



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Glückliche Stunden

Slaby, Adolf

Berlin, 1908

3. Wärme und Licht, die elektrischen Geschwister

[urn:nbn:de:hbz:466:1-73872](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-73872)



3.

Wärme und Licht, die elektrischen Geschwister.

Zu den interessantesten dichterischen Vorahnungen großer Naturgesetze, welchen wir in den Meisterwerken der Weltliteratur aller Zeiten begegnen, gehört jene merkwürdige Stelle in Goethes Faust, wo der Dichter den grübelnden Verstand sich abmühen läßt an der Übersetzung des gedankenreichsten Evangeliums, des Evangeliums Johannis. Von der beschränkten Fassung: „im Anfang war das Wort“, erhebt sich die Erkenntnis zu der höheren Deutung: „im Anfang war die Kraft“, um endlich volle Befriedigung zu finden in dem befreienden Gedanken: „im Anfang war die Tat.“

Sagen wir dafür, um in der Sprache der Mechanik zu reden, „im Anfang war die wirkende Kraft“, dann haben wir den Inhalt jenes großen Naturgesetzes vor uns, dessen Erkenntnis den Stolz des vorigen Jahrhunderts ausmacht, des Gesetzes von der Wandlung oder, wie man auch zu sagen pflegt, von der Erhaltung der Energie.

In den Naturerscheinungen, die uns umgeben, sehen wir heute nicht mehr wie früher bloß den trostlosen Gegensatz zwischen Blühen und Welken, den in sich abgeschlossenen Wechsel zwischen Werden und Vergehen, sondern wir erkennen in den wirkenden Naturkräften heute einen lebens-

vollen, unermüdlichen Wandel, einen ununterbrochenen Übergang in neue, ebenso wertvolle und wichtige Erscheinungsformen. Die wärmespendende Kraft der Sonne läßt nicht nur Fluren ergrünen und Wälder erstehen, die uns nähren und schirmen, sondern sie trägt auch unablässig die Wassermengen aus Flüssen und Meeren auf den felsigen Hang der Gebirge und läßt sie niederrinnen als belebende und kraftspendende Flut.

Nicht tote Kraft ist es, die den Wechsel schafft: erst die Fähigkeit, zu wirken, verleiht ihr den Wert. Ein gehobenes Gewicht, dem die Möglichkeit genommen ist, sich von seiner Stelle zu bewegen, kann noch keinen Nutzen bringen, erst wenn die Menschenhand ihm eine Bahn bereitet, kann das Gewicht nützliche Arbeit verrichten. Die Schwere der Körper hat zuerst die Anregung gegeben, die Arbeitsfähigkeit oder Energie, wie man sie auch mit einem Fremdwort bezeichnet, zu einem bestimmten Begriff zu verdichten. Man führte als Einheit der Energie diejenige Arbeit ein, welche die Gewichtseinheit 1 kg leistet, wenn sie durch eine Niveaudifferenz von 1 m fällt. Diese Einheit nennt man das Meterkilogramm. Sie gewinnt desto grösseren Wert, je häufiger sie in einer bestimmten Zeit in Erscheinung tritt. Ein neuer Begriff bildet sich deshalb, wenn wir die Zeit beachten. Fällt 1 kg durch 1 m in 1 Sekunde, so ist dies ein bestimmtes Maß für diesen Begriff, das man als Einheit des Effektes bezeichnet und 1 Sekundenmeterkilogramm nennt. Die Technik rechnet bekanntlich mit einer größeren Einheit: 75 Sekundenmeterkilogramm nennt sie eine Pferdestärke.

Aber nicht nur in der abgeschlossenen Wirkung einer Kraft erkennen wir Energie, auch in der Bewegung erscheint sie. Nehmen wir eine Dampfmaschine. Die Expansivkraft des Dampfes treibt den Kolben der Maschine bei jedem Hub

auf genau bemessenem Wege, und wir können die Arbeitsleistung, welche einem Hube entspricht, beziffern, wenn wir den Dampfdruck mit dem Wege des Kolbens multiplizieren. Wir haben also ein bestimmtes Maß für diese Arbeit in Meterkilogrammen. In anderer Form sehen wir dieselbe Energie an dem rotierenden Schwungrade. Dort erscheint sie in der Form der Bewegung und nach einer veralteten Bezeichnung nennt man sie „lebendige Kraft“. Wir wissen, daß wir sie messen können aus der Masse des Rades und der Geschwindigkeit desselben. Wir können sie aber auch jederzeit ausdrücken in Meterkilogrammen bzw. den Effekt, die Arbeit für die Zeiteinheit, in Sekundenmeterkilogrammen.

Der bedeutsamste Schritt zur Entdeckung des Energiegesetzes geschah, als Robert Mayer in den vierziger Jahren zeigte, daß auch die Wärme weiter nichts ist, als eine neue Form von Energie. Wir können heute nicht mehr bezweifeln, daß die kleinsten Teilchen eines Körpers sich in einer unaufhörlichen schwingenden, zitternden oder oscillierenden Bewegung befinden. Die Stärke dieser Bewegung ist ein Maß für den Grad der Wärmeerscheinung, die wir wahrnehmen.

Robert Mayer war der Erste, welcher nachwies, daß wir die Wärme selbst infolgedessen in mechanischem Maße ausdrücken können, in Meterkilogrammen, indem wir den Wert der lebendigen Kraft der kleinsten Teilchen bilden. Im gewöhnlichen Leben und vor dieser Erkenntnis war ein anderes Maß für die Wärme üblich. Man nahm eine beliebige Wirkung derselben, und zwar als nächstliegende diejenige, welche sie ausübt bei der Erwärmung einer Flüssigkeit, insbesondere des Wassers. Man nannte diejenige Wärme 1 (eine Kalorie), welche 1 kg Wasser um 1°C erwärmt. Mayer hat nun gezeigt, wie wir dieses Maß, das offenbar ganz willkürlich war, ersetzen können durch das viel sicherere und viel

tiefer in die Erscheinung eindringende Maß in Meterkilogrammen; er war der Erste, der den Zusammenhang beider Maße feststellte; er zeigte — und nach ihm ist es von vielen Forschern sichergestellt worden — daß rund 425 mkg identisch sind mit einer Kalorie. Wir können also jetzt eine Wärmemenge in zwei verschiedenen Maßsystemen angeben, entweder in Kalorien, das ist die alte Methode, oder nach der neueren Auffassung in Meterkilogrammen, in Arbeitseinheiten, d. i. also genau so, als ob wir eine Länge in verschiedenen Einheiten messen, etwa in Fuß und Meter.

Die Wärme wurde nun die Brücke zu der wichtigen Erkenntnis, daß auch die elektrischen Erscheinungen nichts anderes sind als neue Wandlungen der Energieform. Wir können ihre Stärke zurückführen entweder auf ein kalorisches Maß — Kalorien — oder auf das mechanische Maß — Meterkilogramm — und wenn wir die elektrische Erscheinung für die Zeiteinheit betrachten, können wir sie ausdrücken in mechanischen Effekteinheiten.

Am schnellsten wird uns das klar werden, wenn wir zunächst den Übergang in das kalorische Maß einer näheren Betrachtung unterziehen. Ein metallischer Draht, durch welchen ein elektrischer Strom fließt, erwärmt sich. Wir sehen also Wärmeenergie auftreten. Man kann sogar die Frage erörtern, ob es nicht möglich wäre, die Stärke der elektrischen Erscheinung durch diese Wärme zu messen. Dies gelingt vollkommen. Nehmen wir eine ganze elektrische Quelle, wie sie hier vor uns steht, in der Form, welche man einen Akkumulator nennt. Ein solches Element besteht aus zwei verschiedenen Platten, welche in angesäuertes Wasser getaucht sind; man hat nur die Kupfer- und Zinkplatten des alten Voltaelementes ersetzt durch zwei Bleiplatten, von denen die eine metallische Oberfläche besitzt, die andere dagegen

bedeckt ist mit einer Schicht einer Bleiverbindung, dem Bleisuperoxyd. Diese Platten werden auf elektrischem, nicht auf chemischem Wege präpariert. In dieser Gestalt, in der man den Akkumulator als geladen bezeichnet, ist er für uns nichts anderes als ein Voltaelement. Aber dieses Element hat eine größere Spannung an den Polen als das alte Voltaelement. Jenes besitzt nur 1 Volt, dieses dagegen rund 2 Volt Spannung. Wenn wir nun ein solches Element schließen, so wird eine Wärmeproduktion entstehen, und wir werden wahrnehmen, daß nach einer gewissen Zeit das Element sich erschöpft. Wenn wir es näher untersuchen, finden wir, daß die Bleisuperoxydschicht auf der einen Platte völlig verschwunden ist, und daß auch die andere Platte sich verändert hat. Dann ist das Element inaktiv geworden, es ist erschöpft.

Wir können uns nun die Aufgabe stellen, den gesamten Energie- oder Arbeitswert, den ein solches Element repräsentiert, zu messen. Wollte ich bloß den Leitungsdraht in ein Wasserkalorimeter tauchen und aus der Temperaturerhöhung und der Menge des erwärmten Wassers einen Rückschluß machen auf die Größe der hier entwickelten Wärme, dann würde ich einen Fehler begehen; es werden auch in den Zuleitungsdrähten Wärmeerscheinungen auftreten, diese müßten wir berücksichtigen, auch wenn wir sie vielleicht auf ein sehr geringes Maß reduzieren könnten, indem wir sehr dicke Zuleitungsdrähte wählten. Immerhin würde aber auch in diesen Wärme auftreten. Ebenso wird auch Wärme auftreten in der Batterie selber. Wir nehmen es daran wahr, daß sich die Flüssigkeit erwärmt. Nun, man könnte vielleicht den Grad der Erwärmung bestimmen und denselben bei dem Gesamtergebnat berücksichtigen. Diese Messung wäre aber mit verschiedenen Fehlerquellen behaftet. Am einfachsten und sichersten würden wir zum Ziele gelangen, wenn wir

die ganze Batterie mit dem Schließungskreis in ein Kalorimeter tauchen könnten, gefüllt mit einer Flüssigkeit, welche die Elektrizität nicht leitet, z. B. Öl. In einem solchen Ölkalorimeter könnten wir den ganzen Vorgang vor unseren Augen sich abspielen lassen und würden bis zur Erschöpfung des Elements die Gesamtwärme, welche dabei auftritt, messen können.

Wärme ist Energie; daraus folgt, daß also der gesamte elektrische Vorgang hier einen bestimmten Energiebetrag repräsentiert. Man hat solche Messungen ausgeführt. Es würde zu lange dauern, wollte ich den Versuch hier wiederholen. Ein Akkumulator von dieser Grösse liefert bis zur vollen Erschöpfung 75 Kalorien Wärme; wir können also damit 75 l Wasser um 1° erwärmen oder 1 l Wasser um 75°. Wenn wir diese Wärme umsetzen wollten in mechanische Arbeit, wenn wir sie benutzen wollten, um Wasser in Dampf zu verwandeln und damit eine Dampfmaschine zu treiben, so könnten wir die 75 Kalorien umrechnen in das mechanische Maß der Arbeit, das wären $75 \cdot 425 = 32\,000$ mkg. Der Arbeitsvorrat, die Arbeitsfähigkeit, die dieses Element repräsentiert, würde also — abgesehen von Verlusten, die natürlich nicht zu vermeiden sind — genügen, um 32 Tonnen 1 m zu heben oder etwa 6 kg auf die Höhe des Montblanc zu tragen. So können wir also den Wert der elektrischen Prozesse in den uns üblichen und vertrauten Einheiten bestimmen.

Wir verdanken diese Erkenntnis nicht der Berufsgelehrsamkeit, sondern ein Mann aus dem praktischen Leben war es, seines Zeichens ein Brauereibesitzer in England, James Prescott Joule, der diesen Zusammenhang zuerst vollkommen klargelegt hat. Er hatte, wie es so oft in England der Fall, neben seiner Berufstätigkeit Zeit und Lust zu rein wissenschaftlichen Forschungen, und in sehr sorgfältigen

Laboratoriumsarbeiten hat Joule den Zusammenhang ermittelt, welcher zwischen der produzierten Wärme und den Elementen des elektrischen Kreislaufs besteht, zwischen der Wärme, der Spannung, der Stromstärke und dem Widerstand. Er hat Drähte von genau abgemessenen Längen und Querschnitten in Wasserkalorimeter gebracht und die entstehende Wärme ermittelt, indem er gleichzeitig genaue Messungen der Stromstärke und der Spannung vornahm. Seine Untersuchungen haben zu einem wichtigen und weittragenden Gesetze geführt, das man ihm zu Ehren das Joule'sche Gesetz benannt hat.

Nach diesem Gesetze ist die Wärmeproduktion abhängig von dem Widerstand, in welchem der Strom arbeitet, und von der Stromstärke. Ich könnte diesen Versuch mit einem Wasserkalorimeter hier ausführen, doch ich habe kein Thermometer, welches die geringen Differenzen im Stande der Quecksilbersäule so weithin sichtbar zeigt, daß Sie es von Ihren Plätzen aus sehen könnten. Das Gesetz ist aber so wichtig und grundlegend, daß ich nicht genug Sorgfalt darauf verwenden kann, einen vollständigen Einblick in dasselbe zu verschaffen. Ich werde daher, um den Beweis experimentell zu führen, eine andere Art der kalorimetrischen Messung wählen, und statt eines Wasserkalorimeters ein Luftkalorimeter benutzen.

Ich habe hier vier Flaschen aufgestellt und bitte Sie, zunächst diese ersten beiden Flaschen zu betrachten. (Fig. 34.) Sie haben einen ansehnlichen Rauminhalt und sind gegen die äußere Atmosphäre vollständig luftdicht abgeschlossen. In diesen mit Luft gefüllten Flaschen befinden sich dicke Drähte aus Neusilber. Die Drähte sind so bemessen, daß bei ganz gleichem Querschnitt in der ersten Flasche die Länge doppelt so groß ist als in der zweiten. Da die Materialien gleich

sind, wird infolgedessen der elektrische Widerstand in der ersten Flasche doppelt so groß sein müssen wie der Widerstand in der zweiten Flasche. Wenn ich nun diese beiden Drähte, die mit dicken Anschlußdrähten aus Kupfer oben und unten herausgeführt sind, in einen Stromkreis schließe, so daß der elektrische Strom die beiden Widerstände in den beiden Flaschen hintereinander durchläuft, so ist klar, daß in beiden Flaschen dieselbe Stromstärke tätig sein muß. In einem geschlossenen Leiterkreise kann immer nur eine Stromstärke sein, wir haben keine Verzweigung. Die

Wärme, die durch die Wirkung des Stromes in den Neusilberdrähten entsteht, wird den Inhalt der Flaschen erwärmen, und wir wissen aus der Physik, daß bei konstantem Druck — und der Druck ist konstant, denn die Gefäße sind geschlossen durch eine kleine Wassersäule, deren Höhendifferenz wir

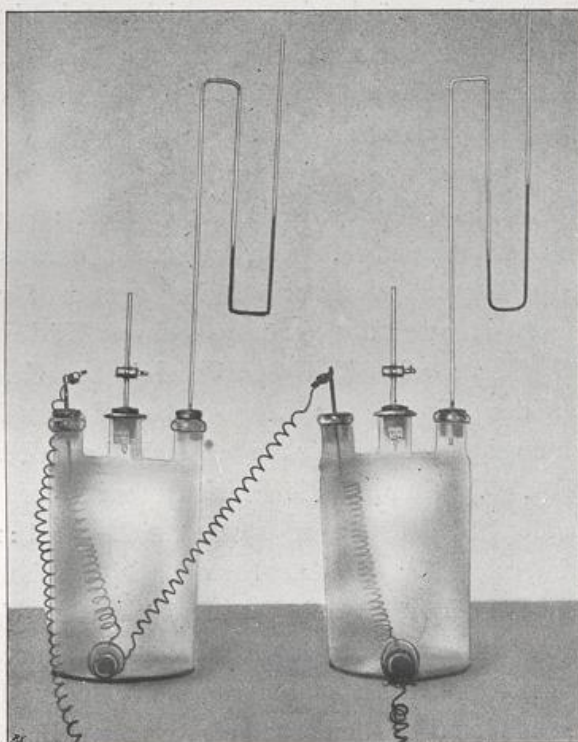


Fig. 34.

Wärme, die durch die Wirkung des Stromes in den Neusilberdrähten entsteht, wird den Inhalt der Flaschen erwärmen, und wir wissen aus der Physik, daß bei konstantem Druck — und der Druck ist konstant, denn die Gefäße sind geschlossen durch eine kleine Wassersäule, deren Höhendifferenz wir

vollständig außer Acht lassen können — die Ausdehnung der Luft proportional der Erwärmung sein muß. Nun werden wir den Grad der Ausdehnung bezw. die Schnelligkeit derselben dadurch sichtbar machen, daß in diesen auf- und niedergeführten, doppelt gekrümmten Röhren ein kleine gefärbte Wassersäule sich verschiebt. Ich bitte Sie, die beiden Flaschen zu beobachten, Sie werden wahrnehmen, daß in der ersten Flasche die Flüssigkeitssäule genau doppelt so schnell steigt als in der zweiten. Da beide von dem gleichen Strom durchflossen sind, so folgt daraus, daß die Wärmeproduktion in dem größeren Widerstand doppelt so groß sein muß als in dem einfachen. Wir erkennen daraus das Naturgesetz: Die Wärmeproduktion in einem Draht ist direkt proportional der Grösse seines Widerstandes.

Der zweite Teil des Joule'schen Gesetzes bezieht sich auf den Einfluß der Stromstärke. Um auch diesen Teil klar zu machen, wollen wir die beiden weiteren Flaschen betrachten. (Fig. 35.) Hier ist die Einrichtung insofern geändert, als die beiden Drähte, deren Längen sich wie 1:2 verhalten, nicht hintereinander in den Stromkreis geschaltet sind, sondern parallel. Der Strom der Batterie verzweigt sich also, ein Teil desselben geht durch diesen, der andere Teil durch jenen Widerstand, dann summieren sich wieder die beiden Zweigströme und fließen zur elektrischen Batterie zurück. Wir haben also eine Verzweigung, und die Widerstände in den beiden Zweigen verhalten sich genau wie 1:2. Bei einer solchen Verzweigung teilt sich die Stromstärke im umgekehrten Verhältnis der Widerstände, so daß in dem Zweigwiderstand, welcher doppelt so groß ist als der andere, nur die Hälfte des Stromes vorhanden ist wie in dem anderen Zweige. Wäre nun die Stromstärke auf die Wärmeproduktion ohne jeden Einfluss, dann müßte das erste Gesetz Anwendung

finden; es müßte, dem doppelten Widerstande entsprechend, in der links stehenden Flasche die Wärmeproduktion doppelt so groß sein als in der anderen. Wir werden sehen, das trifft nicht zu. Es muß also noch eine andere Abhängigkeit vorhanden sein.

Es ist die Abhängigkeit von der Stromstärke.

Nehmen wir zunächst an, die Wärmeproduktion sei, etwa ebenso wie beim Widerstande, einfach proportional der Stromstärke, — was müßten wir dann sehen? Dann würde in einer Flasche bei dem Widerstand 1 und der Stromstärke 2, in der anderen bei dem Widerstand 2 und der Stromstärke 1 die gleiche Wärme produziert

werden. Es würde einerseits der geringere Widerstand in seiner Wirkung für die Wärmeproduktion ausgeglichen durch die größere Stromstärke und andererseits der größere Widerstand durch die geringere Stromstärke. Für diesen Fall

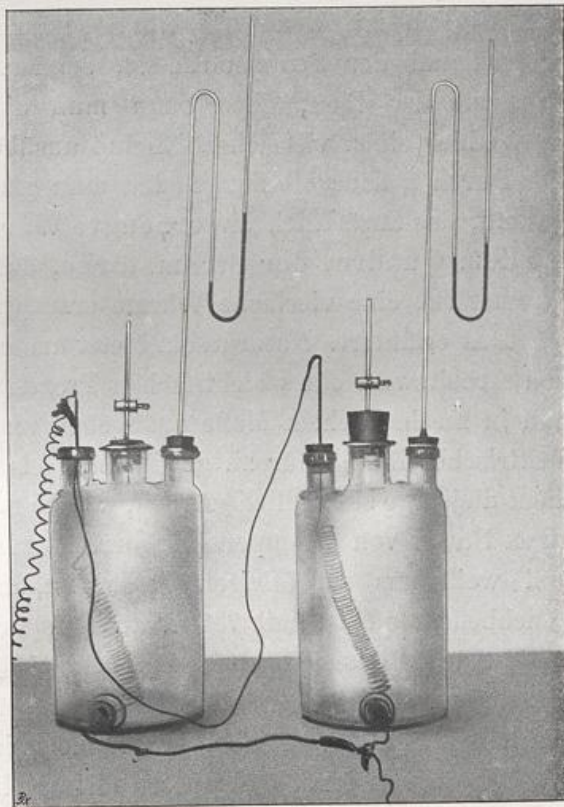


Fig. 35.

müßten dann also die beiden Wassersäulen gleich schnell steigen. Auch das werden wir nicht sehen. Der Versuch zeigt vielmehr, daß gerade in der Flasche, wo der Widerstand nur halb so groß ist, die Wassersäule doppelt so schnell steigt als in der anderen. Eine einfache Überlegung lehrt, daß dies nur möglich ist, wenn die Wärmeproduktion nicht einfach proportional der Stromstärke ist, sondern proportional dem Quadrate derselben, denn dann muß die doppelte Stromstärke hier einen vierfachen Einfluß ausüben.

Durch genaue Messungen hat man ganz einwandfrei festgestellt, das tatsächlich die erzeugte Wärme proportional ist dem Quadrat der Stromstärke, daß also eine doppelte Stromstärke eine vierfache Wärme erzeugt.

Das erläuterte Naturgesetz bietet uns nun die Möglichkeit, den Arbeitswert eines elektrischen Prozesses in kalorischem und in mechanischem Maße anzugeben und zugleich auch ein elektrisches Maß dafür zu gewinnen. Als Einheit des Effekts dient diejenige sekundliche Arbeit, welche mit 1 Volt Spannung einen Strom von 1 Ampere hervorruft, man nennt sie 1 Watt und weiß aus sorgfältigen Messungen, daß 1 Pferdestärke gleichbedeutend ist mit 736 Watt. Als größere Einheit verwendet man das Kilowatt, das rund $1\frac{1}{3}$ Pferdestärken repräsentiert. Die Größe und Leistungsfähigkeit der elektrischen Maschinen beziffert sich zumeist in Kilowatt.

Wir wissen jetzt, daß unsere elektrischen Zentralen elektrische Energie erzeugen, in ausgedehnten Kabelnetzen verteilen und in die angeschlossenen Häuser leiten. Die Verwendung dieser Energie für Heizzwecke hat noch keine großen Fortschritte gemacht. Mit Unrecht. Wir wollen uns das an einem Beispiel klar machen.

Nehmen wir an, es soll ein Bad bereitet werden. Nach dem Tarif der Berliner Elektrizitätswerke kostet die erforder-

liche Energie 50 Pfennige. Billiger stellt es sich zwar mit Gasheizung, nämlich nur 6 Pfennige. Aber Welch ein Unterschied in der Annehmlichkeit, Bedienung und Reinlichkeit! Für den, der sich überhaupt den Luxus leisten kann, elektrische Beleuchtung im Hause zu haben, spielt der Preisunterschied eine geringe Rolle.

Anders natürlich liegen die Verhältnisse, wenn es sich darum handelt, für technische Prozesse Wärme zu produzieren; dann wird in den meisten Fällen die elektrische Produktion der Wärme zu kostspielig sein und die Rentabilität zweifelhaft machen. So hat man vorgeschlagen, die Eisenbahnzüge elektrisch zu heizen. Die einfachste Rechnung zeigt, daß dann die Lokomotive eine ganz ansehnliche Zentralstation werden müßte, um die erforderliche elektrische Energie produzieren zu können. Etwas anderes ist es, wenn man elektrische Bahnen hat, wo man Strom beliebig zuführen kann. Solche Versuche hat man gemacht. Da hat sich gezeigt, daß unter den jetzigen Verhältnissen ein gewöhnlicher elektrischer Bahnwagen, wenn die Temperatur im Innern 15° über der Außentemperatur sein soll, mit 20 Pfennigen pro Stunde zu heizen ist.

Diese Zahl zeigt, daß wir nicht vor absoluten Unmöglichkeiten stehen. Nun ist der Preis der elektrischen Energie in Berlin ein ziemlich hoher, 16 Pf. pro Kilowattstunde. In Oberschlesien sind ausgedehnte Zentralanlagen, welche vielfach für große Industrien die elektrische Kraft liefern und die Kilowattstunde für 10 Pf. verkaufen, bei größerer Menge — über eine Million — sogar nur für 8 Pf. Hier wird die elektrische Energie durch Dampf erzeugt. Viel günstiger stellen sich die Verhältnisse, wenn man Wasserkraft zur Verfügung hat. Sehr zahlreich sind solche Wasserkraftanlagen in der Schweiz, und ich kenne verschiedene Stellen,

wo die Pferdestärke pro Stunde mit 1 Pf. abgegeben wird. Allerdings ist dies nur unter ganz besonders günstigen Umständen erreichbar. Daß die Finanzmänner ununterbrochen ihr Augenmerk auf diese Frage richten, beweist die große Bewegung, welche augenblicklich in Norwegen, Schweden und Finnland stattfindet. Dort ist man dabei, sich die Wasserfälle zu sichern, welche besonders in Finnland sehr günstig an der Küste gelegen sind, um Tausende von Pferdestärken zu erzeugen und mit Hilfe von elektrischer Energie chemische Prozesse auszuführen.



Fig. 36.

Für technische Zwecke hat man die elektrische Wärme bis jetzt nur vereinzelt in Gebrauch genommen. Man hat Heizplatten ausgebildet, indem man die Wärme einer Eisenplatte dadurch zuführt, daß ein feiner Draht aus Neusilber auf der Platte in Zickzackform befestigt ist, und zwar befestigt auf einer Emailleschicht, welche auf die Eisenplatte gebreitet wird. Das Ganze ist bedeckt mit einer zweiten Emailleschicht, so daß man den eigentlichen Draht, mit welchem die Platte erwärmt wird, nicht sieht. (Fig. 36.) Diese Platten haben sich gut bewährt. Die Anschlußpunkte, an denen sich die Leitungen befestigen lassen, sehen Sie draußen. Die Schwierigkeit ist, daß man eine Emaille wählen muß, die genau denselben Ausdehnungskoeffizienten für die Wärme hat wie der Leitungsdraht. Für Kochgeschirre verwendet man in neuester Zeit eine sehr interessante Konstruktion.

Um nämlich einen Leiter von sehr hohem Widerstand zu erzeugen, der Oxydationseinflüssen nicht unterliegt und verhältnismäßig hohe Temperatur verträgt, ist man gezwungen, zu den edlen Metallen zu greifen, und da ist man auf den Gedanken gekommen (Fig. 37), die dünne Schicht einer eingebraunten Vergoldung zu benutzen. Solche Kochgeschirre sind unter der Marke „Prometheus“ im Handel.

Die Frage des elektrischen Kochens scheint überhaupt in greifbare Nähe gerückt zu sein. Für einzelne Zwecke z. B. würde



Fig. 37.

ich heute nichts anderes mehr empfehlen. Ich habe mir sagen lassen, daß an Bord S. M. S. „Hohenzollern“ die Kücheneinrichtung unter starker Hitze zu leiden hat. Es wäre so einfach gewesen, hier durch eine elektrische Kocheinrichtung Abhilfe zu schaffen. Die elektrische Kraft, mit großen Maschinen erzeugt, ist vorhanden, und das Kochen damit wäre vielleicht billiger als die Kohlenfeuerung.

Ehe wir von der Wärme Abschied nehmen, möchte ich kurz darauf hinweisen, daß man die Wärmewirkung benutzt hat, um die elektrischen Drähte vor einer unzulässigen Stromstärke zu sichern. Man fügt in die Leitungen Schmelzdrähte

ein, welche bei einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur abschmelzen. Am meisten Verwendung hat hierfür das Blei gefunden. Ich habe hier zwischen Kupferstücken einen kleinen Bleistab befestigt. (Fig. 38.) Wir wollen einen langsam sich steigenden Strom hindurchschicken, Sie werden sehen, daß das Blei zum Schmelzen kommt und damit die Batterie ausschaltet.

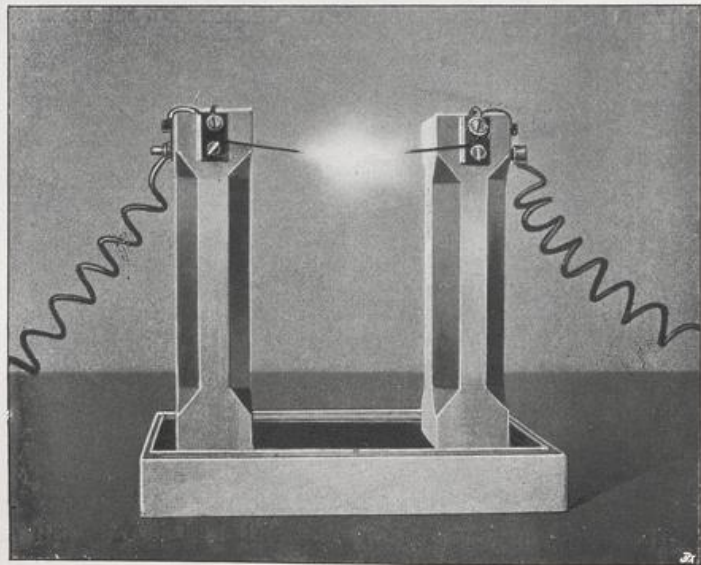


Fig. 38.

Man darf aber nicht glauben, daß dadurch eine elektrische Leitung gegen Brandschaden völlig gesichert ist. Die Brände, welche bei Beleuchtungsanlagen auftreten, sind manchmal auf ganz andere Ursachen zurückzuführen, zumeist allerdings auf liederliche Arbeit.

Es ist hier ein Punkt bemerkenswert, auf den ich hinweisen möchte. Wenn zwei Drähte miteinander verbunden

werden sollen, so geschieht es leider manchmal durch Umeinanderwürgen. Das bietet Gefahr. Die Metalloxyde, welche Kupfer, Eisen oder die sonstigen Leitungsmaterialien bedecken, besitzen einen wesentlich höheren spezifischen Widerstand als das Metall. Handelt es sich nun um eine solche Wür.estelle, so wird der Strom daselbst gezwungen, durch einen verhältnismäßig hohen Widerstand zu gehen, und da die Wärmeproduktion von dem Widerstande abhängt, so begreifen Sie, daß an dieser Stelle, wo also die Berührung der Drähte stattfindet, unter Umständen eine sehr starke Wärmeproduktion erfolgt, so stark, daß der Draht ins Glühen kommt und in der Nähe liegende Holzteile entzündet. Ich habe einen solchen Fall einmal untersuchen müssen. Vor einigen Jahren war in der Nähe des Lehrter Bahnhofes ein großer Raum zu einem Ballspielsaal für seine Majestät herzurichten. In der Zeit von zwei Tagen war der Raum mit Gasheizung und elektrischer Beleuchtung zu versehen. Alles war zur gegebenen Zeit fertig. Abends nach 8 Uhr wurde die elektrische Leitung abgeschaltet. Am nächsten Morgen wurden die Gasöfen geheizt. Als um 9 Uhr der Diener den Saal betrat, stand der Raum in hellen Flammen. Es lag nichts näher, als dieses Brandunglück den Gasöfen zuzuschreiben, denn Elektrizität war in dem Raum zur Zeit des Brandes nicht vorhanden. Der Fall erforderte aber eine eingehende Untersuchung. Die Leitung wurde bloßgelegt, und was fand sich? An einer Stelle hatten die Arbeiter bei der Eile, in der gearbeitet werden mußte, zwei Drähte nicht durch Lötung, wie vorgeschrieben, verbunden, sondern umeinandergewürgt; dort war ein großer Widerstand entstanden unmittelbar an einer Holzleiste, darüber befanden sich Drapierungsstoffe. Nun war der Spannungsabfall nicht so groß gewesen, daß die Lampen etwa wesentlich dunkler brannten, und man es daran hätte

merken können. Das Holz war ins Schwelen gekommen, nachher war der Strom abgestellt, aber das Holz glimmte weiter, und als am Morgen beim Anzünden der Gasöfen ein lebhafter Luftzug entstand, wurde der Brand entfacht. Hätte man sich damals ohne nähere Untersuchung zufrieden gegeben, so wäre der Brand dauernd auf dem Konto der Gasheizung verblieben. —

Wir kommen nun zu der leuchtenden Schwester der Wärme. Ihre nahe Verwandtschaft zeigt uns folgendes Experiment. Ein langer Eisendraht ist quer durch den Saal gespannt; ich verbinde ihn mit einer starken elektrischen Quelle, einer Akkumulatorenbatterie, deren Strom ich durch einen Kurbelwiderstand reguliere. Das eingeschaltete Meßinstrument zeigt jetzt den Durchgang des Stromes: an dem Draht ist noch nichts zu bemerken, nur die aufsteigende Luftbewegung, an den Staubteilchen erkennbar, läßt auf seine Erwärmung schließen. Jetzt werden wir den Saal verdunkeln und allmählich den Strom verstärken, indem wir den abdrosselnden Kurbelwiderstand vermindern. Ein schwacher roter Schimmer geht jetzt von dem Drahte aus, der sich langsam verstärkt, sich zur Rotglut entwickelt und schließlich den ganzen Draht in sprühende Weißglut versetzt. Wie ein leuchtendes Band durchzieht er den Saal und taucht ihn in Helligkeit. Dies zeigt uns, daß wir in der Lichtstrahlung nur eine verstärkte Wärmestrahlung zu erkennen haben oder mit anderen Worten gleichfalls einen Energiewert, den wir in den gleichen Massen dereinst werden messen lernen wie die Wärmewirkung. Leider sind wir zur Zeit noch nicht so weit, denn das Lichtäquivalent ist nicht so leicht zu bestimmen wie das Wärmeäquivalent.

Die Technik hat den naheliegenden Weg beschritten und zunächst eine willkürliche Einheit festgesetzt. Als Maß der

Lichtstärke dient ein Einheitslicht. Man hat dazu früher eine Kerze benutzt, die besonders sorgfältig hergestellt wurde, in England aus reinem Walrat, in Deutschland aus feinstem Paraffin oder Stearin. Es war nicht möglich, auch nur in Deutschland Einigkeit zu erzielen. Die Norddeutschen hatten eine andere Normkerze als die Bayern und erst vor wenigen Jahren ist es gelungen, dies Reservatrecht zu beseitigen. Das heut geltende Normallicht in Deutschland ist keine Kerze, sondern eine kleine Lampe, die den Vorteil bietet, daß sie jederzeit reproduziert werden kann. Sie wird gefüllt mit einem brennbaren Stoff (Fig. 39), der in jeder Drogenhandlung zu haben ist: Amylacetat, essigsäures Amyl, das einen wunderschönen Geruch nach Äpfelsäure verbreitet. Der Docht von 10 mm Durchmesser wird so eingestellt, daß die Lampe mit 40 mm Flammenhöhe brennt, dann gibt sie ein schönes, etwas rötlich gefärbtes Licht. Die Lampe ist angegeben von

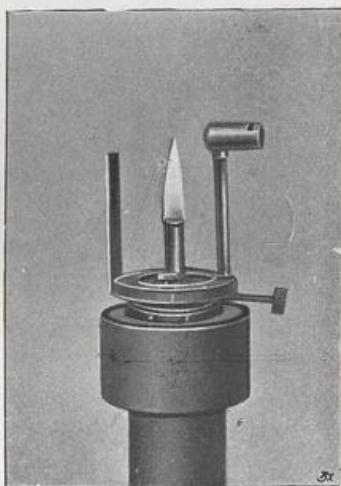


Fig. 39.

v. Hefner-Alteneck. Man nennt sie deshalb Hefnerlicht oder Normkerze. Leider hat diese Einheit noch keine internationale Gültigkeit. Als in Chicago diese Frage erörtert wurde und alle Staaten sich bereit erklärten, die Kerze anzunehmen, widerstrebte allein der Vertreter Englands unter dem Vorwande, er müsse sich erst Instruktion von seiner Regierung holen. Am nächsten Tage kam ein Telegramm: die englische Regierung hätte sich bereits schlüssig gemacht

und die Pentanlampe gewählt; sie unterscheidet sich von der Amyllampe eigentlich nur dadurch, daß ein anderer Stoff, das Pentan, zum Brennen benutzt wird.

Das gefärbte Licht macht einen ganz verschiedenartigen Eindruck auf das menschliche Auge. Wir können nur annehmen, daß die Beanspruchung des Auges dabei eine andere ist. Sehr interessante Versuche hat nach dieser Richtung ein Amerikaner, Langley, angestellt. Er hat die Lichtwirkung bestimmt, welche bei Aufwendung gleicher Energiemenge erzeugt wird, und hat gefunden, daß, wenn diese Energie in rote Strahlung, verwandelt wird, und wir den Lichteindruck, den dieser auf das Auge hervorruft, mit 1 bezeichnen, dann die gelbe Strahlung mit derselben Energiemenge erzeugt, den Eindruck 28 000 hervorruft; in grüner Strahlung den Eindruck 100 000 und in violetter Strahlung 1600.

Rot	Gelb	Grün	Violett
1	28 000	100 000	1600

Das ist ein sehr wichtiges Resultat. Es zeigt, daß, wenn wir in ökonomischer Weise Licht erzeugen wollen, wir in erster Linie die grüne Strahlung zu bevorzugen haben. Am kostspieligsten ist das rote Licht, es erfordert am meisten Energieaufwand. Gelb ist schon besser, aber bei weitem am besten ist das Grün. Er hat ferner gezeigt, daß die Beanspruchung des Auges eine ganz verschiedene ist, am stärksten bei rotem, am schwächsten bei grünem Licht. Hieraus wird uns klar, weshalb das grüne Licht für uns so wohltuend ist und das Auge so gern auf grünen Matten weilt.

Die Fortschritte im Beleuchtungswesen sind zumeist darauf zurückzuführen, daß man Flammen mit immer höheren Temperaturen und größerem Reichtum an grünen Strahlen verwendet hat. Dies konnte nur geschehen, indem man die

glühenden Kohlenpartikelchen, die in der Gasflamme ebenso wie in der elektrischen Glühlampe das Leuchten hervorrufen, durch Körper ersetzt, welche höhere Temperaturen vertragen. Ein solcher Stoff ist z. B. Magnesia, eine Verbindung von Magnesium und Sauerstoff. Schon vor mehr als 20 Jahren versuchte ein Schwede, Fahnejhelm, solches Licht zu erzeugen, indem er kleine Stäbchen von Magnesia in eine entleuchtete Bunsenflamme von hoher Temperatur hängte. Den größten Fortschritt verdanken wir Auer v. Welsbach; er ersetzte die Magnesia durch andere Stoffe, die sogenannten seltenen Erden Thorium und Cerium, mit deren Salzen er die bekannten Strümpfe trankt, die in der Flamme des Bunsenbrenners zu hoher Temperatur erhitzt werden. Es ist bekannt, daß die Lichtausbeute der Gasflamme dadurch auf das fünffache gesteigert wird. Nun ist aber die Strahlung der Auerstrümpfe eine intensiv grüne. Das hat viele Menschen gestört, und man hat die grüne Farbe wieder künstlich zu beseitigen versucht. Von unserem Standpunkt aus müssen wir sie empfehlen, sie ist nicht nur ökonomisch sondern auch hygienisch.

Wenn es sich darum handelt, festzustellen, welches Licht das menschliche Auge bedarf, um deutlich lesen und zeichnen zu können, so kommt die Flächenhelligkeit in Betracht. Die Physiologen haben festgestellt, daß, wenn das Auge nicht überanstrengt werden soll, eine Flächenhelligkeit von 10 Meterkerzen vorhanden sein muß. Die Meterkerze ist das Einheitsmaß für die Flächenhelligkeit, es ist diejenige, welche entsteht, wenn eine Normkerze 1 m von der Fläche entfernt ist. Zehn solcher Meterkerzen reichen also aus. Festbeleuchtungen verlangen eine bei weitem größere Helligkeit; man geht bis zu 50 und 60 Meterkerzen. Die größte Helligkeit in unserem Schlosse ist im Rittersaal unter dem großen Kron-

leuchter erreicht, wo sie 50 Meterkerzen beträgt. Als der weiße Saal neu eingerichtet wurde, handelte es sich darum, eine neue Beleuchtung anzulegen, und es war zu überlegen, von welcher Intensität die Lichtquelle sein müßte. Es wurde eine Flächenhelligkeit von 50 Meterkerzen angenommen, doch als die Beleuchtungskörper angebracht waren, ergab sich eine viel größere Lichtfülle, über 60 Meterkerzen. Woher rührte das? Man hatte den Reflex der weißen Wände nicht in Rechnung gezogen. Jetzt, nachdem die Wände mit getöntem Marmor bekleidet sind, hat sich die übergroße Helligkeit wieder gemildert.

Das Sonnenlicht erzeugt im Juli bei klarem Himmel in der Mittagsstunde eine Flächenhelligkeit von 300 000 Meterkerzen. Noch größer ist allerdings die Helligkeit bei den Scheinwerfern. Ein solcher, der mit 50 Ampere arbeitet, erzeugt in einem Meter Entfernung eine Flächenhelligkeit von 6 000 000 Meterkerzen. Diese außerordentliche Intensität rührt daher, daß die sonst nach allen Seiten in den Raum entweichenden Strahlen konzentriert, in einem Bündel vereinigt und so auf die Fläche geworfen werden.

Nachdem durch das Auerlicht ein so intensiver Fortschritt in der Gasbeleuchtung erzielt war, kam die elektrische Beleuchtung etwas ins Hintertreffen, aber sie hat das, was beim Gaslicht zum Ziele führte, sich nutzbar gemacht und eine Steigerung der Leuchtkraft der Glühlampen bewirkt, die nun wieder der elektrischen Beleuchtung einen kleinen Vorsprung zu geben berufen sein dürfte.

Betrachten wir zunächst das gewöhnliche Glühlicht, wie wir es seit 1879 in Gebrauch haben, so wird dabei bekanntlich durch den elektrischen Strom ein Kohlenfaden zum Glühen gebracht. Edison war der Erste, der in praktischer Weise solche Lampen herstellte, und 1879 wurde der Dampfer

„Columbia“ zum ersten Male mit seinen Lampen erleuchtet.

Was die Fabrikation der Glühlampen anbetrifft, so dürfte bekannt sein, daß die Kohlenfäden hergestellt werden aus vegetabilischen Stoffen, aus Bambusfaser, oder, wie jetzt fast ausschließlich, aus Cellulose. Es wird Baumwolle in Schwefelsäure gelöst, das gibt eine breiartige Masse, die durch feine Glasröhren gepreßt, in Wasser übertritt und dabei erstarrt. Die feinen hellglänzenden Fädchen werden in Kohlenpulver verpackt und in festverschlossenen Muffeln einer sehr hohen Temperatur ausgesetzt für mindestens 24 Stunden: dabei wird die Zellulose völlig in Kohle verwandelt; sie erhält eine schöne gleichmäßige und harte Oberfläche. Ein so präparierter Faden wird zunächst mit kleinen Anschlußdrähten aus Platin versehen. Man muß Platin wählen wegen der Gleichheit des Ausdehnungskoeffizienten mit dem des Glases. Man bringt dann den Faden selbst in das Innere einer Glasglocke, welche in rohem Zustande aus den Glashütten bezogen wird. Hierauf werden die Lampen evakuiert. Bei gewöhnlicher atmosphärischer Luft könnten wir niemals einen solchen Faden auf die Dauer in hohe Glut versetzen, er würde verbrennen. Es ist also nötig, daß das Erglühen des Fadens erfolgt unter vollständigem Luftabschluß, bezw. in einer indifferenten Atmosphäre.

Man hat gefunden, daß der so hergestellte Faden noch nicht ausreicht, um eine haltbare Glühlampe zu geben, er besitzt noch zuviel Ungleichheiten in seinem Querschnitt. Man hat ihn darum zu egalisieren versucht, und zwar durch einen sehr interessanten elektrischen Prozeß. Man füllt die fertigestellte Glühlampe vor der Evakuierung mit Kohlenwasserstoffen und schickt dann durch den Kohlenfaden elektrischen Strom. Infolge der Wärme zersetzen sich die Kohlenwasserstoffe, und es scheidet sich der Kohlenstoff in außerordentlich

feiner Gestalt ab; er füllt die Poren und Unebenheiten des Fadens vollständig aus, und zwar dort am dichtesten, wo die Temperatur am größten, der Querschnitt also am kleinsten ist. Daher wird der Faden vollkommen gleichmäßig. Es



Fig. 40.

Spannung beträgt jetzt etwa 60 Volt, der Strom, der hindurchgeht, etwa $3\frac{1}{2}$ Ampere. — Nun wollen wir die Spannung steigern. (Fig. 40.) Sie werden sehen, das wir dadurch die Temperatur des Fadens erhöhen, die Wärmeproduktion steigt, und die Lichtemission wird eine intensivere. Wir wollen dies

dürften heute kaum noch Glühlampen hergestellt werden ohne dieses Verfahren.

Trotzdem ist die Lebensdauer einer Glühlampe eine beschränkte. Wir dürfen dieselbe nicht mit einer zu starken Spannung beanspruchen, d. h. den Faden nicht auf eine zu hohe Temperatur bringen.

Ich habe hier eine Glühlampe, welche mit steigender Spannung beansprucht werden soll. Wir wollen sie zunächst zum normalen Glühen bringen. — Die

weiter treiben. Jetzt ist die Spannung gestiegen auf etwa 85 Volt. Die Lichtemission nimmt ununterbrochen noch zu bis zu einer fast unerträglichen Helligkeit. Sie sehen aber, die Lebensdauer der Lampe hat darunter gelitten, denn jetzt zerbricht der Faden.

Also wir sind in der Beanspruchung unserer Glühlampen durchaus nicht unabhängig von den Eigenschaften des Fadens. Wenn wir unseren Lampen eine Lebensdauer von 800 bis 1000 Brennstunden erteilen wollen, dürfen wir eine Kohlen-*glühlampe* von 16 Normkerzen nicht höher beanspruchen als mit 0,5 Ampere bei einer Spannung von 100 Volt. Die Gesamtenergie, in elektrischen Einheiten gemessen, wird dann in dem leuchtenden Faden 50 Watt. Soll also eine ausreichende Lebensdauer der Lampe gewährleistet sein, so dürfen wir sie nur beanspruchen mit 50 Watt, das macht für die Normkerze rund 3 Watt.

Will man die elektrische Glühlichtbeleuchtung ökonomischer gestalten, so muß man die Temperatur des leuchtenden Fadens steigern. Wie kann man das machen? Die Kohle hält nur eine gewisse Temperatur aus — wenig über 1300° — da verflüchtigt sie sich schon und schlägt sich in Form eines dichten Kohlenspiegels auf dem Glase nieder, sie schwärzt die Lampe, und die Leuchtkraft geht manchmal herunter bis auf 30 pCt. Solche Lampen sieht man häufig, man ersetzt sie nicht gleich durch andere, weil die Lampe heute immer noch 50—60 Pf. kostet.

Will man also höhere Lichtintensitäten erzeugen, bei geringerem Energieverbrauch, dann muß man die Temperatur des Fadens steigern. Da die Kohle dies nicht erlaubt, muß man zu anderen Stoffen übergehen. Nun ist in neuerer Zeit ein erheblicher Fortschritt dadurch erzielt worden, daß man

die Magnesia, die schon Fahnejhelm zur Lichterzeugung benutzte, auch für die Glühlampen verwandte.

Diesen Weg hat Prof. Nernst beschritten. Er hat an Stelle der Kohlenfäden Stäbchen aus Magnesia genommen und in den Stromkreis eingeschaltet. Die Magnesia aber ist ein



Fig. 41.

Körper, welcher bei gewöhnlicher Temperatur so gut wie gar nicht leitet; er wird erst zu einem Leiter bei höherer Temperatur. Bei seinen Lampen ist es daher nötig, den Magnesiastift durch eine künstliche Wärmequelle zunächst auf höhere Temperatur zu bringen. Dies geschieht durch einen Metalldraht, der um den Magnesiastift geschlungen, zunächst durch den elektrischen Strom erwärmt wird, dadurch wird der Magnesiastift auf die erforderliche Temperatur gebracht.

An dieser Lampe können wir nun Messungen vornehmen. (Fig. 41.) Sie brennt mit 120 Volt und verbraucht 0,4 Ampere, das sind also rund 50 Watt. Sie gibt dabei ein Licht von 25 Normalkerzen, verbraucht somit pro Normalkerze 2 Watt, die Lichtausbeute ist also wesentlich größer, als bei der Kohlenglühlampe.

Man ist bei der Herstellung von Lampen mit höherer Ökonomie nicht beschränkt auf Magnesia, man kann auch andere Körper nehmen, die sonst Nichtleiter sind, wenn es nur gelingt, sie durch Temperaturerhöhung zu Leitern zu machen. In den sogenannten Metall-

fadenlampen verwendet man neuerdings Fäden aus schwer schmelzbaren Metallen wie Osmium, Tantal, Wolfram und andere. (Fig. 42.)

Nach Ansicht der Sachverständigen sind die Tage der Kohlenglühlampe gezählt. —

Bei dem elektrischen Bogenlicht findet die Erzeugung des Lichts in anderer Weise statt.

Denken wir uns den elektrischen Strom durch einen Kohlenfaden hindurchgeführt und diesen plötzlich gebrochen. Im ersten Augenblick noch herrscht an der Bruchstelle eine so hohe Temperatur, daß die Kohle verbrennt. Es treten Gase auf, die bei hoher Temperatur leitend sind, und der Strom kann von dem einen Kohlenstückchen hinübergehen zu dem anderen. Es bildet sich das Phänomen des elektrischen Lichtbogens.

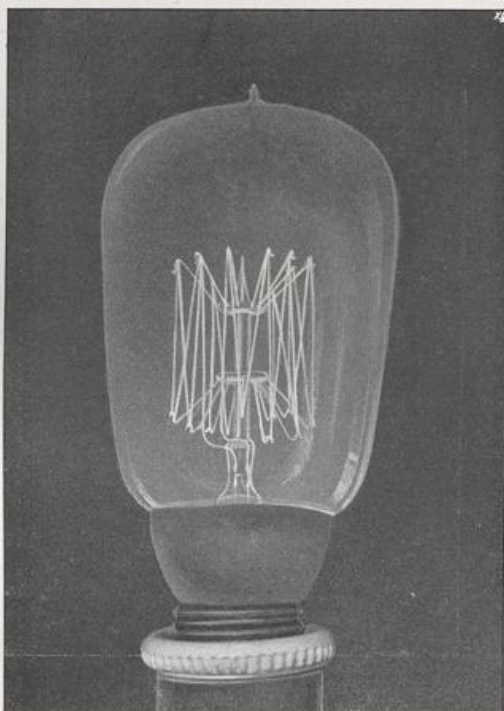


Fig. 42.

Davy war der Erste — 1804 — der einen solchen Lichtbogen mit einer größeren Voltabatterie erzeugte. Er nannte die Erscheinung einen Lichtbogen. (Fig. 43.) Warum? Bei dem ersten Versuch benutzte Davy horizontale Kohlenstäbe, die Flamme krümmte sich im Luftzug nach oben, und es bildete sich ein sichelförmiger Bogen. Bei der heutigen ver-

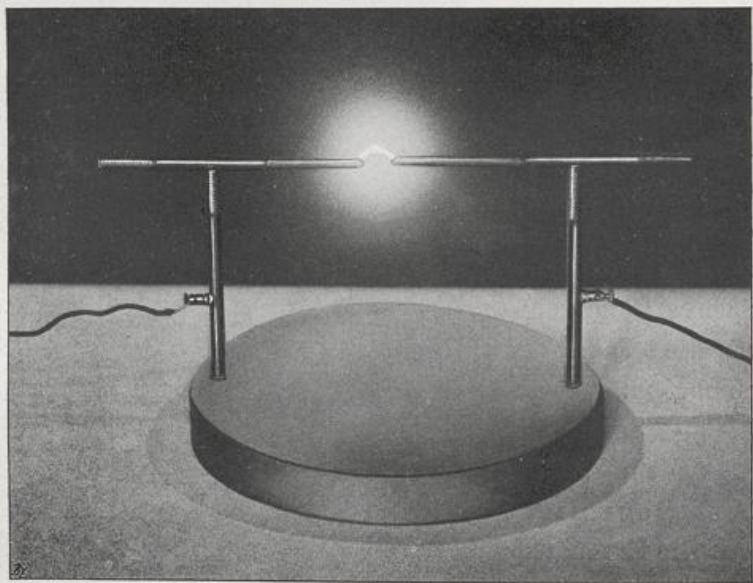


Fig. 43.

tikalen Anordnung der Kohlenstäbe kann das gar nicht eintreten. Der Name ist aber geblieben.

Wir wollen uns jetzt einen solchen Bogen auf die Leinwand projizieren. (Fig. 44.) Der Strom tritt über von der oberen Kohle, der positiven, zur unteren negativen. Wir sehen, daß dabei die obere Kohle eine andere Form annimmt, als die untere. Sie höhlt sich aus und bildet einen Krater, während die negative Kohle eine geringe Zuspitzung

erfährt, Der für die Lichtemission hauptsächlich in Betracht kommende Teil ist der Krater, bezw. dessen Ränder und die oberste Spitze der unteren Kohle. In diesem Kohlenbogen herrscht eine außerordentlich hohe Temperatur. Man hat Temperaturen bis 3500° gemessen, und alle unsere Metalle, Platin sogar, schmelzen darin mit größter Leichtigkeit. Das ist ein Platindraht, den ich hineinhalte; Sie sehen, er schmilzt wie Butter an der Sonne.

Davy benutzte Holzkohle, jetzt stellt man die Kohlen auf künstlichem Wege dar. Um das Licht möglichst zu zentralisieren, hat man die obere Kohle mit einem weichen Kern versehen, das sind die sogenannten Dochtkohlen. Die untere Kohle ist dagegen vollständig homogen.

Es ist möglich, solche Lichtbögen auch mit anderen Materialien zu erzeugen, wir sind nicht an die Kohle gebunden. Diese Lampe zeigt die Erzeugung eines Lichts mit Eisenstäben. Das Licht hat eine bläuliche Färbung. Statt des Eisens können wir auch Silberstifte verwenden. Sie nehmen ein schönes, grünlich gefärbtes Licht wahr.

Die Kohlen brennen ab, und wenn die Lampe nicht zu große Dimensionen annehmen soll, müssen die Kohlen nach



Fig. 44.

6 bis 8 Stunden erneuert werden. Für viele Zwecke ist dies sehr hinderlich, z. B. bei Flußbeleuchtungen, oder wenn die Lampen sehr hoch hängen.

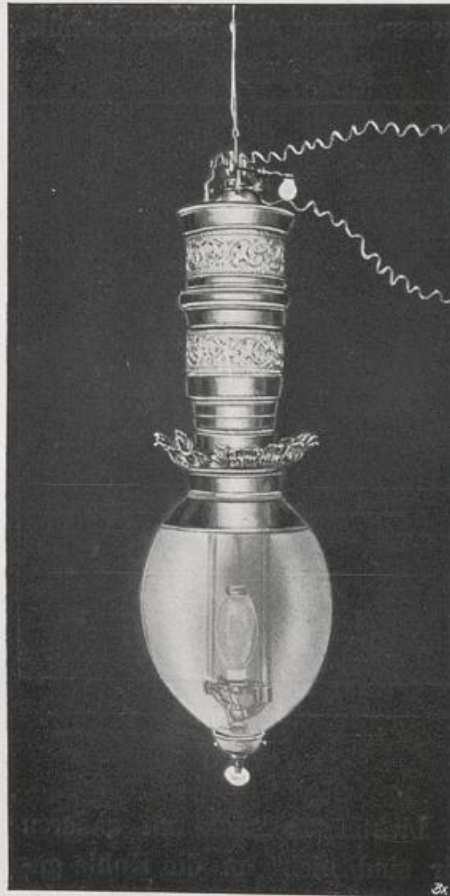


Fig. 45.

Man verfertigt daher in neuerer Zeit Lampen mit längerer Brenndauer. (Fig. 45.) Eine solche von Jandus zuerst in den Handel gebrachte Konstruktion sehen Sie hier. Bei dem gewöhnlichen Kohlenlicht wird ein Teil der Kohle durch den elektrischen Prozeß verflüchtigt, ein anderer Teil derselben verbrennt, da der Sauerstoff der Luft freien Zutritt hat. Bei dieser Lampe ist dem Sauerstoff der Luft der Zutritt behindert; die innere helle Glocke ist dicht abgeschlossen. Es läßt sich hier natürlich kein absolut hermetischer Abschluß erzielen, aber ein Abschluß, der doch hinreicht, um das unbehinderte Eintreten frischer Luft zu erschweren. Infolgedessen füllt sich der innere Raum dieser Glocke mit den Verbrennungsprodukten, zumeist Kohlen- säure und Kohlenoxyd. In dieser Atmosphäre findet nun aber

Man verfertigt daher in neuerer Zeit Lampen mit längerer Brenndauer. (Fig. 45.) Eine solche von Jandus zuerst in den Handel gebrachte Konstruktion sehen Sie hier. Bei dem gewöhnlichen Kohlenlicht wird ein Teil der Kohle durch den elektrischen Prozeß verflüchtigt, ein anderer Teil derselben verbrennt, da der Sauerstoff der Luft freien Zutritt hat. Bei dieser Lampe ist dem Sauerstoff der Luft der Zutritt behindert; die innere helle Glocke ist dicht abgeschlossen. Es läßt sich hier natürlich kein absolut hermetischer Abschluß erzielen, aber ein Abschluß, der doch hinreicht, um das unbehinderte Eintreten frischer

keine Verbrennung der Kohle weiter statt, sie verzehrt sich nur durch den elektrischen Prozeß, und infolgedessen können die Kohlen viel längere Zeit benutzt werden. Der Abbrand ist wesentlich geringer. Diese Lampe reicht für 100 Brennstunden. Allerdings erfordert die eigentümliche Anordnung eine höhere Spannung. Während dieselbe an der gewöhnlichen Bogenlampe nur 40 bis 50 Volt beträgt, verlangen diese Lampen 100 Volt, Sie brauchen allerdings auch geringeren Strom, so daß für die Ökonomie die Sache nicht wesentlich ungünstiger wird.

Die Bogenlampen haben den Glühlampen gegenüber einen empfindlichen Nachteil. Sie bedürfen einer Wartung wegen des Abbrandes der Kohlen. Man hat bei den Jandus-Lampen zwar versucht, die Brenndauer zu verlängern, schließlich muß aber eine Auswechslung doch stattfinden. Dazu kommt der Nachschub der Kohlen während des Brennens, und zwar verzehrt sich die positive doppelt so schnell, wie die negative. Dieser Nachschub geschieht entweder nur einseitig, indem man eine Kohle verstellt, oder es werden beide Kohlen reguliert. Das sind die Lampen mit fixem Brennpunkt. Wenn es sich um einzelne große Lichter handelt, wie bei den Scheinwerfern, dann pflegt man die Regulierung mit der Hand auszuführen. Bei den gewöhnlichen Lampen aber überträgt man den Nachschub der Kohlen einem automatisch wirkenden Regulierungsmechanismus.

Wenden wir uns einer Betrachtung der Lichtverteilung der Bogenlampen zu. Man macht die obere positive Kohle wegen des schnelleren Abbrandes gewöhnlich etwas stärker und versieht sie mit einem sogenannten Docht aus weicherer Kohle, damit der Stromübergang zwischen den beiden Kohlen tunlichst zentralisiert wird. Tut man dies nicht, so erhält man einen Lichtbogen, der leicht am äußeren Rande der

Kohlen im Kreise herumwandert und bewirkt, daß die Lampe nach verschiedenen Richtungen verschieden starkes Licht aussendet. Die hauptsächlich an der Lichtemission beteiligten Elemente sind in erster Linie der Krater der positiven Kohle und zweitens die Spitze der negativen Kohle. Daraus folgt, daß das Licht, welches eine solche Bogenlampe nach verschiedenen Richtungen aussendet, ungleich sein muß. Wenn wir durch photometrische Versuche die Lichtintensität in der Horizontalen bestimmen, so erhalten wir eine Lichtstärke, welche durch eine verhältnismäßig kleine Strecke OH in Fig. 46 wiedergegeben ist. Wenn wir die Leuchtkraft nun unter verschiedenen Winkeln gegen die Horizontale bestimmen, so erhalten wir größere Lichtstärken, welche bei 40° etwa das Maximum erreichen. Für größere Winkel fällt die Lichtstärke wieder. Bei einem Bogenlicht von 10 Ampere beträgt die maximale Lichtintensität gemessen unter dem günstigsten Winkel etwa 1000 bis 1200 Normalkerzen, bei einem Bogenlicht mit 15 Ampere steigert sich diese Leuchtkraft bis auf 2000 Normalkerzen. Für eine Bodenbeleuchtung ist dieser Umstand günstig.

Will man eine indirekte Beleuchtung ausführen, wie z. B. in diesem Saal, so kehrt man die beiden Kohlen um und wirft den gesamten Lichtschein gegen eine weiße Decke. Von dieser wird dann ein sehr schönes gleichmäßiges diffuses Licht ausgesandt, welches das Tageslicht zu ersetzen geeignet ist. Natürlich kostet eine solche Beleuchtung viel mehr Kraft als die direkte. Wollten wir diesen Saal mit direkter Beleuchtung erhellen, so würden zwei von diesen sechs Bogenlampen vollkommen ausreichen.

Wie soll man nun die Lichtstärke einer Bogenlampe angeben? Die horizontale Lichtintensität, die Leuchtkraft gemessen unter dem günstigsten Winkel, oder eine mittlere? —

das letztere geschieht am häufigsten. Man verwandelt die eiförmige Fläche (Fig. 46) in einen Halbkreis und nennt den Radius die mittlere hemisphärische Intensität. Früher verwandelte man die Fläche in einen Kreis. Da Bogenlampen fast ausschließlich für eine einseitige Lichtwirkung gebraucht werden, so hat die Angabe der sphärischen Leuchtkraft eigentlich keinen Sinn. Es ist darum richtiger, daß man dazu übergegangen ist, die hemisphärische als die eigentliche Leuchtkraft der Lampe zu bezeichnen.

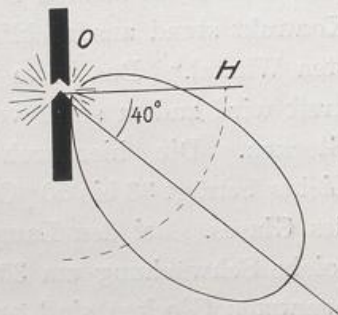


Fig. 46.

Der Käufer einer Bogenlampe muß natürlich wissen, welche Leuchtkraft gemeint ist. Das kann unter Umständen zu recht ärgerlichen Differenzen führen. Hier in Berlin wurde eine solche Angelegenheit einmal zu einer cause célèbre. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft machte der Stadt Berlin den Antrag, die Linden elektrisch zu beleuchten. Die Stadt ging darauf ein. In dem Kontrakt war ausdrücklich angegeben, es sollten Lampen von 2000 Normalkerzen Helligkeit Verwendung finden, und die Stadt zahlte dafür ein bestimmtes Pauschquantum. Mit der Einführung der elektrischen Beleuchtung waren damals die Gasinteressenten sehr unzufrieden; sie fürchteten die Konkurrenz des elektrischen Lichts und versuchten, Widerstand zu leisten. Sie konnten den Fortschritt zwar nicht aufhalten, machten sich aber das Vergnügen, als die Lindenlampen nun hingen, Nachts, wo sie ungestört waren, zum Teil aus den Fenstern der Häuser photometrische Messungen anzustellen. Die Resultate wurden veröffentlicht und besagten, daß die Lindenlampen mit einer

mittleren Intensität von etwa 500 Normalkerzen brannten. Darüber allgemeines Schütteln des Kopfes bei den Vätern der Stadt. In dem Kontrakt waren 2000 Normalkerzen garantiert! — Sachverständige wurden herbeigerufen. Die Messungen zeigten, daß die Lampen ohne Glocke unter dem günstigsten Winkel tatsächlich 2000 Normalkerzen lieferten, und im Kontrakt stand ausdrücklich: „Gemessen unter dem günstigsten Winkel.“ Das hatte man nicht verstanden. Die Leuchtkraft wird zudem stark verringert durch die Umhüllung mit Glocken. Die hierdurch hervorgerufene Schwächung des Lichts beträgt 30 bis 50 pCt., je nach der Stärke und Färbung des Glases. Bei den Lampen unter den Linden findet eine solche Schwächung um 30 pCt. durch die Glocken statt. Die benutzten Glocken sind aus Milchglas, die Leuchtkraft wird dadurch auf eine größere Kugel verteilt und nach allen Seiten, auch nach oben ausgesandt. Das ist für die Straßenbeleuchtung durchaus unerwünscht, denn man will die Straßen beleuchten und nicht den Himmel. Durch Anbringung von Reflektoren hat man sich zu helfen gesucht. Diese sind aber nur wirksam, solange sie Reflexwirkungen ermöglichen; es müssen weiße, glatte Flächen sein. Die Reflektoren unter den Linden sind jetzt nichts weniger als weiß, und der Effekt dürfte nahezu Null sein.

Noch ein paar Worte über die Farbe des Lichtes. Aus unseren früheren Betrachtungen wissen wir, daß, je höher die Temperatur einer Leuchtquelle steigt, desto reicher das Licht wird an grüner und blauer Strahlung. Nun ist die Temperatur in dem Lichtbogen eine sehr hohe im Verhältnis zur Temperatur der Glühlampe. Während bei der letzteren nur Temperaturen von etwa 1300° in dem leuchtenden Kohlenfaden auftreten, haben wir in dem Lichtbogen Temperaturen über 3000° . Daraus folgt, daß das Bogenlicht einen viel

größeren Reichtum an blauen Strahlen besitzt. Der Erfolg ist der, daß Gegenstände, welche wir bei Glühlichtbeleuchtung in rötlichem Lichte zu sehen gewohnt waren, bei Bogenlicht einen Stich ins Bläuliche erhalten. Das wirkt für das Auge unschön. Für Festbeleuchtungen, für Tanzsäle und dergleichen ist deshalb das Bogenlicht nicht zu empfehlen, da wir die Gesichter der Damen in rosigem Licht sehen wollen: sie bekommen durch das Bogenlicht einen fahlen Schein. In vielen Fällen muß man aber trotzdem, um die erforderliche Leuchtkraft zu erreichen, zum Bogenlicht seine Zuflucht nehmen.

Ein solcher Fall lag z. B. vor bei dem Umbau des Weißen Saales im Schloße. Se. Majestät der Kaiser wünschte von der früheren Beleuchtungsart mit den vielen tiefhängenden Kronleuchtern Abstand zu nehmen, weil sie eine außerordentliche Wärme verbreiteten und den freien Ausblick vom Thron behinderten. Die Architekten erhielten die Aufgabe, die Leuchtkörper höher an die Decke zu bringen und ampelartig zu gestalten. Dabei stellte sich heraus, daß wegen der großen Höhe eine enorme Zahl von Glühlampen verwendet werden mußte und daß die Hitze für die Decke verhängnisvoll werden konnte. Hieran schien die Lösung zu scheitern. Da wurde der Vorschlag gemacht, ein aus Bogenlicht und Glühlampen gemischtes Licht zu verwenden. Man umgab die Bogenlampen mit einem halbkugeligen Panzer von Glühlampen. Das gab keinen zufriedenstellenden Eindruck: es bildeten sich scharfmarkierte Schatten, und man konnte jeden einzelnen Strahl des Bogenlichtes neben den rötlichen Strahlen des Glühlichtes erkennen. Die Mischung des Lichtes wurde erst erreicht, als man den ganzen Beleuchtungskörper in einen doppelten Krystallkorb schloß, der aus lauter kleinen tetraedrischen Krystallen zusammengesetzt war. Das erzielte Licht war außerordentlich reizvoll; es vereinte den

warmen goldigen Schimmer des Glühlichts mit dem Glanz des Bogenlichts.

Der elektrische Lichtbogen hat aber noch eine andere Eigenschaft, welche für die Technik von Wert ist. Das ist die hohe Temperatur. Die höchsten Temperaturen, welche man in Öfen erzielen kann, betragen wenig über 2000°C ., in dem Lichtbogen hat man Temperaturen bis 3500°C . gemessen.

Ganz neue Wirkungen haben sich gezeigt, als die Chemiker von dieser hohen Temperatur Gebrauch machten. Es spielen sich dabei chemische Prozesse ab, die bei niedrigen Temperaturen überhaupt nicht möglich sind, und man hat eine ganze Reihe von neuen Verbindungen hergestellt. Einige dieser Verbindungen haben bereits wichtige technische Bedeutung erlangt, und die unausgesetzten Forschungen der Chemiker versprechen eine weitere reiche Ausbeute. Die Reihe dieser Arbeiten begann mit einer Untersuchung, die eine praktische Bedeutung zwar nicht gewonnen hat, die aber doch interessant ist. Es war die künstliche Herstellung von Diamanten.

Man hat Diamanten häufig darzustellen versucht: die bekannten Verfahren sind aber außerordentlich schwierig und haben nur geringe Resultate ergeben. Ein französischer Forscher namens Moissan wurde hauptsächlich von dem Bestreben geleitet, für die Zwecke der Technik einen Stoff zu finden, welcher größere Härte besitzt als der Korund, d. i. krystallisierte Tonerde, aus welcher die Schmirgelscheiben bestehen.

Moissan suchte auf chemischem Wege Diamantpulver zu erzeugen — nicht große Diamanten, welche als Schmucksteine dienen könnten —, und sah bald, daß die bekannten

Verfahren nicht zum Ziele führten. Zu jener Zeit wurden die Kimberley-Minen in Afrika entdeckt; er ließ sich Proben von den Mineralien senden, in denen diese Diamanten gefunden wurden, den sogenannten blue ground. Er fand Eisen darin. Weitere Untersuchungen zeigten, daß überall, wo Diamanten gefunden wurden, auch Eisen vorhanden war. In dem großen Meteor, welches zu Cañon Diablo gefunden war, hatte man gleichfalls in Eisen gebettet kleine Diamantensplitter gefunden. Hierauf gründete Moissan eine neue Hypothese bezüglich der Entstehung der Diamanten. Es ist bekannt, daß das Eisen ein außerordentlich gutes Lösungsmittel für Kohlenstoff ist, und zwar steigt die Aufnahmefähigkeit des geschmolzenen Eisens für denselben in ganz außerordentlichem Maße mit der Temperatur. Das gewöhnliche Roheisen, das aus dem Hochofen fließt, ist gesättigt mit Kohlenstoff; er befindet sich vollkommen in Lösung, sowie aber das Eisen erstarrt, schießen die Kohlenstoffpartikelchen heraus — weil bei niedriger Temperatur die Aufnahmefähigkeit eine viel geringere ist —, leider aber nicht in der ersehnten Form des krystallisierten Kohlenstoffes, sondern in der amorphen Form des Graphits. Das Spiegeleisen zeigt beim Erkalten zahlreiche Partikelchen von Graphit. Der Diamant ist ein Krystallisationsprodukt des Kohlenstoffes.

Moissan folgerte nun, daß die Diamanten in dem Meteor-eisen durch Krystallisation unter hohem Druck entstanden seien. Das Meteor ist, als glühende Eisenmasse mit Kohlenstoff gesättigt, von einem Planeten losgelöst, in den kalten Weltenraum geschleudert. Dabei hat eine plötzliche Abkühlung stattgefunden, die äußere Kruste verhärtete sich, und da das Eisen bei der Abkühlung sich ausdehnt, entstand in dem gepanzerten Körper ein enormer Druck: unter diesem krystallisierte der Kohlenstoff.

Er hat diesen Prozeß künstlich nachzuahmen versucht, indem er in dem elektrischen Lichtbogen Eisen in Gegenwart von Kohlenstoff schmolz und dieses mit Kohlenstoff gesättigte Eisen tunlichst schnell abkühlte. Er bildete Tropfen, die er abfallen ließ, und zwar zuerst in Wasser, später auf Quecksilber oder Eisen. Dadurch wollte er eine schnelle Oberflächenkühlung herbeiführen, so daß die äußere Haut erstarrte, während der innere Kern eine Zeit lang noch flüßig blieb. Als er diese Tropfen untersuchte, konnte er darin tatsächlich Diamanten nachweisen.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, daß in jedem harten Eisen Diamanten vorhanden sind. In den Panzerplatten der Kriegsschiffe sind Milliarden von Diamanten, es ist sogar anzunehmen, daß die Härte des Stahles überhaupt nur von diesen Diamantensplittern herrührt.

Andere im elektrischen Lichtbogen ausgeführte Prozesse haben grössere praktische Bedeutung erlangt. Als die Moissan'schen Versuche bekannt wurden, beschäftigten sich zahlreiche Leute damit, besonders in Amerika: man wollte große Diamanten erzeugen. Als die Versuche fehlschlagen, kam man auf den Gedanken, wenn auch nicht Diamanten selber, so doch wenigstens einen Stoff zu erzeugen, der dem Diamanten an Härte möglichst nahe kam. Nächst dem Diamant ist Korund der härteste Stoff, die krystallisierte Tonerde. Diese läßt sich im Lichtbogen schmelzen. Der Amerikaner Acheson suchte Tonerde mit dem Kohlenstoff zu verbinden. Er bekam einen Stoff, der bei der Untersuchung kleine Krystalle von außerordentlicher Härte zeigte. Man glaubte, eine neue Verbindung von Tonerde und Kohlenstoff gefunden zu haben. Die nähere Untersuchung zeigte, daß es eine Verbindung von Silicium mit Kohle war. Die geringe Beimengung von Quarz, die sich in der ver

wendeten Tonerde befunden hatte, war eine Verbindung mit dem Kohlenstoff eingegangen. Es war ein Körper entstanden, den man bis dahin gar nicht gekannt hatte, Silicium-Carbid. Da dieser nun eine Härte zeigte, welche der des Diamanten ziemlich nahe kam und größer war als die des Korund, war ein wertvolles Resultat erreicht, und heute arbeitet man am Niagarafall mit Tausenden von Pferdekräften an der Fabrication dieses Stoffes. Es wird durch den elektrischen Lichtbogen Quarzsand, d. i. Kieselsäure, vereinigt mit Kohle, dann bildet sich der neue Stoff, dem Acheson den Namen Karborund gegeben hat. Das Karborund bietet dem Schmirgel gegenüber einen nicht zu unterschätzenden Vorteil. Die Schmirgelscheiben werden hergestellt, indem man Korund mit Harzen vermischt und zu Scheiben preßt. Diese Stoffe vertragen aber keine hohe Temperatur; das ist ein empfindlicher Übelstand aller Schmirgelscheiben. Viel höhere Temperatur verträgt das Karborund. Acheson vermischt es mit Kaolin und brennt die daraus geformten Scheiben, sie sind von großer Festigkeit.

Bald darauf trat eine zweite Errungenschaft hinzu. Der Chemiker eines großen Aluminiumwerkes in Amerika, Namens Willson, beschäftigte sich ebenfalls damit, Diamanten darzustellen und verwendete die großen Öfen der Aluminiumfabrik dazu. Eines Tages schmolz er Kalk mit Kohle zusammen. Als die Schmelzung beendet war und das fertige Produkt aus dem Tiegel gegossen wurde, sah er, daß es zu einer unansehnlichen Masse von koksartigem Aussehen erstarrte. Er war sehr enttäuscht und gab seinen Arbeitern den Auftrag, die Masse auf den Hof zu schütten. Sie luden den Stoff in eine eiserne Schubkarre, und warfen den Inhalt, da es geregnet hatte, in eine Pfütze. Ein kolossaler Qualm stieg auf und wälzte sich über das Fabrikgrundstück; als er über

einen Cupolofen strich, aus welchem Flammen herausschlügen, erfolgte eine außerordentlich heftige Explosion, so daß auf 2 Meilen in der Runde keine Fensterscheibe ganz blieb. Da sagte sich Willson: Ein Stoff, der solche Wirkung hervorruft, ist ebenso wertvoll wie Diamant und machte sich von Neuem an die Herstellung. Die chemische Untersuchung zeigte, daß ein Stoff gebildet war, den vor mehr als 40 Jahren schon Wöhler gefunden hatte, allerdings auf einem komplizierten chemischen Wege, eine Verbindung von Calcium — dem Metall des Kalkes — mit Kohlenstoff, das Calciumcarbid. Dieser Stoff, der in größeren Mengen nur herzustellen ist unter der Einwirkung der hohen Temperatur des Lichtbogens — sonst vereinigen sich Kohlenstoff und Calcium überhaupt nicht — hat die weitere merkwürdige Eigenschaft, daß, wenn man ihn mit Wasser zusammenbringt, ein Gas entsteht, das Acetylen, eine Verbindung von Kohlenstoff mit Wasserstoff, welches eine hohe Heizkraft und eine außerordentlich hohe Leuchtkraft bei der Verbrennung besitzt. Das Acetylen ist schnell in die Technik übergegangen, es sind heute schon in der Acetylenindustrie viele Millionen Kapital engagiert und über 100 000 Pferdestärken, hauptsächlich in Wasserkraften, sind beschäftigt, Calciumcarbid herzustellen. Der Preis ist in letzter Zeit sehr hoch gestiegen, weil die vorhandenen Fabriken der Nachfrage nicht genügen können.

Wir wollen nun diesen Prozeß hier praktisch vorführen. In dem elektrischen Lichtbogen wollen wir Kalk mit Kohlenstoff vereinigen, und aus dem gewonnenen Calciumcarbid wollen wir Acetylen erzeugen. (Fig. 47.)

Wir haben in diesem elektrischen Ofen einen Graphitiegel, angefüllt mit einem Gemisch von pulverisiertem Kalk und von Kohle; zwei Kohlenstäbe, die den elektrischen Strom zuführen, tauchen wir in das Gemisch. Es bildet sich

zwischen den beiden Kohlen der Lichtbogen aus, und unter der hohen Temperatur desselben findet die Vereinigung statt. Wir setzen eine Glimmerplatte davor, um die Augen zu

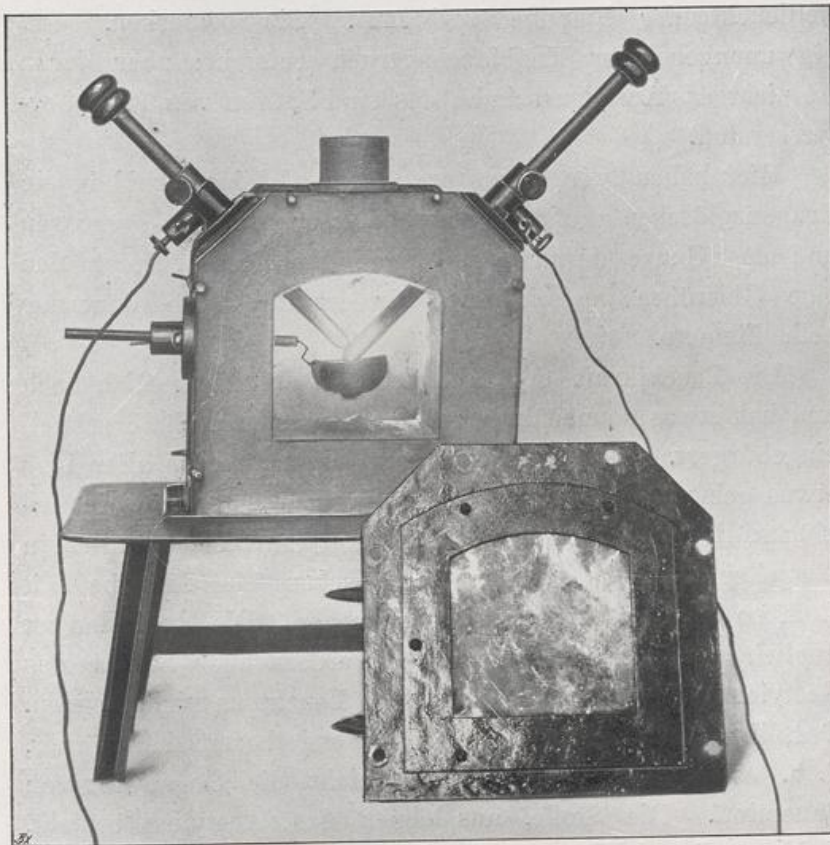


Fig. 47.

schützen. Die Dämpfe, die entstehen, sind Kalkdämpfe; wenn man sie einatmet, empfindet man einen lebhaften Hustenreiz; die Gegenstände im Zimmer überziehen sich mit einem feinen Kalkstaub.

Jetzt mag es genug sein, wir wollen das Carbid nachweisen, indem wir die Masse aus dem Tiegel schütten und mit Wasser übergießen. Es entwickelt sich lebhaft ein Gas, das ich mit dem Streichholz anzünden kann und das mit helleuchtender Flamme verbrennt. Sie bemerken, daß ein unangenehmer Knoblauchgeruch entsteht; aber daran ist nicht das Acetylen schuld, das sind Spuren von Phosphorwasserstoff.

Hier haben wir etwas von dem Calciumcarbid in ein Reagenzglaschen getan, haben Wasser darüber gegossen und das Ganze durch einen Kork verschlossen, durch den eine Glasröhre gesteckt ist, wir erhalten eine dauernde helle Flamme.

Die Leuchtkraft des Acetylen ist außerordentlich hoch und hat etwas sonnenähnliches, es hat sich deshalb schnell eingebürgert. Die industrielle Entwicklung wurde allerdings etwas gehemmt, als vor einigen Jahren einige schwere Unglücksfälle sich ereigneten. Das Acetylen bietet nämlich in doppelter Hinsicht Gefahr. Vermischen Sie dasselbe mit Luft, so entsteht ein explosives Gemenge. Die Explosion ist ähnlich wie beim Leuchtgas. Außerdem aber besitzt das Acetylen eine Gefahr, die wir beim Leuchtgas nicht kennen. Dasselbe ist nämlich ein sogenannter endothermischer Körper, d. h. es braucht zur Explosion nicht die Gegenwart von Sauerstoff. Die Stoffe, aus denen das Acetylen besteht, Kohlenstoff und Wasserstoff, nehmen in dem Acetylen in verdichtetem Zustande einen minimalen Raum ein, der sich ver-tausendfacht, sobald der Wasserstoff in die gasförmige Form übergehen kann. Wenn nun ein solcher Körper in seine Bestandteile zerfällt, so entsteht eine gewaltige und plötzliche Volumenveränderung, so daß das Ganze den Charakter einer Explosion annimmt. Aber glücklicherweise findet dieser

Zerfall nur statt, wenn das Acetylen komprimiert ist, und zwar verlangt es eine Kompression von mindestens zwei Atmosphären. Am gefährlichsten ist es, wenn man das Acetylen verflüssigt, dann haben die Explosionen direkt verheerende Wirkungen.

Die ersten Studien über die Gefährlichkeit des Acetylens verdanken wir Berthelot, dem berühmten französischen Chemiker. Er füllte große Bomben mit komprimiertem Acetylen und ließ sie 4 m herunterfallen; es traten furchtbare Explosionen auf. Fast schien es, als würde diese Gefahr das Acetylen vollständig von der praktischen Verwendung ausschließen. Weitere Versuche haben indes gezeigt, daß, wenn das Acetylen nicht komprimiert ist, die Gefahr der endothermischen Zersetzung nicht vorhanden ist.

Die Frage, ob man das Acetylen nicht zur Verbesserung der Beleuchtung in unseren Eisenbahnwagen verwerten kann, hat den Eisenbahnminister veranlaßt, besondere Studien ausführen zu lassen. Im Sommer 1897 haben in der Fabrik von Pintsch in Fürstenwalde interessante Versuche stattgefunden, an denen ich teilnahm; diese haben zur Evidenz bewiesen, daß Mischungen aus $\frac{2}{3}$ Fettgas und $\frac{1}{3}$ Acetylen nicht durch Zufall zur Explosion gebracht werden können, sondern nur, wenn sie mit Luft gemischt sind. Sie bieten somit keine größere Gefahr als das bisher verwendete Fettgas. Auf Grund dieser Versuche ist unsere Eisenbahnverwaltung dazu übergegangen, die sämtlichen Eisenbahnwagen mit diesem Gemisch zu beleuchten.

Es ist noch garnicht abzusehen, welche Stoffe der elektrische Ofen uns noch liefern wird. Die Elektrochemiker sind an der Arbeit, und die Fachjournale sind gefüllt mit Berichten über eigentümliche Verbindungen, die dadurch möglich geworden sind.

Aber auch nach anderer Richtung hin ist die hohe Temperatur des Lichtbogens technisch verwertet worden, nämlich zum Schweißen und Löten der Metalle. Der Erste, der auf diesem Gebiete praktische Vorschläge machte, war der Russe Benardos. Nach seinem Schweiß- und Schmelzverfahren (Fig. 48) wird der Metallkörper z. B. Eisen, mit

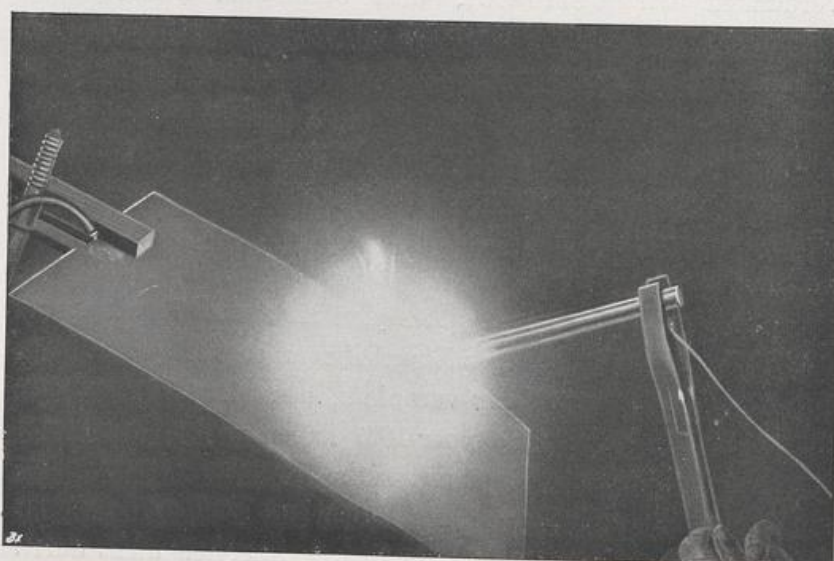


Fig. 48.

dem einen Pol der Batterie oder Maschine, der andere Pol mit einem dicken Kohlenstift verbunden. Man ersetzt also die eine Kohle durch das Metall, welches behandelt werden soll und bearbeitet gewissermaßen das Metall mit dem zweiten Kohlenstift. Macht man Berührung und zieht die Kohle wieder zurück, so bildet sich der Bogen, der vom Eisen zur Kohle übergeht, und in der hohen Temperatur schmilzt natürlich das Eisen wie Butter. Man hat es in der Hand, auf diese Weise Risse oder Löcher zuzudecken, Metallplatten

miteinander zu verbinden, Gußfehler zu beseitigen, gebrochene Stücke wieder zu reparieren usw. Man knüpfte anfangs große Erwartungen an dieses Verfahren; sie haben sich leider nicht erfüllt, aus dem einfachen Grunde, weil der zu bearbeitende Stoff, das Eisen, selber die hohe Temperatur annimmt. Dabei verbrennt es leicht und schweißt nicht. Die reparierten Stücke haben nicht gehalten, und das Benardos'sche Verfahren ist heute aus der Technik so gut wie verschwunden.

Ein anderer Erfinder, Namens Slavianoff, hat das Benardos'sche Verfahren verbessert. Er hat die Kohle durch Metall ersetzt. Will er z. B. irgend einen Riß im Eisen ausfüllen, dann verwendet er an Stelle des Kohlenstiftes einen Eisenstab und bringt Eisen zum Abschmelzen. Mit diesem geschmolzenen Eisen füllt er die verschiedenen Vertiefungen usw. aus. Es hat sich bei diesem Verfahren herausgestellt, daß eine gut haltbare Verbindung erreicht werden kann, wenn man das Arbeitsstück vorwärmt. In der Fabrik von Pintsch zu Fürstenwalde ist das Verfahren in Gebrauch. Ich habe eine Reihe von sehr schönen Stücken gesehen, bei denen tatsächlich durch diesen Prozeß Gußfehler beseitigt waren.

Noch einen Schritt weiter ging Zerener, welcher sich die Aufgabe stellte, die Temperatur in beliebiger Weise zu regulieren. Er führte das zu behandelnde Werkstück nicht direkt in den Lichtbogen ein, machte es also nicht zum Träger des Bogens, sondern bildete den Bogen besonders aus. Damit hat er es in der Hand, durch größere oder geringere Annäherung des Lichtbogens an das zu bearbeitende Metall jede beliebige Temperatur zu erzeugen.

Sie sehen hier an diesem Zerener'schen Lötapparat zwei Kohlen, die unter einem Winkel von 30° gegeneinander geneigt sind. (Fig. 49.) Durch einen kleinen Druck auf einen Hebel kann ich die beiden Kohlen zur Berührung

bringen, und es bildet sich zwischen ihnen der Lichtbogen. Er würde aber ohne weiteres direkt zwischen den Kohlen übergehen und die Lötstelle garnicht berühren. Um eine Stichflamme zu bilden, hat Zenerer ein interessantes Verfahren angewandt. Er hat magnetische Kraft benutzt, um den Lichtbogen abzulenken.

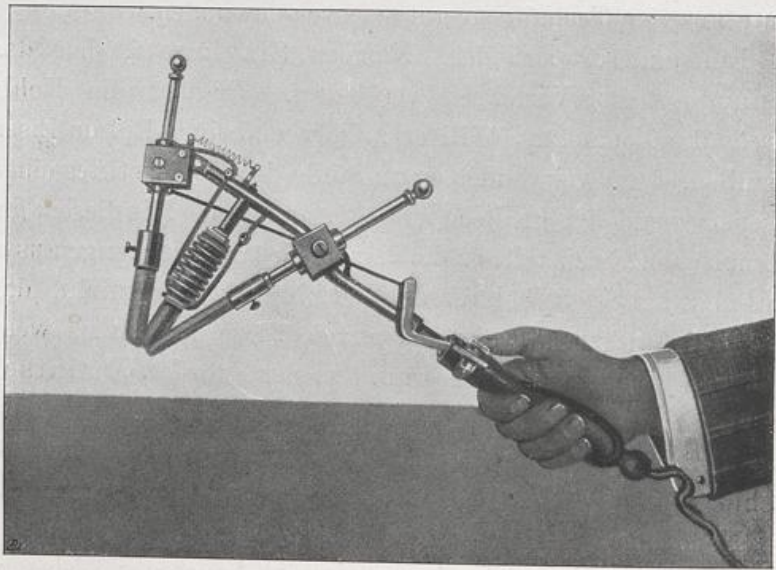


Fig. 49.

Ehe ich das Werkzeug in Tätigkeit setze, will ich durch einen Versuch den physikalischen Zusammenhang zeigen. (Fig. 50.) Ich werde hier durch eine Spule einen Eisenkern kräftig magnetisieren. Ein stromführender Leiter übt auf jeden Magneten eine ablenkende Kraft aus. Hier werden wir das Umgekehrte sehen: ein starker Magnetismus wird einen Leiter, welcher von Strom durchflossen ist, mit ansehnlicher Kraft zur Seite stoßen. Wir haben über dem Kern des

Elektromagneten einen Kupferdraht an zwei dünnen Metallfäden aufgehängt und werden durch diesen Leiter einen Strom führen, während wir zugleich den Elektromagneten erregen. Sie sehen, daß der Leiter eine Ablenkung erfährt und in der Schwebe gehalten wird.

Dies hat sich Zenerer zunutze gemacht.

Denselben Strom, der den Lichtbogen erzeugt, führt er in dicken Kupferwindungen um einen hufeisenförmig gestalteten Eisenkörper. Die Pole stehen unmittelbar vor

dem Lichtbogen. Der Lichtbogen selbst tritt an die Stelle des stromführenden Leiters. Er wird durch die magnetische Kraft abgelenkt, nach außen gestoßen, und es bildet sich eine

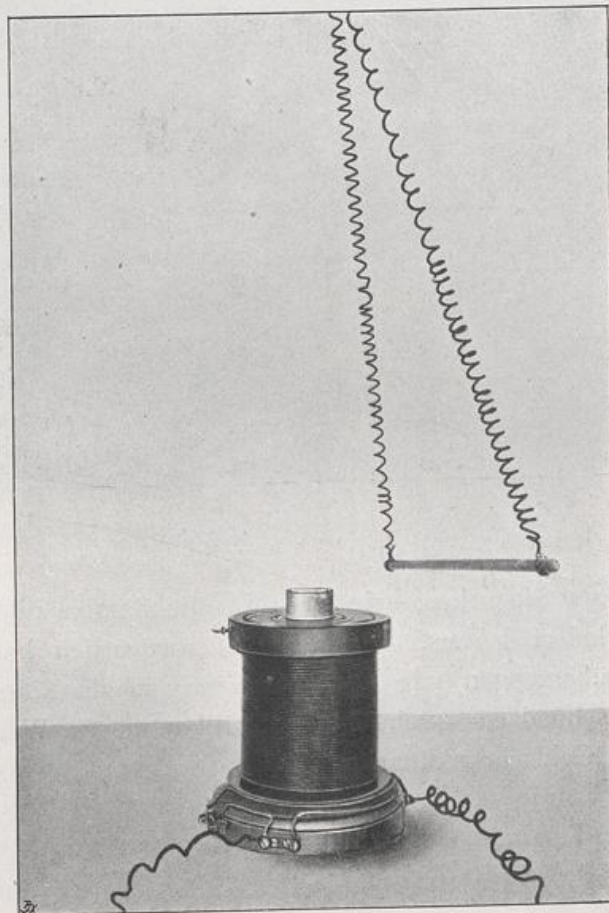


Fig. 50.

Stichflamme. Ich will zunächst das Phänomen selbst zeigen, dann wollen wir eine Arbeit damit ausführen. (Fig. 51.)

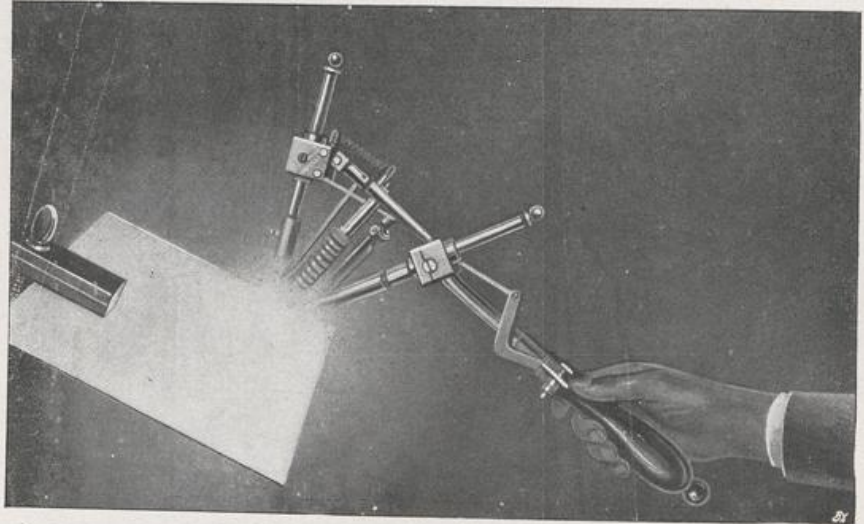


Fig. 51.

Sie sehen, wie sich die Stichflamme bildet. Der Bogen lodert heraus. Von der außerordentlich hohen Temperatur überzeugen wir uns, indem wir in ein Eisenblech ein Loch schmelzen — ein höchst willkommenes Werkzeug für alle „Geldschrankknacker“.

