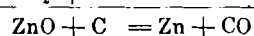
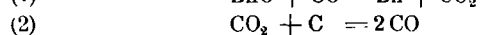
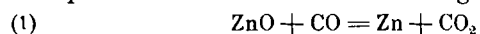


Aus alledem folgt, daß in diesen Versuchen von Lemarchands irgendwelche ganz grobe Fehlerquellen stecken, jedenfalls, daß sie in keiner Weise irgend etwas beitragen zu unserer Frage.

Ich bedaure, daß ich dieser Richtigstellung so viel Raum widmen mußte. Aber die Arbeit von Lemarchands ist natürlich bereits in die Sammel-literatur übergegangen, und bei der Bestimmtheit, mit der diese Behauptungen aufgestellt sind, ist es nicht jedermanns Sache, ihre Unsinnigkeit zu erkennen.

Eine Zusammenfassung des Vorstehenden ergibt folgendes:

Die Reduktion des Zinkerzes in der Muffel vollzieht sich praktisch ausschließlich nach folgenden Reaktionen:



Der Beweis liegt in der nachgewiesenen erheblichen Geschwindigkeit von 1, in der Tatsache, daß für 2 wie für den Gesamtprozeß die Geschwindigkeit mit der Kohlesorte (Holzkohle, Steinkohlenkoks) sich in gleicher Weise ändert, und in der Tatsache, daß auch vom Zinkoxyd räumlich getrennte Kohle reduzierend wirkt, mit einer bescheidenen Verzögerung, die den verlängerten Gaswegen zugeschrieben werden kann.

Die anderen in Betracht gezogenen Reaktionswege werden ablehnend diskutiert und zum Teil durch neue Versuche als nicht in Betracht kommend nachgewiesen.

Die sehr bestimmt ausgesprochene Behauptung von Lemarchands, daß ein gewisser Teil Kohle bei seinen Versuchen als C, ein anderer als CO reduziert habe, beruht auf Versuchen, die weder an sich richtig sein können, noch richtig gedeutet sind.

Die Arbeit wurde im elektrochemischen Institut der Technischen Hochschule Hannover von Ostern 1920 bis Winter 1922 ausgeführt.

Herrn Dr.-Ing. Windelband danke ich auch an dieser Stelle für seine verständnisvolle und ausdauernde Mitarbeit.

Berlin, Physikalisch-chemisches Institut der Universität. [A. 82.]

## Die Entwicklung der elektrischen Lichtquellen seit der Zeit der Nernstlampe.

Von Dr. FRANZ SKAUPY, Berlin.

1. Einleitung. Für den Wettbewerb der verschiedenen elektrischen Lichtquellen untereinander ist bis zum heutigen Tage im wesentlichen ein einfacher Gesichtspunkt maßgebend geblieben. Es erweist sich diejenige Lichtquelle als überlegen, die bei einer Nutzbrenndauer von mindestens mehreren hundert Stunden den geringsten Stromverbrauch, bezogen auf die Einheit der erzeugten Lichtmenge, oder wie man sagt, die günstigste Ökonomie (meist ausgedrückt in W/HK) aufweist. Ein zweites wesentliches Moment ist die Einfachheit des Zündvorganges der Lichtquelle. Andere Eigenschaften, wie die Lichtfarbe, die Verteilung des Lichtes nach den verschiedenen Richtungen des Raumes, die diffuse Verteilung und Blendungsfreiheit, haben im Wettkampf der Lichtquellen bisher eine relativ geringe Rolle gespielt, obwohl sie eine rasch zunehmende Beachtung finden. Die Nernstlampe konnte sich gegenüber der Kohlefadenlampe durch ihre wesentlich bessere Ökonomie (1,5 W/HK gegenüber 3,4 W/HK) durchsetzen und es gelang ihr dies trotz der umständlichen Zündung durch einen besonderen selbsttätig sich abschaltenden Heizkörper, der den Leuchtkörper der Lampe erst auf die für die Stromleitung

nötige Temperatur bringen mußte, und trotz des überdies noch nötigen Vorschaltwiderstandes. Vermutlich hätte die Nernstlampe, auch wenn ihr eine längere Entwicklungszeit und die damit Hand in Hand gehende Vereinfachung der Zündung und des Vorschaltwiderstandes vergönnt gewesen wäre, die Kohlefadenlampe doch nur teilweise verdrängen können, so schwerwiegend erwiesen sich die genannten Komplikationen gegenüber der Einfachheit einer Glühlampe mit metallisch leitendem Leuchtkörper. Es ist daher nicht verwunderlich, daß die Erfindung der Metallfadenlampe mit ihrer mindestens gleichen Lichtausbeute die Entwicklung der Nernstlampe sofort zum Stillstande brachte, übrigens ein Umstand, der die hohe Bedeutung der Nernstlampe für die Entwicklung der Lichttechnik nicht beeinträchtigen kann.

2. Die Osmium- und Tantal-lampe, beide mit einer Ökonomie von etwa 1,5 W/HK und einer Lebensdauer von mehr als tausend Stunden, tauchten ziemlich gleichzeitig am Horizonte der Lichttechnik auf, der endgültigen Siegerin, der Wolframlampe, vorausgehend. Man kann die Osmiumfadenlampe, deren Leuchtkörper aus dem überaus seltenen Metall Osmium bestand, als den Vorläufer der Wolframfadenlampe, die Tantal-lampe als Vorläufer der Wolframdrahtlampe bezeichnen. Während nämlich der Tantal-leuchtkörper von Anfang an aus einem fortlaufenden gezogenen Draht bestand, hatte der der Osmiumlampe und der Wolframfadenlampe die Gestalt spröder, bügelförmiger Fäden, die in einer der Lampenspannung entsprechenden Anzahl und Länge in Serie geschaltet wurden. Es sei hier in Erinnerung gebracht, daß sowohl der Osmium- wie der Wolframfaden durch Herstellung einer Paste aus dem pulverförmigen Metall, Spritzen durch feine Düsen und Sinterung der so gewonnenen Fäden bei hoher Temperatur in einer das Bindemittel wegnehmenden Atmosphäre erzeugt wurden.

3. Die Wolframfadenlampe mit ihrer günstigen Ökonomie von etwa 1 W/HK verdrängte naturgemäß sehr rasch die Osmiumlampe, indes die Tantal-lampe mit ihrem duktilen mechanisch widerstandsfähigen Leuchtkörper sich noch längere Zeit neben der Wolframfadenlampe behaupten konnte. Aus dem Dilemma: Wolframfadenlampe mit wesentlich besserer Ökonomie, aber zerbrechlichem, aus einzelnen Bügeln zusammengesetzten Leuchtsystem, oder Tantal-lampe, mit unterlegener Lichtausbeute, aber duktilem, fortlaufenden, gezogenen Leuchtdraht, schien es keinen Ausweg zu geben. Wissenschaftlich wenig aussichtsreich war der Versuch, der dahinging, die Belastung und damit die Lichtausbeute des Tantal-drahtes zu steigern oder den Wolframleuchtkörper mechanisch ebenso widerstandsfähig zu machen, wie den Tantal-draht, womöglich ihn ebenfalls in Drahtform zu bringen. Hier muß darauf hingewiesen werden, daß in jener Zeit (bis 1909) Wolfram nur als vollkommen sprödes Metall bekannt war, ja, daß die Sprödigkeit geradezu als eine individuelle Eigenschaft des Wolframmetalls angesehen wurde. Die Herstellerin der Tantal-lampe, erfahren in der Herstellung sehr dünner Drähte, fand, daß geringe Mengen Nickel (etwa 10%) das Wolfram vollkommen zu duktilisieren vermögen, so daß aus dieser Legierung ohne Schwierigkeit Drähte gezogen werden können. Da aber die Nickel-Wolfram-legierung leicht schmelzbar ist, mußte der aus ihr gezogene Draht vor dem Einbau in die Lampe wieder von Nickel befreit werden, und es zeigte sich, daß der dann resultierende Leuchtkörper wieder fast ebenso spröde war, wie die bekannten Wolframfäden. Man hatte also eine einfachere, auf das Drahtziehen begründete

Herstellungsmethode des Wolframleuchtkörpers, der als einziges fortlaufendes Stück auf dem Traggestell in der Lampe befestigt werden konnte, aber die Duktilität und mechanische Festigkeit des Tantaldrahtes war nicht erreicht.

4. Die Wolframdrahtlampe. Gegen Ende 1909 gelang es, Wolframdrähte herzustellen, die in gleicher Weise wie Tantaldrähte verarbeitet werden konnten, da sie auch bei gewöhnlicher Temperatur duktil waren. Das neue Verfahren bestand im wesentlichen darin, aus Wolframpulver dicke Stäbe zu sintern, sie mechanisch, zweckmäßig in einer eigenartigen Hämmermaschine bei einer über 1000° liegenden Temperatur zu bearbeiten und die erhaltenen dicken Drähte (noch immer mit erhöhter Temperatur) auf den gewünschten Durchmesser herabzuziehen. Man erhielt so Drähte beliebiger Länge und beliebiger Feinheit, die nun in der von den Tantallampen her bekannten Art und Weise auf das Traggestell aufgebracht werden konnten. Auch die Transportsicherheit und Unempfindlichkeit der Tantallampe war damit erreicht. Die Wolframdrahtlampe ist seither die herrschende Glühlampe geblieben, und die Erfindertätigkeit konnte sich, abgesehen von Verbesserungen der Konstruktion und des Herstellungsverfahrens dieser Lampe, mit anderen Problemen abgeben, vor allem dem einer Steigerung der Lichtwirkung.

5. Glühlampen hoher Lichtstärken. Schon bei der Wolframfadenlampe war man dazu übergegangen, weit größere Lichtstärken und damit Stromleistungen in einer einzigen Lampe unterzubringen, als je bei den Kohlefadenlampen. Man stellte Lampen bis zu 1000 HK her, und diese großen Einheiten nahmen mit Erfolg den Kampf gegen die für große Lichtstärken bisher allein verwendeten Bogenlampen auf, sie allmählich verdrängend. Aber nicht nur die Lichtstärke der Wolframlampe steigerte man, auch die Lichtausbeute, insbesondere solcher großen Lampen, konnte wesentlich verbessert werden. Bis dahin waren nur Wolframlampen bekannt, deren Lampenglocke so weit als möglich evakuiert war, ähnlich wie bei den Kohlefadenlampen. Durch Einbringen von Substanzen, die einen geringen Halogendruck (Chlor) in der Lampe erzeugten (z. B. Verbindungen des dreiwertigen Thalliums), gelang es, die Schwärzung der Lampen größerer Lichtstärke soweit herabzudrücken, daß sie mit etwa 0,8 W/HK gebrannt werden konnten (1910).

6. Halbwattlampen. Dieser Fortschritt wurde recht bald überholt durch die Schöpfung der gasgefüllten Wolframlampe, der sogenannten Halbwattlampe (1913). Ihre wesentlichen Merkmale bilden eine Gasfüllung aus Stickstoff oder stickstoffhaltigem Argon mit einem Druck von weniger als einer Atmosphäre und der zur Verringerung der Wärmeleitungsverluste schraubenlinienförmig gewickelte Wolframdraht. Man sieht, daß für die Entstehung dieser Lampe der duktile Wolframdraht insofern Vorbedingung war, als der spröde Wolframfaden nicht oder nur unter großen Schwierigkeiten zur Schraubenlinie gewickelt werden konnte. Während man bei den hochkerzigen Wolframfadenlampen nur bis zu Lichtstärken von etwa 1000 HK gekommen war, gelang es nun leicht, Halbwattlampen bis zu ungefähr 4000 HK herzustellen. Wie der Name besagt, verbrauchen sie für jede Hefnerkerze ein halbes Watt. Doch gilt dies nur für Lampen höherer Lichtstärke und Wattzahl. Bei den kleineren mit dünneren Drähten ist die Wärmeableitung und der Abbau des Leuchtkörpers durch die Verdampfung so groß, daß sie nicht so stark belastet werden dürfen, wenn die Lebensdauer nicht zu sehr

sinken soll. Nichtsdestoweniger werden die kleinen gasgefüllten Lampen wegen ihres weißeren schönen Lichtes (die Vakuumlampen leuchten gelblicher, da die Temperatur des Wolframdrahtes bei ihnen wesentlich niedriger ist als bei den Halbwattlampen, ungefähr 2100° gegenüber 2400°) mit Vorliebe verwendet.

7. Weitere Entwicklung der Drahtlampe. Mit der Schöpfung der Halbwattlampe ist die Entwicklung der Wolframglühlampe und überhaupt der Glühlampen zu einem gewissen Abschluß gelangt. Die weitere Entwicklung befaßt sich mit der Qualität der Lampe, bezüglich Haltbarkeit des Drahtes, Konstanz der Lichtstärke, Vermeidung der Schwärzung und endlich der Vereinfachung und Verbilligung der Herstellung. Der Wolframdraht war nun allerdings nach der Herstellung duktil und widerstandsfähig, aber es zeigte sich bald, daß er nach längerem Brennen wesentliche Veränderungen erleidet. Jedes bearbeitete Metall (und der Draht ist auf Grund seiner Herstellungsart ein solches) erleidet Strukturänderungen, wenn man es über eine gewisse von der Natur des Metalls abhängige Temperatur erhitzt, man sagt, es rekristallisiert. Der glühende Wolframdraht der Lampe hat von allen bearbeiteten Metallen, die man praktisch verwendet, bei seinem Gebrauche die höchsten Temperaturen auszuhalten, er ist daher geradezu das Schulbeispiel für die Rekristallisation bearbeiteter Metalle. Nach längerem Brennen der Lampe nimmt er eine mehr oder minder grob kristallinische Struktur an (übrigens in sehr verschiedener Weise, je nachdem die Lampe an Gleichstrom- oder Wechselstromnetzen brennt), seine anfängliche Duktilität verschwindet, er wird spröde, und die Lampe daher empfindlich gegen Erschütterung usw. So entstand die Aufgabe, die Rekristallisation so zu leiten, daß die Drähte dauernd ihre Duktilität behielten. Hier kam der Glühlampen-Industrie eine Erfindung zugute, die wenige Jahre nach der des Wolframdrahtes bekannt wurde, die des sogenannten Wolframkristallfadens. Darunter versteht man einen Faden, der aus einem einzigen oder aus wenigen langen Wolframkristallen besteht. Ähnlich wie die alten Wolframfäden wird er aus einer Paste und nachfolgendes fortlaufendes Sintern des durch Düsen gespritzten Fadens bei sehr hoher Temperatur hergestellt. Die langen einzelnen Kristalle erweisen sich als vollkommen duktil und behalten diese Eigenschaft auch bei beliebig langem Brennen. Es galt also, den Wolframdraht so zu verändern, daß er entweder durch eine Behandlung vor dem Einbringen in die Lampe oder auch erst während des Brennens der Lampe eine Struktur annimmt, ähnlich der des Wolframkristallfadens. Langjährige, mit großem Aufwand an wissenschaftlicher und technischer Laboratoriumsarbeit durchgeführte Untersuchungen haben schließlich die Osram-Gesellschaft in den Stand gesetzt, neuerdings Lampen mit gezogenem Wolframdraht herauszubringen, der alle günstigen Eigenschaften des Wolframkristallfadens besitzt.

8. Andere elektrische Lichtquellen. Das bisher Gesagte wird genügen, die Entwicklung der Glühlampen, die von allen Lichtquellen die größte praktische Bedeutung haben, zu kennzeichnen. Auch andere Arten elektrischer Lichtquellen haben in dem im Titel gekennzeichneten Zeitraum eine beträchtliche Entwicklung erfahren.

a) Die Kohlebogenlampen bedürfen, da sie bereits fast gänzlich durch die Glühlampen verdrängt sind, keiner näheren Besprechung, obwohl es durch Salzzusätze zum Elektrodenmaterial gelang, die Ökono-

mie wesentlich über die der heutigen besten Glühlampen zu steigern. Die Notwendigkeit des Kohlenersatzes einerseits und die zunehmende Beachtung, welche die Lichtfarbe andererseits beim Beleuchtungstechniker findet, haben diesen Rückgang ihrer Verwendung verursacht.

b) **Quecksilberlampen und Moorelicht.** Dagegen haben die Lampen, die auf dem Leuchten stromdurchflossener Gase beruhen, seit der Jahrhundertwende eine steigende Beachtung gefunden. Die technische Ausbildung der Quecksilberlampen und des Moorelichts fällt in die Zeit der Nernstlampe. Die ersten haben in der ursprünglichen Form langer, mit Quecksilberdampf niedrigen Druckes gefüllter Röhren nur wenig Verbreitung gefunden und werden heute nur noch für Spezialzwecke benutzt. Dasselbe gilt vom Moorelicht mit seinen langen, die zu beleuchtenden Räume durchziehenden, Stickstoff oder Kohlensäure enthaltenden Glasröhren, auf das man wegen der Schönheit und diffusen Verteilung des Lichtes anfangs so große Hoffnungen setzte. Die Komplikation der Anordnung stand einer weiteren Verbreitung hindernd im Wege. Größere Bedeutung erlangte die Hochdruck-Quecksilberlampe (1905) mit ihrem kurzen, aus durchsichtigem geschmolzenen Quarz bestehenden Leuchtrohr. Sie ist heute noch die wichtigste Quelle ultravioletter Strahlen, insbesondere für die Zwecke der Heilkunde.

c) **Neon-Lampen.** Um das Jahr 1910 herum begannen die Versuche, das intensive, feuerrote Licht des stromdurchflossenen Neongases auszunutzen, praktische Gestalt anzunehmen. Die Lichtfarbe ließ diese Lichtquelle von vornherein als nicht geeignet für die Allgemeinbeleuchtung erscheinen, um so geeigneter aber für die Lichtreklame. Anfänglich baute man diese Lampen nur für hochgespannten Wechselstrom in Form langer Röhren, mit je einer Elektrode an jedem Ende, doch gelang es schließlich auch, sie in Form relativ kurzer (Länge etwa 1 m) Röhren für die Spannungen der üblichen Gleichstromnetze verwendbar zu machen. Die Neonbeleuchtung hat in den letzten Jahren eine ziemliche Verbreitung gefunden, insbesondere schriftzeichenförmig gebogene Röhren. Es gelang auch, die Lichtfarbe durch gewisse Zusätze (Quecksilber) zum Neon zu beeinflussen, um beispielsweise blaues Licht zu erzielen.

d) **Glimmlampen.** Eine sehr beachtenswerte Erscheinung der letzten Jahre bilden die sogenannten Glimmlampen (1918). In einer mit Neogas gefüllten Glühlampenglocke stehen in geringer Entfernung zwei blech- oder drahtförmige Metallelektroden einander gegenüber. Beim Anlegen der Netzspannung (ein Vorschaltwiderstand im Lampenfuß begrenzt die Stromstärke auf etwa 20 Milliampère) überzieht sich die Kathode mit dem negativen Glimmlicht, das die Hauptquelle des Lichtes bildet. Trotzdem der Gesamtwattverbrauch der Lampe wesentlich geringer ist, als der der kleinsten Glühlampe, hat sich die Glimmlampe infolge ihrer zu geringen Lichtstärke nur in beschränktem Maße durchzusetzen vermocht. Ihre große lichttechnische Bedeutung liegt jedoch darin, daß sie die erste Lampe vorstellt, die auf einer elektrischen Entladung durch ein Gas beruht und trotzdem ohne Zündvorrichtung, wie eine Glühlampe, mit den üblichen Netzspannungen betrieben werden kann. Sie dürfte sich übrigens für verschiedene elektrotechnische Zwecke als unentbehrlich erweisen.

e) die **Wolfram bogenlampen** beruhen auf einer Bogenentladung zwischen Elektroden aus Wolfram, die sich in einer luftdicht abgeschlossenen, entweder mit Stickstoff oder mit einem Edelgas gefüllten Glühlampenglocke befinden (1913). Sie weisen erst neuerdings eine

raschere Entwicklung auf. Da die glühende, meist kugelförmige Elektrode, bei Gleichstromlampen die Anode, eine gleichmäßige, ziemlich hohe Flächenhelligkeit (15 HK/qmm) besitzt, wird die Lampe für verschiedene optische Zwecke (Projektion Mikroskopbeleuchtung u. dgl.) die bevorzugte Lichtquelle bilden, obwohl die Kohlebogenlampen eine wesentlich höhere Flächenhelligkeit erreichen. Vor der letzteren hat sie den Vorzug, hunderte von Stunden ohne Wartung zu brennen und ein vollkommen ruhiges Licht zu geben.

9. **Ausblick.** Rückblickend auf die Entwicklung der elektrischen Lichtquellen innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte muß man sagen, daß die sogenannten Temperaturstrahler unbestritten das Feld behauptet haben, ganz im Gegensatz zu den großen Hoffnungen, die man auf eine weitere Entwicklung der elektrischen Gas- und Dampflampen nach Art der Quecksilberlampen, des Moorelichts und der Neonlampen gesetzt hatte. Es ist bisher nicht abzusehen, wie es in Zukunft anders werden sollte. Aber auch bei den Temperaturstrahlern, die gegenwärtig durch die alles beherrschende Wolframlampe repräsentiert werden, ist die Entwicklung bisher eine einseitige gewesen. Im wesentlichen hat sich stets derjenige Leuchtkörper durchgesetzt, der die größte Temperaturbeständigkeit bezüglich Schmelzpunkt und Verdampfung aufzuweisen hatte. Doch gibt es noch eine andere nicht minder wichtige Entwicklungsrichtung, die der selektiven Temperaturstrahler. Sie sind gekennzeichnet durch eine Bevorzugung der Strahlung im sichtbaren Spektralgebiet und ein Zurücktreten der nutzlos energieverbrauchenden Strahlung im Ultrarot. Bei metallischen Leuchtkörpern ist diese Selektivität wenig ausgeprägt. Beispielsweise strahlt der Wolframdraht selektiver als der Kohlefaden, doch beruht seine Überlegenheit dem letzteren gegenüber nur zu geringem Teil auf dieser Eigenschaft, der Hauptsache nach aber darauf, daß er höhere Temperaturen bei geringerer Verdampfung aushält. Dagegen kennt man in dem Auerstrumpf einen Leuchtkörper, dessen günstige lichttechnische Eigenschaften auf einer hervorragend selektiven Strahlung beruhen. Es wird Sache der Zukunft sein, festzustellen, ob Leuchtkörper dieser Art auch für die elektrische Beleuchtungstechnik nutzbar gemacht werden können. Nicht die hohe Temperatur ist dann das Ausschlaggebende, ja es sind ökonomische Leuchtkörper denkbar, die bei wesentlich niedrigeren Temperaturen als der Wolframdraht betrieben werden, z. B. unter 2000°. Soweit man heute die Sachlage übersehen kann, können diese Leuchtkörper nur aus nicht metallischen Substanzen, insbesondere Oxyden bestehen, und es eröffnet sich so die Möglichkeit, daß der oxydische Leuchtkörper der Nernstlampe, wenn auch in anderer Gestalt und Zusammensetzung, noch einmal seine Wiederauferstehung feiert, zumal, wenn man bedenkt, daß die Entwicklung der Nernstlampe in einem Frühstadium abgebrochen wurde, in dem nur ein geringer Teil der Fortschritte gemacht werden konnte, die sonst bei längerer Entwicklung an eine Erfindung sich anschließen.

[A. 115.]

## Über die Entwicklung der Aluminiumindustrie in Deutschland.

Von H. SPECKETER, Griesheim a. M.

Bis zum Jahre 1915 bestand in Deutschland nur eine kleine Aluminiumfabrik — das Werk Rheinfelden der Aluminiumindustrie A.-G. Neuhausen (Schweiz). Dieses Werk erzeugte nur einen kleinen Anteil des deutschen