

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Encyklopaedie der Naturwissenschaften

Elektricität und Magnetismus

Winkelmann, Adolph August

1893

Die elektrische Beleuchtung

A. CAMPBELL, Beibl. 13, pag. 820. 1889. WOOD'sches Metall zeigt beim Durchgang durch den Schmelzpunkt keine plötzliche Aenderung der elektrischen Kraft; nur die Tangente scheint unsetzung zu sein oder wenigstens rasch zu wechseln. Aehnliche Resultate hatte schon früher OBERMEYER und FITZ-GERALD-MINARELLI bei anderen Metallen erhalten. OBERMEYER, Wien. Ber. 66 (2), pag. 65. 1872; FITZ-GERALD-MINARELLI, Wien. Ber. 71 (2), pag. 694. 1875.
F. BRAUN.

Die elektrische Beleuchtung.

I. Das elektrische Bogenlicht.

Der elektrische Lichtbogen entsteht, wenn man den Strom einer Elektrizitätsquelle (Batterie, Dynamomaschine, Akkumulator), welche mindestens 40 Volt Spannung besitzt, zwischen zwei Kohlenelektroden durch eine dünne Luftschicht übergehen lässt. Auch bei anderen Substanzen für die Elektroden als Kohle bildet sich ein Lichtbogen, praktisch zur Beleuchtung verwendet wird jedoch nur das Bogenlicht zwischen Kohlenelektroden.

Die beiden Kohlen müssen vor der Trennung erst zur Berührung gebracht worden sein, um überhaupt dem Strom den Durchgang zu gestatten. Ist das geschehen und werden die Kohlen dann getrennt, gewöhnlich bis auf einen Abstand von 2—4 mm, so geht der Strom durch die Luftschicht zwischen ihnen, in welcher Kohletheilchen sich befinden, über. Dieser Strom erwärmt die Kohlen und bringt deren Enden, die an die Luftschicht grenzen, zur hellen Weissgluth, wenn er stark genug ist. Zugleich bringt er auch die festen Theilchen in der Luftschicht zum Glühen und diese bilden den eigentlichen Lichtbogen. Dagegen ist die Lichtstärke dieses Lichtbogens sehr unbedeutend im Vergleich zu der Lichtstärke, welche die Enden der beiden Elektroden besitzen und ausstrahlen. Die positive Kohle (d. h. die mit dem positiven Pol verbundene) ist 4—5 mal so hell, als die negative. Zugleich mit diesem Durchgang des Stromes findet eine Zerstäubung der Kohlen statt, welche auch wesentlich die positive Kohle betrifft. Es fliegen von der positiven und negativen Kohle dauernd Theilchen fort und gehen sowohl in den Zwischenraum, wo sie den Lichtbogen bilden, als seitlich nach aussen. Dabei höhlt sich die positive Kohle aus und bildet einen Krater, während die negative Kohle sich zuspitzt. Wenn das Bogenlicht zur Beleuchtung benutzt wird, so wird deswegen die positive Kohle, die kraterartig vertieft ist und hell leuchtet, über der negativen angebracht, um möglichst viel Licht seitlich nach unten zu werfen. Die Hitze des Lichtbogens verbrennt beide Kohlen und zwar von der positiven etwa doppelt so viel, wie von der negativen. Man giebt deshalb häufig der positiven Kohle den doppelten Querschnitt, damit beide Kohlen dieselbe Zeit aushalten.

Die Stromstärke in den Bogenlampen lässt man je nach der Grösse zwischen 3 und 20 Ampère variiren und rechnet bei einer Bogenlampe mittlerer Grösse für jedes Ampère etwa 100 Normalkerzen Helligkeit. Schwächere Bogenlampen als mit ca. 300 Normalkerzen werden nicht benutzt, ebenso nur ausnahmsweise stärkere als für ca. 3000 Normalkerzen. Der Zusammenhang zwischen Stromstärke und mittlerer Helligkeit ist aus praktischen Ergebnissen von W. KOHLRAUSCH¹⁾ in folgender Tabelle vereinigt worden.

¹⁾ W. KOHLRAUSCH in Handbuch der Architektur III 4 (2. Aufl.), pag. 63. 1891.

Stromstärke der Lampen in Ampère	3	4	5	6	8	10	13	16	20
Mittlere Helligkeit in Normalkerzen	280	390	500	600	850	1100	1600	1200	3000

Beim Betrieb mit Wechselströmen brennen beide Kohlen ungefähr gleich schnell ab und spitzen sich beide zu. Die Lampen erfordern dabei eine Spannung von 30—40 Volt. Der Widerstand des Lichtbogens, wie er sich direkt aus Messungen ergibt, folgt scheinbar nicht dem OHM'schen Gesetz, insofern als er der Länge nicht proportional ist. Es beruht das darauf, dass in dem Lichtbogen eine elektromotorische Gegenkraft vorhanden ist, deren Grösse etwa 38—39 Volt beträgt¹⁾. Die Ursache dieser Gegenkraft beruht (direkt oder indirekt) auf dem verschiedenen Verhalten des positiven und negativen Pols, welches sich in der Verflüchtigung der positiven Kohle und dem verschieden raschen Abbrennen derselben zeigt. Wenn das Bogenlicht zu zischen beginnt, sinkt diese Gegenkraft auf ca. 20 Volt.

Damit das Bogenlicht dauernd constante Helligkeit besitze, muss im Lichtbogen constant dieselbe Energiemenge verbraucht werden, d. h. es muss die Zahl der Voltampère (Watt), welche das Bogenlicht verbraucht, dieselbe bleiben. Dazu muss das Bogenlicht regulirt werden, weil sonst durch das Abbrennen der Kohlen sich die Länge des Lichtbogens und damit der Energieverbrauch ändert. Die Aufgabe der Regulirung ist also, das Produkt aus Stromstärke und Potentialdifferenz an den Klemmen der Lampe constant zu erhalten.

Bei den Lampen für Einzellicht durchfliesst ein Strom, dessen Stärke constant erhalten werden soll, die Kohlen. Es muss daher der Abstand der Kohlen so regulirt werden, dass die Stromstärke constant bleibt.

Bei der Parallelschaltung von Lampen hat man Ströme von constanter Klemmspannung und schaltet, je nach der Grösse dieser Klemmspannung, entweder je eine Lampe, oder je zwei hintereinandergeschaltete Lampen parallel. Da bei der Parallelschaltung gewöhnlich eine Potentialdifferenz in den beiden Hauptleitungen von 110 Volt herrscht, so entfällt dann auf jede Lampe 55 Volt, von denen 39 für die elektromotorische Gegenkraft, 2 für den Lichtbogen, 3 für die Kohlen, 1 für die Regulirung und 10 für die Ueberwindung eines Vorschaltwiderstandes verwendet werden, der die Lampen ruhiger brennen macht.

Bei der Hintereinanderschaltung der Lampen muss man Ströme constanter Stärke anwenden und die Aufgabe der Regulirung ist es, diese Stromintensität constant zu erhalten. Für jede Lampe braucht man 45—50 Volt Spannung.

Die Regulirung besteht bei allen Lampen aus zwei Haupttheilen, der elektrischen und der mechanischen Regulirung.

Die elektrische Regulirung wird vom Strom selbst besorgt. Sie hat die Aufgabe, den Abstand der Kohlen so zu verändern, dass die Energie in jeder Lampe pro Sekunde dieselbe bleibt. In Bezug auf die elektrische Regulirung sind drei Hauptfälle zu unterscheiden:

1) Hauptstromlampen. Bei diesen durchfliesst der Hauptstrom selbst den Regulierungsmagneten und bewirkt ein Anziehen des Ankers, wenn er zu stark, ein Nachlassen desselben, wenn er zu schwach wird. Als Gegenkraft dient gewöhnlich eine Feder oder dergl. Durch die Anziehung des Ankers

¹⁾ V. v. LANG, WIED. Ann. 26, pag. 145. 1885; ARONS, WIED. Ann. 30, pag. 95. 1887.

werden die Kohlen von einander entfernt und damit der Strom geschwächt, durch das Nachlassen derselben werden sie einander genähert und dadurch der Strom verstärkt. Diese Lampen sind anwendbar für Einzellicht und für Einzelampen in Parallelschaltung, aber nicht für Serienlampen, weil sich zwei solche Lampen gegenseitig stören.

2) Nebenschlusslampen. Bei diesen liegt der Regulierungsmagnet im Nebenschluss zu dem Hauptstrom, der durch die Kohlen geht. Wird der Abstand der Kohlen zu gross, also der Hauptstrom zu schwach, so wird der Nebenschlussstrom zu stark und der Magnet zieht einen Anker an, der die Kohlen einander nähert. Umgekehrt ist es, wenn der Abstand der Kohlen zu klein wird. Brennen zwei Lampen hintereinander und sei bei der ersten der Kohlenabstand zu gross, bei der zweiten gerade normal, so wird durch die Regulierung der Kohlenabstand der ersten Lampe vermindert, dadurch wird der Hauptstrom in der ersten und zweiten Lampe verstärkt, also auch der Nebenschlussstrom in der ersten und zweiten Lampe vergrössert, und die Kohlen der zweiten Lampe nähern sich einander. Es wirkt auch hierbei die Regulierung der einen Lampe schädlich auf eine zweite Lampe ein, aber nicht in demselben Maass, wie bei Hauptstromlampen.

3) Die dritte Art Lampen sind die Differentiallampen, zuerst von HEFNER-Alteneck construirt. Bei ihnen theilt sich der Strom, der in die Lampe eintritt, in zwei Theile. Der erste, Haupttheil, geht durch die Kohlen und einen Regulierungsapparat mit wenigen, dicken Umwindungen. Der zweite, Nebenstrom, geht durch einen Regulierungsapparat mit vielen dünnen Umwindungen. Wird der Kohlenabstand zu klein, so wird der Hauptstrom zu stark und entfernt die Kohlen von einander. Bei dieser Art der Regulierung ist jede zweite und folgende Lampe ganz unabhängig von den Vorgängen in der ersten; sie ist also anwendbar bei der Serienschaltung von Bogenlampen.

Die elektrischen Vorrichtungen zur Regulierung bestehen entweder aus Elektromagneten oder aus Solenoiden mit Eisenkernen. Und zwar werden bei den Solenoiden die Eisenkerne entweder cylindrisch oder konisch zugespitzt angewendet.

Die Regulierung hat nicht bloss die Aufgabe, den Kohlenabstand constant zu erhalten, sondern auch die, beim Beginn der Beleuchtung die Kohlen bis zur Berührung zu bringen und sie dann zu trennen. Es wird diese Aufgabe, sowie die der gleichmässigen Bewegung der Kohlen nicht durch die elektrische Regulierung allein, sondern noch durch mechanische Regulierungsmittel hervorgebracht, durch welche sich die Lampen verschiedener Systeme unterscheiden.

Die verschiedenen Systeme von Lampen sind von SILVANUS THOMPSON¹⁾ in folgender Weise classificirt worden nach den 7 Haupttheilen, welche die Regulierung enthält.

- I. Die treibende Kraft, welche die Kohlen einander nähert. Dazu benutzt man entweder 1) die Schwerkraft, sei es, dass man die obere Kohle direkt fallen lässt oder durch ein Uhrwerk bewegt. 2) Spiralfedern, 3) elektromagnetische Motoren, 4) heisse Luft: Die durch den Flammenbogen erhitzte Luft treibt ein Flügelrad, welches die Kohlen bewegt.
- II. Erzeugung des Lichtbogens. Die Trennung der Kohlen im Anfang der Beleuchtung wird bewirkt 1) durch ein Getriebe, 2) durch Senkung der unteren Kohle durch einen Magneten, 3) durch Hebung der oberen Kohle. Letzterer Modus ist bei allen neueren Lampen in Anwendung.

¹⁾ SILVANUS THOMPSON, Elektrotechn. Zeitschr. X, pag. 308. 1889.

III. Die eigentlich mechanische Regulirung zerfällt nach THOMPSON in mehrere Hauptklassen:

- 1) Die Zahnstangengetriebe mit Sternrädchen und Sperrhaken, Flügelrädern, Pendeln, Bremsen u. s. w. Zu dieser Klasse gehören die meisten europäischen Lampenconstructions.
- 2) Die Bremsen. Bei diesen bremst ein Ring oder dergl. die Bewegung der oberen Kohle.
- 3) Klauen mit Bremsrad.
- 4) Rolle und Schnur.
- 5) Magnetische Bremsung.
- 6) Motorlampen.
- 7) Hydrostatische und pneumatische Vorrichtungen zur Regulirung.

IV. Vorrichtungen, um zu schnelle Bewegungen zu vermeiden. (Luftstopfbüchsen, Pendel u. s. w.)

V. Vorrichtungen zum Ersatz abgenutzter Theile.

VI. Vorrichtungen, um den Lichtpunkt dauernd in gleicher Höhe zu halten, trotzdem die Kohlen ungleich rasch abbrennen.

VII. Vorrichtungen zum Wechseln der Kohlen bei Lampen mit Doppelkohlen.

VIII. Vorrichtungen zum Ausschalten einer Lampe aus dem Stromkreis.

Die einzelnen Lampenconstructions selbst, deren Anzahl eine überaus grosse ist, können in diesem Werke nicht erwähnt werden. Man findet sie in elektrotechnischen Hand- und Lehrbüchern.

II. Das elektrische Glühlicht.

Während das Bogenlicht bisher nur für grosse Räume anwendbar ist, weil man dasselbe nicht mit geringerer Lichtstärke als einige Hundert Kerzen sicher erzeugen kann, ist für die Beleuchtung von kleinen Räumen und einzelnen Plätzen das elektrische Glühlicht ganz besonders geeignet, weil es eine ausserordentlich weitgehende Vertheilung des Lichtes gestattet und in der Helligkeit je nach der Herstellung von einigen Kerzen bis zu mehr als hundert Kerzen Stärke variirt.

Die Glühlampen beruhen auf der durch die JOULE'sche Wärme erzeugten Erhitzung eines dünnen Kohlenfadens bis zur Gelb- oder Weissgluth. Sie bestehen aus einem dünnen Faden aus Kohle, welcher sich in einem luftleer gepumpten Glasgefäss befindet. Die Kohlenfäden werden jetzt so hergestellt, dass Fäden aus organischer Substanz, aus Bambus oder Baumwolle oder Papier oder Collodium, verkohlt werden. Die verkohlten Fäden werden dann in eine Atmosphäre von Kohlenwasserstoffen gebracht und aus dieser wird durch den elektrischen Strom auf ihnen noch Kohle abgelagert, so dass man die Fäden in jeder beliebigen und messbaren Stärke und Leuchtkraft erhält. Die Enden des Kohlenfadens werden durch Verkupferung oder Cementirung mit Platindrähten verbunden, welche durch den Glaskörper der Lampe eingeschmolzen hindurchgehen und nach aussen führen. Aussen sind sie mit Kupferdrähten verbunden, von denen der eine gewöhnlich an den metallischen Boden des Glasgefässes, der andere an ein davon isolirtes, metallisches Schraubengewinde, welches seitlich in die Metallfassung der Lampe eingeschnitten ist, führt. Durch dieses Schraubengewinde wird die Lampe in ihre Fassung eingeschraubt (EDISON-Fassung). Bei anderen Lampen wird die Lampe in ihrer Fassung durch eine Art Bajonnettverschluss befestigt (SIEMENS-Fassung).

Der Widerstand der Kohlenfäden ist gewöhnlich ein sehr hoher, so dass die Glühlampen mit Strömen von verhältnissmässig hoher Spannung und geringer Intensität betrieben werden. Bei den meist gebrauchten Glühlampen von 16 Kerzen Stärke beträgt der Widerstand in der Weissgluth ungefähr 200 Ohm. Im kalten Zustand ist der Widerstand nahezu doppelt so gross, wie in der Weissgluth.

Die Glühlampen werden alle parallel geschaltet, so dass sie an ihren Enden dieselbe Spannungsdifferenz erhalten. Gewöhnlich beträgt bei grossen Anlagen diese Spannungsdifferenz 100—110 Volt. Dabei erfordern die Glühlampen von 16 Kerzen, um normal zu brennen einen Strom von etwa 0.5 Ampère, so dass eine 16kerzige Glühlampe 50—55 Watt, jetzt ungefähr 53 Watt Effekt verbraucht. Es gehen also auf die Pferdekraft (736 Watt) ungefähr 14 Glühlampen dieser Grösse, oder ungefähr 220 Normalkerzen. Im Allgemeinen kann man jetzt bei Glühlampen jeder Grösse etwa 3.1 Watt Verbrauch per Normalkerze annehmen.

Ueber die Grösse der hauptsächlich gebrauchten Glühlampen und ihre elektrischen Verhältnisse geben folgende Tabellen Auskunft, von denen sich die erste auf die Glühlampen der Allgemeinen Electricitäts-Gesellschaft in Berlin (sogenannte A. E. G. Glühlampen), die zweite auf Glühlampen von SIEMENS und HALSKE bezieht¹⁾.

A. E. G. Glühlampen.

Bezeichnung	a		b		c		d		e		f		g		h		i	
Normalkerzen	4	6	8	8	10	10	16	16	16	25	25	25	32	32	32	50	100	
Volt . . .	25	35	15	50	65	100	50	65	100	50	65	100	50	65	100	100	100	
Ampère . .	0.70	0.57	1.03	0.5	0.48	0.33	1.00	0.77	0.5	1.56	1.20	0.78	1.98	1.52	0.99	1.45	2.8	
Ohm . . .	28.6	61.4	14.5	100	135	303	50	84.5	200	32	54.2	128	25.3	42.8	101	68.9	35.7	
Watt . . .	14	20	15.5	25	31	33	50	50	50	78	78	78	99	99	99	145	280	
Watt pro Kerze	3.5	3.3	2.6	3.1	3.1	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	2.9	2.8	

Glühlampen von SIEMENS und HALSKE.

Bezeichnung	I A		I		II		IV				
Normalkerzen	5	8	10	10	16	16	16	16	16	16	
Volt	25	50	100	65	120	100	65	50	100	50	
Ampère	0.70	0.56	0.39	0.54	0.48	0.57	0.80	1.09			
Ohm	35.7	89.2	256	120	250	175	81.2	48.0			
Watt	17.5	28	39	35.1	57.6	57	52.0	52			
Watt pro Kerze	3.5	3.5	3.9	3.51	3.6	3.6	3.2	3.2			

Bezeichnung	VI				VIII			X	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂
Normalkerzen	25	25	25	25	35	35	35	50	100	200	300	400	500
Volt	120	100	65	50	120	100	65	100	100	100	100	100	100
Ampère	0.73	0.87	1.25	1.50	0.95	1.14	1.62	1.50	2.50	5.00	7.5	10.0	12.5
Ohm	164	115	52.0	33.3	126	87.7	40.1	66.6	40.0	20.0	13.0	10.00	8.0
Watt	87.6	87	81.25	75	114	114	105.3	150	250	500	750	1000	1250
Watt pro Kerze	3.5	3.5	3.2	3.0	3.3	3.3	3.2	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

Durch den Strom wird der Kohlenfaden der Glühlampen allmählich zerstäubt und es bildet sich an der Glasglocke ein Ueberzug von Kohle. Wenn die Glühlampen immer mit dem normalen Strom betrieben werden, der in obigen

¹⁾ UPPENBORN, Kalender für Elektrotechniker 1891.

Tabellen angegeben ist und bei dem sie ihre normale Lichtstärke haben, so hält der Kohlenfaden etwa 600—800 Brennstunden aus. Bei erhöhter Stromstärke aber nimmt die Lebensdauer ganz rapid ab, während sie bei geringerer Stromstärke auch bedeutend zunimmt.

Die Glühlampen werden, wie erwähnt, alle parallel geschaltet. Sie haben deswegen grossen Widerstand und sind für hohe Spannungen und geringe Stromstärken eingerichtet. In einigen wenigen Fällen benutzt man aber auch Glühlampen, namentlich für grosse Leuchtkraft von mehreren Hundert Normalkerzen, in Serienschaltung, sogenannte Serienglühlampen. Diese haben dann sehr geringen Widerstand, bestehen also aus dicken Kohlenstreifen, und werden mit starkem Strom von verhältnissmässig geringer Spannung betrieben.

III. Schaltung von Bogenlampen und Glühlampen.

Eine Anzahl Bogenlampen allein, ohne Glühlampen, die von einer Maschine gespeist werden sollen, schaltet man am besten hintereinander, da das Leitungsmaterial dann am wenigsten Kosten macht. Da jedoch jede Bogenlampe 40—45 Volt Spannung braucht, so kommt man, mit dem nothwendigen Spannungsverlust in den Leitungen, schon bei ca. 20 Lampen auf etwa 1000 Volt Spannung, welche man ungern in Betrieben anwendet, welche zugänglich sein müssen. Die BRUSH-Gesellschaft wendet allerdings Spannungen bis zu 2500 Volt an, betreibt also etwa 50 Bogenlampen hintereinander.

Glühlampen werden im Allgemeinen stets parallel geschaltet. Da die gebräuchlichen Spannungen der Glühlampen 50·65 und 100 Volt sind, so kann man parallel mit den Glühlampen auch Bogenlampen verwenden und zwar bei den beiden zuerst angeführten Spannungen je eine mit einem Widerstand, bei der letzten, meist gebrauchten Spannung, je zwei hintereinander mit einem Widerstand.

Die einfachste Vertheilung von Glühlampen und Bogenlampen in Parallelschaltung erhält man durch das Zweileitersystem. Bei diesem gehen von der Maschine zwei Hauptleitungen aus, welche 100 Volt Spannungsdifferenz haben, und es werden von beiden Leitungen Nebenleitungen abgezweigt, in welche die Glühlampen und Bogenlampen (auch Motoren) parallel geschaltet werden. Da die Hauptleitungen den Strom für alle Lampen führen müssen, so müssen ihre Querschnitte sehr gross sein. Wenn daher die Lampen auf eine grosse Fläche vertheilt werden müssen, so werden die Kosten der Leitung so erheblich, dass thatsächlich in der Praxis sich dieses Zweileitersystem nur für Flächen bis zu 600—800 *m* Radius eignet.

Um weitere Flächen mit Strom zu versorgen, ist man daher nach dem Vorgang von EDISON und HOPKINSON zu dem sogenannten Dreileitersystem übergegangen. Bei diesem werden zwei Maschinen von je 100 Volt Spannung hintereinander geschaltet, so dass an ihren Endklemmen eine Spannungsdifferenz von 200 Volt besteht. Von den beiden Endklemmen geht nun je eine Hauptleitung durch die Stadt, so dass diese beiden Leitungen eine Spannungsdifferenz von 200 Volt besitzen und daher die gesammte Energie, weil mit doppelter Potentialdifferenz, mit der halben Stromstärke fortleiten. Daher können diese Leitungen doppelt so viel Widerstand haben, als im früheren Fall. Zwischen diese beiden Lampen werden nun die Glühlampen zu je zweien hintereinander und alle solche Paare parallel geschaltet. Damit aber nicht immer die beiden hintereinander geschalteten Lampen zusammen brennen müssen, was bei der Stromvertheilung nicht angeht, so führt man noch von den mittleren Klemmen der beiden

Maschinen eine dritte Leitung, die sogenannte Ausgleichsleitung durch die Stadt und schaltet die Glühlampen einzeln zwischen je eine der Hauptleitungen und die Ausgleichsleitung ein. Wenn zwischen beiden Theilen der drei Leiter gleich viel Lampen brennen, so hat die Ausgleichsleitung die Stromstärke 0. Brennen auf der einen Seite mehr oder weniger, so fliesst ein von Null verschiedener Strom durch die Ausgleichsleitung und verstärkt den Strom der einen Maschine und schwächt den der andern. Im Maximum, wenn in der einen Hälfte des Leitungssystems gar keine Lampen brennen, wäre der Strom in der Ausgleichsleitung so stark, wie in der Hauptleitung. Daher braucht die Ausgleichsleitung einen viel geringeren Querschnitt zu haben, als die Hauptleitungen. Man macht ihn aber häufig ebenso stark, wie bei diesen. In diesem ungünstigsten Falle erspart man also gegenüber dem Zweileitersystem bei gleicher Anlage $\frac{1}{4}$ an Leitungsmaterial und kann andererseits, wegen der doppelten Spannung, geringere Leitungsquerschnitte nehmen, so dass man ökonomisch nach dem Dreileitersystem eine Fläche von ca. 1000—1500 *m* Radius beleuchten kann.

Wenn man zwei Dreileitersysteme nebeneinander verwendet, gelangt man zu dem Fünfleitersystem, welches auch bereits praktisch verwendet ist. Bei diesem werden 4 Maschinen hintereinander geschaltet und ausser den beiden Hauptleitungen führen 3 Ausgleichsleitungen durch den Vertheilungsbezirk. Die ökonomisch zu beleuchtende Fläche ist bei diesem System weit grösser als beim Dreileitersystem, aber der Betrieb auch bedeutend weniger übersichtlich.

Für noch grössere Entfernungen tritt ein indirekter Beleuchtungsbetrieb ein und zwar entweder mit Gleichströmen durch Anwendung von Akkumulatoren oder mit Wechselströmen durch Anwendung von Transformatoren. Namentlich die letzteren eignen sich bei grossen Entfernungen der Centralstation von dem zu beleuchtenden Bezirk, weil dabei die elektrische Energie auf weite Entfernungen mit sehr hoher Spannung und geringer Intensität (also auf dünnen Leitungsdrähten) fortgeleitet wird, während in dem Beleuchtungsbezirk an geeigneten Stellen durch Transformatoren die Ströme in solche von hoher Intensität und geringer Spannung (100 Volt) transformirt werden und dann direkt zur Beleuchtung verwendet werden können.

IV. Hilfsapparate für elektrische Beleuchtung.

Bei jeder elektrischen Beleuchtungsanlage sind Messapparate für die Stromstärke und Klemmspannung nothwendig und eingeführt, technische Messapparate, welche direkt die Stromstärke in Ampères, die Klemmspannung in Volt mit genügender Genauigkeit abzulesen gestatten, sogenannte Ampèremeter und Voltmeter.

Ferner sind überall, wo Lampen und Lampengruppen besonders zu betreiben sind, Ausschalter anzubringen, welche durch eine einfache Handhabung die Leitung für diese Lampe oder Gruppe zu unterbrechen oder zu schliessen gestatten.

Endlich sind Sicherheitsvorrichtungen bei jeder Beleuchtungsanlage nothwendig. Diese bestehen gewöhnlich in den sogenannten Bleisicherungen. Damit nicht durch Kurzschlüsse ein zu starker Strom durch die Leitungen und Lampen fiesse, welcher sie beschädigt und ausserdem Feuersgefahr hervorbringt, werden in die Hauptleitungen sowohl, wie in die Nebenleitungen, an passenden Stellen kurze Streifen von Blei eingesetzt, von solchen Dimensionen, dass sie durch einen Strom, der stärker ist als derjenige, für den sie construirt sind, ab-

schmelzen und dadurch die Leitung unterbrechen. Diese Bleisicherungen befinden sich in Kapseln, welche aus Schiefer, Glas, Porzellan, Steingut bestehen, damit nicht durch das schmelzende Blei Feuersgefahr entsteht. Jeder durchgeschmolzene Bleistreifen lässt sich rasch durch einen gleichen, von derselben Nummer, ersetzen¹⁾.

GRAETZ.

Wärme und elektrische Arbeit von Ketten.

I. Wärme in Folge des Widerstandes.

1) RIESS²⁾ hat zuerst für die Entladung der Leydener Batterie gezeigt, dass die Erwärmung eines Drahtes bei gleicher Capacität der Batterie dem Quadrate der entladenen Elektrizitätsmenge und dem Widerstande proportional ist (für verschiedene Dimensionen und eine grosse Anzahl verschiedener Metalle). JOULE³⁾ fand für den constanten Strom der Kette, dass die in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge proportional dem Quadrat der Stromstärke und dem Widerstand ist. Er nahm verschiedene Längen und Dicken von Kupferdraht, ferner Eisen und Quecksilber. E. BECQUEREL⁴⁾ und bald nach ihm LENZ⁵⁾ stellten genauere Messungen an; BOTTO⁶⁾ bestätigte die Folgerungen für specielle Fälle. — CLAUDIUS⁷⁾ behandelte die Wärmewirkung bei Entladung der Batterie nach dem Princip der Erhaltung der Energie und leitete⁸⁾ das Erwärmungsgesetz für den Strom (gewöhnlich als JOULE'sches Gesetz bezeichnet) theoretisch ab. Da die Prämissen der Ableitung durchaus unzweifelhaft sind, so haben die experimentellen Bestätigungen heutigen Tages nur noch ein untergeordnetes Interesse, so dass wir sie hier übergehen. Die Frage ist vielmehr jetzt in der Weise umgekehrt, dass man auf der experimentell ermittelten Wärmemenge absolute Bestimmungen (z. B. des mechanischen Wärmeäquivalentes) aufbaut; höchstens könnten Abweichungen vom JOULE'schen Gesetz interessiren, weil sie auf noch unbekanntere Erscheinungen hinweisen würden.

2) Zwischen zwei Flächen, welche auf die resp. constanten Potentiale V_1 und V_2 geladen sind, befinde sich beweglich ein materieller Punkt, geladen mit der Elektrizitätsmenge e . Bewegt er sich von V_1 bis V_2 , so ist die elektrische Arbeit auf dem Wege $= (V_1 - V_2)e$. Folgt die Bewegung den Kraftwirkungen des Feldes (d. h. erfolgt sie von selber), so nimmt seine Geschwindigkeit zu und die elektrische Arbeit ist in kinetische Energie, d. h. in mechanische Arbeit L vollständig umgesetzt. Umgekehrt bei umgekehrter Richtung. Nimmt man an, die lebendige Kraft des Massenpunktes ändere sich nicht, sondern ihr Zuwachs werde durch reibungsähnliche Vorgänge vollständig in Wärme Q umgesetzt, so ist

$$Q = J \cdot L = J(V_1 - V_2)e. \quad (1)$$

¹⁾ Dieser Artikel über elektrische Beleuchtung ist durch ein Versehen vor dem folgenden zum Abdruck gebracht. WINKELMANN.

²⁾ RIESS, POGG. Ann. 40, pag. 342. 1837; 43, pag. 63. 1838.

³⁾ JOULE, Phil. Mag. 19, pag. 260. 1841.

⁴⁾ BECQUEREL, Ann. Chim. Phys. (3) 9, pag. 21. 1843.

⁵⁾ LENZ, POGG. Ann. 61, pag. 18. 1844.

⁶⁾ BOTTO, Arch. de l'Electr. 5. 1845.

⁷⁾ CLAUDIUS, POGG. Ann. 86, pag. 337. 1852.

⁸⁾ CLAUDIUS, POGG. Ann. 87, pag. 415. 1852.