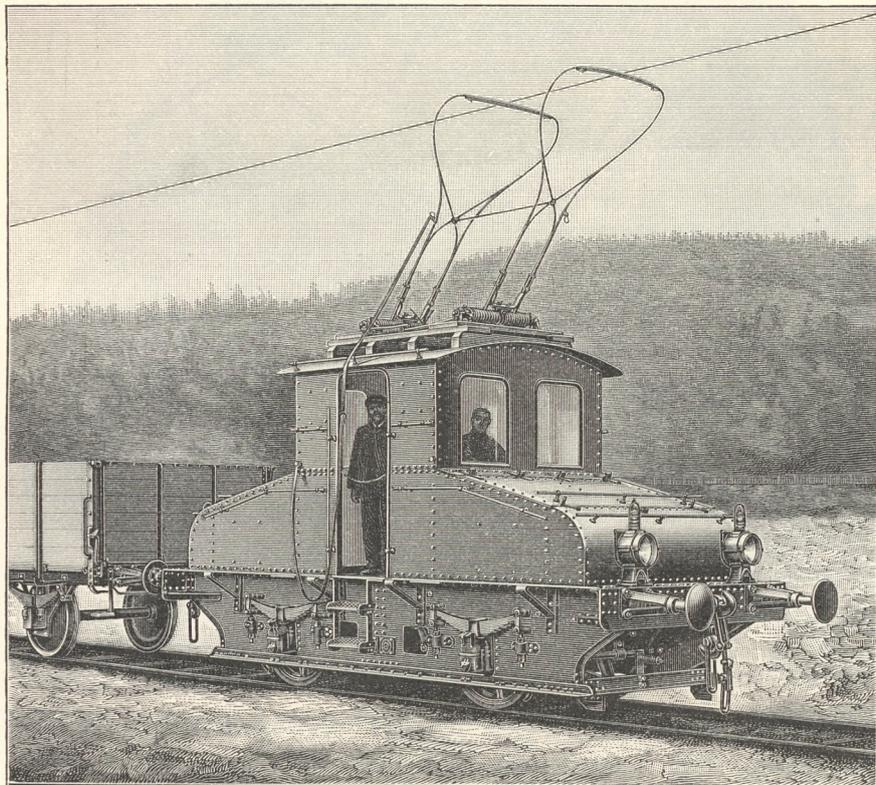


Fig. 519. Normalspurige elektrische Lokomotive.

Eine besonders große Verbreitung haben die elektrischen Bahnen im Bergbaubetriebe gefunden; unter Tage sind ja Dampfbahnen wegen der Rauchentwicklung so gut wie unmöglich. Eine *Grubenlokomotive* der A. E. G., die mit vier Stromabnehmerbügeln ausgestattet ist, wird durch Fig. 520 veranschaulicht.

Die Stromart der elektrischen Industriebahnen richtet sich nach den gegebenen Verhältnissen. Wo Wechselstrom ohnehin verfügbar ist, verwendet man das System der Wechselstrommotoren. Sonst

aber betreibt man die Industriebahnen meistens mit Gleichstrom, da es sich gewöhnlich nur um kurze Strecken handelt.

### IV. Elektrische Bahnen ohne Stromzuleitung.

Auf schwachbelasteten Voll- und Nebenbahnstrecken werden jetzt vielfach elektrische Triebwagen ohne äußere Stromzuführung verwendet. Sie scheiden sich in *Akkumulator-Triebwagen* und *benzolelektrische Triebwagen*.

#### 1. Akkumulator-Triebwagen.

Diese Wagen enthalten Akkumulatorenbatterien und außerdem die Antriebsmotoren; sie werden schon in verhältnismäßig großer Zahl von der Preussischen Staatsbahnverwaltung zur Unterstützung des Dampfbetriebes auf einer Reihe von Haupt- und Nebenstrecken benutzt und bewähren sich gut, im Gegensatz zum Straßenbahnbetrieb, aus dem sie ja (vgl. S. 220) wieder ganz verschwunden sind. Die besseren Erfolge dürften sich durch die Vervollkommnung und erhöhte Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren erklären, denn die Versuche mit Akkumulatorenwagen auf Straßenbahnen liegen bereits eine Reihe von Jahren zurück.

Der in Fig. 521 abgebildete *Akkumulatoren-Doppelwagen* für Vollbahnen der A. E. G. hat die außergewöhnliche Länge von 25,6 m. Charakteristisch sind die beiden zweiachsigen Einzelwagen, die unter sich kurz gekuppelt sind, und die beiderseitigen niedrigen Vorbaue, welche die Akkumulatorenbatterien mit je 84 Elementen enthalten. Die Stromsammelr sind also, entgegen früheren Bauarten, von dem Aufenthaltsorte der Reisenden vollständig getrennt, so daß diese in keiner Weise durch Säuredämpfe belästigt werden können. Die Maximalgeschwindigkeit beträgt

50 km in der Stunde; der Doppelwagen enthält ein Abteil dritter und ein solches vierter Klasse, beide zusammen fassen 100 Plätze. Angetrieben wird der Doppelwagen durch zwei Hauptstrommotoren, von denen jeder eine Stundenleistung von 85 PS bei einer Betriebsspannung von 300 Volt besitzt.

Naturgemäß sind Akkumulatorenwagen von den Ladestationen abhängig und können nur verhältnismäßig kurze Strecken bis zur Neuladung durchfahren. Daß sie dennoch sich einer immer steigenden Beliebtheit erfreuen, liegt an ihrer großen Sauberkeit und außerordentlichen Betriebsicherheit.

## 2. Benzoelektrische Triebwagen.

Bei diesen Wagen dient zur Energieerregung eine Verbrennungsmaschine, nämlich ein Benzomotor, der einen elektrischen Generator antreibt. Die von

letzterem erzeugte elektrische Energie wird Elektromotoren zugeführt, die ihrerseits auf die Triebräder wirken. Trotz des großen Umweges, der hier vorliegt, um die gewünschte Energieform zu gewinnen, haben sich die benzoelektrischen Triebwagen doch als sehr brauchbar erwiesen und werden

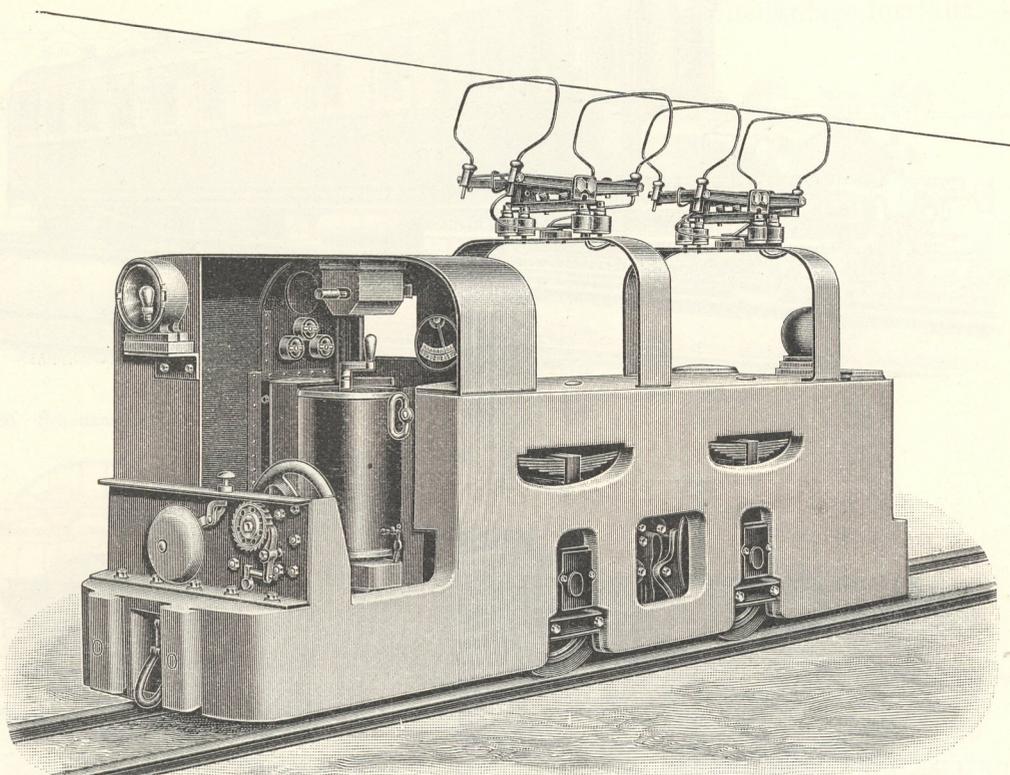


Fig. 520. Elektrische Grubenlokomotive der A. E. G. mit vier Stromabnehmern.

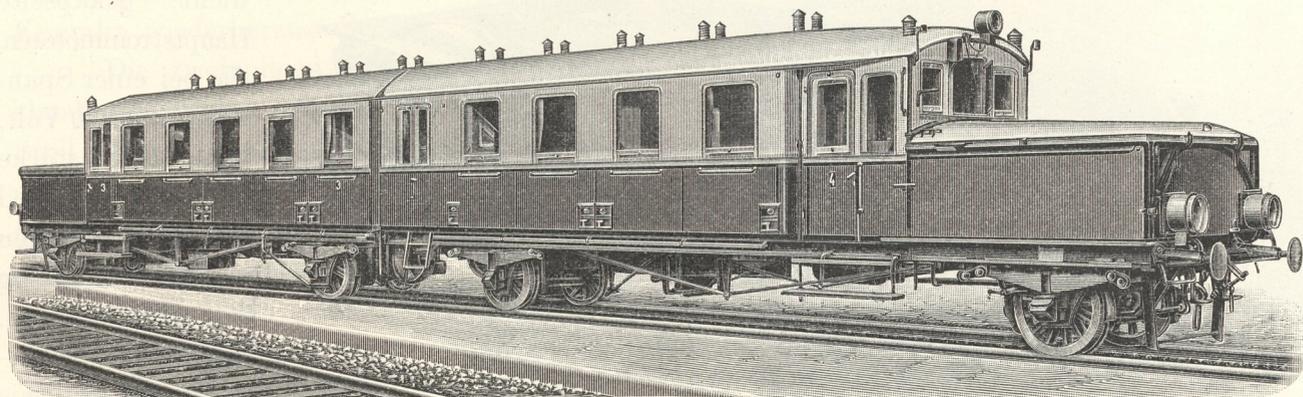


Fig. 521. Akkumulatoren-Doppelwagen der A. E. G.

auch von der Preußischen Staatsbahn mit verwendet. Die A. E. G. baut derartige Triebwagen sowohl mit größerer Leistung für Vollbahnen als auch mit geringerer Leistung für Neben- und Kleinbahnen.

Fig. 522 stellt den benzoelektrischen Triebwagen der A. E. G. für Vollbahnen dar. Er ruht auf zwei Drehgestellen, und sein Untergestell ist 20,75 m lang. Anordnung und Größe der Personenabteile entsprechen denen des beschriebenen Akkumulatorenwagens. Jedes Ende enthält einen Führerstand; der den Verbrennungsmotor tragende vorspringende Teil des Untergestells ist durch eine ausziehbare Schutzhaube abgedeckt. Das Maschinendrehgestell mit Benzomotor und Dynamo ist in Fig. 523 wiedergegeben. Der Motor hat 100 PS Nennleistung und sechs Zylinder; er macht bei Vollbelastung 700 Umdrehungen. Das Benzolreservoir ist geheizt, damit der Brennstoff

im Winter nicht erstarren. Die Kühlung des Motors erfolgt durch rückgekühltes Wasser, das durch eine Zentrifugalpumpe in Umlauf gesetzt wird. Die Pumpe fördert das Wasser durch einen im Wagendach liegenden Wabekühler, der durch einen darunter angeordneten Ventilator gelüftet wird. Das Anlassen der Maschine erfolgt durch Druckluft. Die mit dem Benzomotor direkt gekuppelte Nebenschlußdynamo hat eine Stundenleistung von 66 Kilowatt bei 700 Umdrehungen in der Minute, 300 Volt Spannung und 220 Ampere normaler Stromstärke. Den Strom für die Erregung liefert eine kleine Compoundmaschine von 3,5 Kilowatt bei 70 Volt Spannung. Den Wagenantrieb besorgen zwei wasserdicht gekapselte Hauptstrommotoren, die bei einer Spannung von 300 Volt, einer Stromstärke von 230 Ampere und 680 Umdrehungen eine Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km

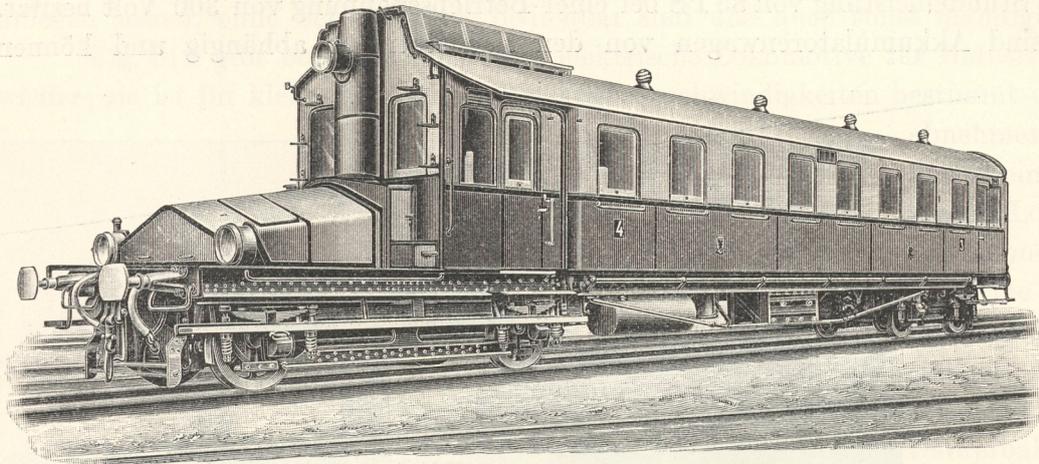


Fig. 522. Benzoelektrischer Triebwagen der A. E. G.

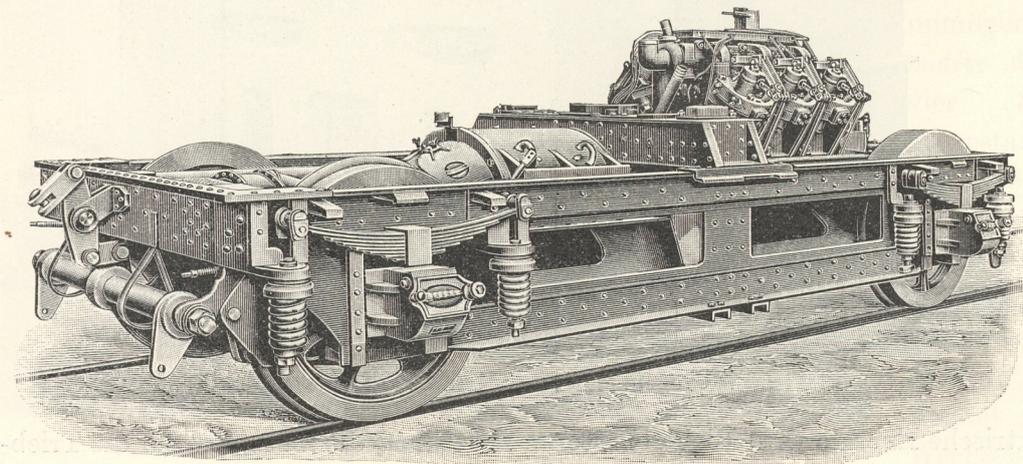


Fig. 523. Maschinendrehgestell des benzoelektrischen Triebwagens.

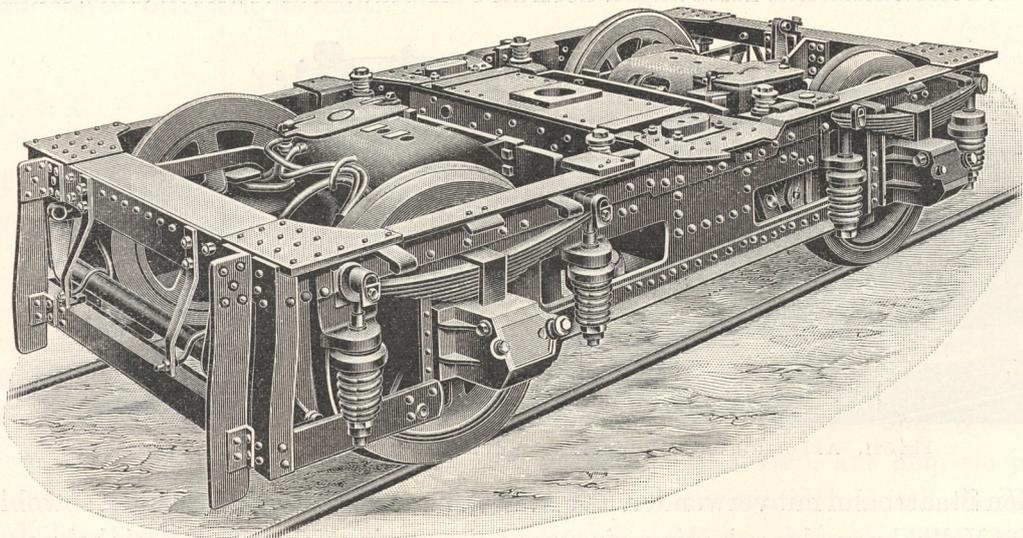


Fig. 524. Motorendrehgestell des benzoelektrischen Triebwagens.

Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km

Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km

Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km

## V. Gleislose elektrische Bahnen.

Die aus Amerika stammende gleislose Bahn steht in der Mitte zwischen den elektrisch betriebenen, Akkumulatoren mitführenden Motorwagen (Elektromobilen) und den elektrischen Schienenbahnen. Sie entnimmt den Strom oberirdisch gespannten Fahrdrähten mittels einer auf

diesen schleifenden Kontaktvorrichtung, bewegt sich aber im übrigen auf dem Fahrdamm der Straße ohne Gleisführung. Die Wagen sind also von dem Verlauf der Fahrdrableitung abhängig, jedoch weniger als die Schienenbahn, denn die Beweglichkeit des Stromabnehmers gestattet dem Wagen, seitlich auszubiegen. Gegenüber den Elektromobilen besteht der Vorteil, daß die Wagen keine schwere Akkumulatorenbatterie mitzuführen haben; gegenüber den Schienenbahnen dagegen der, daß die teure Schienenanlage fortfällt. —

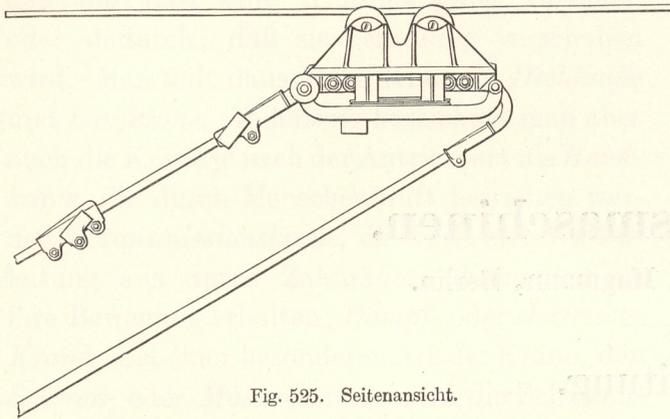


Fig. 525. Seitenansicht.

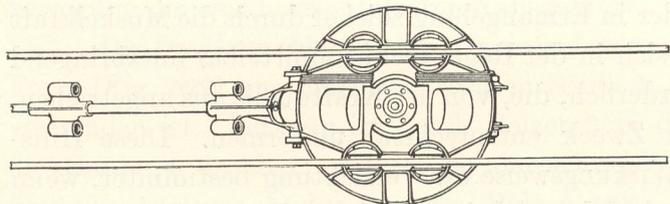


Fig. 526. Oberansicht.

Fig. 525 und 526. Stromabnehmer einer gleislosen Bahn (System Stoll).

Dafür muß die

Fahrleitung aus zwei isoliert nebeneinanderlaufenden Drähen für Hin- und Rückführung des Stromes bestehen, da ja die Gleise fehlen, die bei den Schienenbahnen der Rückleitung dienen. Trotzdem wird die Anlage hierdurch nicht teu-

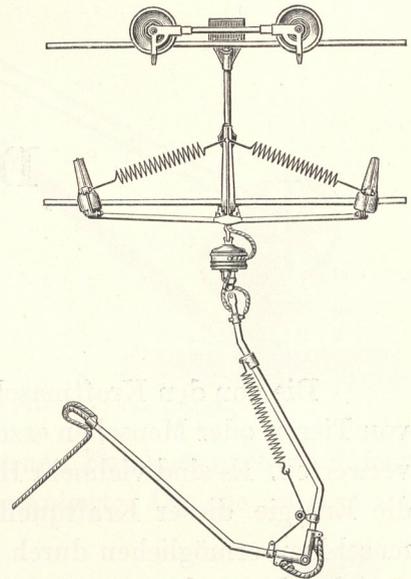


Fig. 527. Stromabnehmer für gleislose Bahnen (System Lloyd-Köhler).

er, denn auch die (fast stets zweigleisigen) Schienenbahnen brauchen für jede Fahrtrichtung eine Fahrleitung. Sich entgegenkommende gleislose Bahnen tauschen — je nach dem System — die Stromabnehmer aus, oder der eine Wagen löst seinen Fahrkontakt und läßt den anderen Wagen passieren, um dann den Kontakt wiederherzustellen.

Die zweipoligen Stromabnehmer bestehen beim System Stoll (Fig. 525 und 526) aus einem vierräderigen Wägelchen, das auf den beiden, parallel nebeneinander ausgespannten Fahrdrähen läuft. Diese Anordnung ist jedoch nur eine von vielen. Bei dem System Lloyd-Köhler laufen die beiden Fahrdrähte übereinander (Fig. 527). Von dem oberen Drahte wird der Strom durch zwei Laufrollen abgenommen, von dem unteren durch einen Doppelschleifbügel.

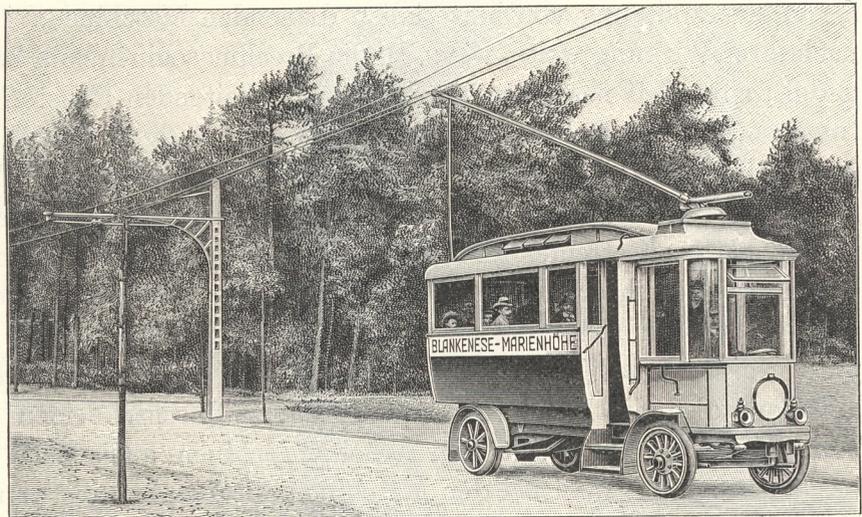


Fig. 528. Gleisloser elektrischer Omnibus (System Schiemann).

In erster Linie werden gleislose Bahnen für Personenbeförderung benutzt. So zeigt Fig. 528 einen gleislosen elektrischen Omnibus nach dem System Schiemann & Co., Wurzen. Aber auch für Lastenbeförderung ist die gleislose Bahn mit Erfolg versucht worden, und ihr hoher Vorzug für ländliche Gegenden liegt gerade darin, daß die gleiche Leitung von Omnibussen und Lastfahrzeugen benutzt werden kann. In neuester Zeit will man diese Bahnen auch mit einphasigem Wechselstrom betreiben, wodurch weitere Entwicklungsmöglichkeiten gegeben sind.