

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 1 (1910)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Ueber die Entwicklung der Glühlampentechnik  
**Autor:** Monasch, Berthold  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059695>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an die

Redaktion: Ing.-Consulent Dr. W. Kummer,  
Mythenstrasse 15, Zürich II (Telephon 5806)

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den

Verlag: Fachschriften-Verlag A.-G., Zürich  
Bahnhofstrasse 61, Zürich I (Telephon 6741)

Est publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement.

Toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ sont à adresser à la

Rédaction: Ing.-Conseil Dr. W. Kummer  
Mythenstrasse 15, Zurich II (Téléphone 5806)

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les insertions sont à adresser à

l'éditeur: Fachschriften-Verlag A.-G., Zurich  
Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

I. Jahrgang  
1<sup>e</sup> Année

Bulletin No. 11

November 1910  
Novembre

## Ueber die Entwicklung der Glühlampentechnik.

Von *Dr.-Ing. Berthold Monasch*, Oberingenieur der Wolfram-Lampen A.-G., Augsburg.<sup>1)</sup>

Als im Jahre 1819 die Stadt Köln am Rhein ihre Strassen mit Gas beleuchten wollte, schrieb die „Cölnische Zeitung“ vom 28. März 1819 folgendes:

„Jede Strassenbeleuchtung sey verwerflich:

1. *Aus theologischen Gründen*: weil sie als Eingriff in die Ordnung Gottes erscheint. Nach dieser Ordnung ist die Nacht zur Finsternis eingesetzt, die nur zu gewissen Zeiten vom *Mondlicht* unterbrochen wird. Dagegen dürfen wir uns nicht auflehnen, den Weltplan nicht hofmeistern, die Nacht nicht in Tag verkehren wollen.
2. *Aus medizinischen Gründen*: Die Beleuchtung legt dadurch zu vielen Krankheiten den Stoff, indem sie den Leuten das nächtliche Verweilen auf den Strassen leichter und bequemer macht und ihnen Schnupfen, Husten und Erkältung auf den Hals zieht.
3. *Aus philosophisch-moralischen Gründen*: Die Sittlichkeit wird durch Gassenbeleuchtung verschlimmert. Die künstliche Helle verscheucht in den Gemütern das Grauen vor der Finsternis, das die Schwachen vor mancher Sünde abhält. Diese Helle macht auch den Trinker sicher, dass er in den Zechstuben bis in die Nacht hineinschwelgt.“

Derartige Argumente vermochten natürlich nicht, die überaus glänzende Entwicklung der Beleuchtungstechnik, weder der Gasbeleuchtung noch der elektrischen Beleuchtung, aufzuhalten; die moderne arbeitende Menschheit benötigte das künstliche Licht in immer steigendem Masse. Die erste wirklich brauchbare elektrische Lichtquelle war die Bogenlampe, die im Jahre 1878 handelsfähig geworden war. Da die Kohlen für die Bogenlampen damals nur Reinkohlen waren, gab die Bogenlampe das bekannte bläulich weisse Licht und man nannte ihr Licht oft nicht mit Unrecht „potenzierten Mondschein“, weil dem Licht die warmen, langwelligen Tönungen fehlten. Die Bogenlampe war als Lichtquelle zu lichtstark, um dem grossen Bedürfnis nach Licht im Haushalt, Arbeitsräumen, überhaupt in Innen-

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten am 10. September 1910 in Schaffhausen an der Generalversammlung des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke.

räumen zu genügen, ein Bedürfnis, das durch die aufsteigende Reihe: Kienspan, Kerze, Tranlampe, Petroleumlampe, offener Gasschnittbrenner angedeutet ist.

Die Gasschnittbrenner besonders, die sich sehr schnell eingebürgert hatten, gaben durchweg eine Lichtstärke von etwa 16 Kerzen, und daher war es ganz natürlich, dass die erste elektrische Glühlampe auch in dieser Kerzenzahl hergestellt wurde. Es mutet uns heute, wo wir mit Zehnern und Hundertern zu rechnen gewohnt sind, etwas sonderbar an, weshalb gerade die 16-kerzige elektrische Glühlampe lange Zeit die normale Type gewesen ist; aber den Grund sehen wir in der historischen Analogie zu den Gasflammen. Heute freilich kann die 16-kerzige Lampe nicht mehr als die Normaltype der elektrischen Glühlampe bezeichnet werden; der Normaltypus hat sich nach steigender Kerzenzahl verschoben; er liegt zwischen 25 und 50 Kerzen, genau wie sich beim Gaslicht nach Einführung der Glühstrümpfe der Normaltypus von 16 Kerzen auf 50 bis 80 Kerzen verschoben hat.

Die erste handelsfähige elektrische Kohlenfadenglühlampe wurde in Europa im Jahre 1881 auf der Pariser Internationalen Elektrizitäts-Ausstellung gezeigt. Sie kostete etwa 12 Franken, brannte 300 Stunden und hatte einen Verbrauch von etwa 5 Watt pro Kerze. Es war nicht leicht, das geeignete Kohlenmaterial für den Faden zu finden. Nach vielen erfolglosen Versuchen, bei denen gestanzte Papier- oder Kartonstreifen, Baumwollfäden, Menschenhaare und Pferdehaare als Fadenmaterial versucht worden waren, fand *Edison* als bestes Material eine ziehbare Bambusfaser, die von einer besonders nach Indien gesandten Expedition gefunden worden war. Aber diese Faser wies auch immer noch eine gewisse Struktur auf, und die Inhomogenität des Kernes des Kohlenfadens gab besonders Anlass zu der kurzen Brenndauer der Lampe. Es war daher ein grosses Verdienst, als

*Josef Wilson Swan* im Jahre 1884 Fäden aus strukturloser Kohle herzustellen lehrte. Das Experiment Swan's lässt sich sehr leicht wiederholen. In eine Presse (Abbildung 1) wird eine Lösung von Nitrucellulose in Eisessig gefüllt, eine viskose, klebrige Flüssigkeit. Lässt man diese Flüssigkeit unter Wasser durch eine Düse unter gelindem Druck austreten, so erstarrt die Masse bei der Berührung mit dem Wasser zu einem festen Körper, der als ein kontinuierliches Band aus der Pressdüse heraustritt. Aus diesem Material wurde nach weiterer Verarbeitung der Kohlenfaden für die Glühlampen gewonnen, und dieses Verfahren ist technisch auch insofern interessant, als das Verfahren zur Herstellung künstlicher Seidenfasern genau auf demselben Prinzip beruht, nur dass man eben dünnere Düsen zum Spritzen der Fäden wählt.

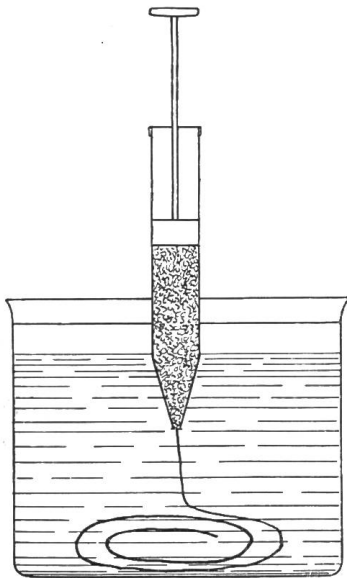


Abbildung 1. Experiment zur Darstellung der Kohlenfaden nach Swan.

Mit dem strukturlosen Faden hielt sich die Kohlenfadenglühlampe fast 17 Jahre konkurrenzlos. Der Verbrauch der Lampe war auf 2,5 bis 3,5 Watt pro Kerze gesunken und infolge rationell ausgeführter Massenfabrikation und grosser Konkurrenz war auch der Preis auf einige 70 bis 90 Cts. pro Lampe gesunken. Als dann die Gastechnik durch die Auer von Welsbachsche Erfindung des Glühstrümpfes einen gewaltigen Auf-

schwung genommen hatte, befassten sich viele Forscher mit der Frage, wie man das elektrische Licht verbilligen könnte. Hier war es zunächst *Nernst*, der im Jahre 1897 die nach ihm benannte Metalloxydlampe schuf, welche jedoch heute vollständig der Geschichte angehört. Die erste brauchbare Metallfadenlampe baute *Auer von Welsbach* im Jahre 1898. Seine Osmiumlampe brauchte nur 1,5 Watt pro Kerze; sie hatte aber für die Praxis einen grossen Nachteil und der bestand darin, dass die Lampe nur als Dreischaltungslampe für 110 Volt- bzw. als Sechsschaltungslampe für 220 Volt-Netze zu verwenden war. Auch diese Lampe gehört heute der Geschichte an. Eine zweite Metallfadenlampe, die schon für 110 Volt-Netze in Einzelschaltung verwendet werden konnte, war die Tantallampe, welche im Jahre 1905 nach den Versuchen von *Werner von Bolton* und *Dr. Feuerlein* handelsfähig geworden war. Sie wird auch heute noch viel verwendet und ist durch einen

spezifischen anfänglichen Effektverbrauch von 1,5 bis 1,7 Watt pro Kerze und bei Gleichstrom durch eine Brenndauer von 600 bis 800 Stunden gekennzeichnet, während sie bei Wechselstrom nicht dieselben günstigen Brenndauerresultate ergibt. Den Grund hierfür werden wir noch später besprechen. Dann erschien 1906 die Wolframlampe.

Wolfram ist ein Metall, das fast alle von uns auf der Hochschule nur gelegentlich dem Namen nach kennen gelernt haben. Seine praktische Verwendung, insbesondere in der Stahlindustrie, ist erst jüngeren Datums. Sein Atomgewicht beträgt 184, sein spezifisches Gewicht 19. Es kommt in der Natur nie gediegen vor, sondern am häufigsten als Scheelit (Calciumwolframat,  $CaWO_4$ ) oder als Wolframit ( $FeWO_4$ ,  $MnWO_4$ ). Die Fundorte sind das Erzgebirge, Schweden, Russland, Harz, Vogesen und neuerdings auch Australien. Die Oxyde des Wolframs sind durch besonders schöne Färbungen gekennzeichnet. Das Pentoxyd  $W_2O_5$  ist blau, das Trioxyd  $WO_3$  ist gelb, das Dioxyd  $WO_2$  ist braun. Wolfram ist im Gegensatz zum Osmium, das Auer von Welsbach zu Glühfäden verwendete, ein sehr leicht oxydierbares Mittel. Diese leichte Oxydierbarkeit des Wolframs liess es von vorneherein nicht als besonders geeignet für Glühfäden erscheinen. Es war vielmehr der hohe Schmelzpunkt des Wolframs, welcher dieses Metall so ausserordentlich wertvoll für die Glühlampentechnik macht. Im folgenden werden die Schmelzpunkte einiger Metalle angegeben:

Platin: 1800<sup>o</sup>,  
Tantal: 2275<sup>o</sup>,  
Osmium: 2500<sup>o</sup>,  
Wolfram: 2850 bis 3200<sup>o</sup>.

Nähere Erläuterungen über die für die Verarbeitung zu Glühfäden spezifischen Eigenschaften des Wolframs und der anderen üblichen Grundstoffe liefert die folgende Tabelle:

Material	Spez. Widerstand 1 mm <sup>2</sup> u. 1 m Länge bei 200 C. Ohm	Fadendimensionen der 25 HK Lampe	Volt
Kohlenfaden.	0,63	{ 0,154 mm Durchmesser } { 258 „ Länge }	110
Osmium . .	0,095	{ 0,087 mm Durchmesser } { 289 „ Länge }	37
Tantal . . .	0,165	{ 0,05 mm Durchmesser } { 650 „ Länge }	110
Wolfram . .	0,07	{ 0,03 mm Durchmesser } { 530 „ Länge }	110

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass der spezifische Widerstand des Wolframs wesentlich geringer ist als der des Tantals und als der des Kohlenfadens. Das bedeutet für die Glühlampentechnik, dass zur Erzielung der gleichen Lichtstärke bei derselben Spannung ein wesentlich längerer und wesentlich dünnerer Faden bei Wolfram als bei den anderen Materialien in Frage kommt. Nun hatte aber der langjährige Gebrauch der Kohlenfadenslampe mit ihrem, wie sich aus der Tabelle ergibt, verhältnismässig kurzen und dicken Faden gewisse Dimensionen der Glasglocke herausgebildet, die nicht gut überschritten werden konnten. Es war daher notwendig, die ganze Fadenlänge in diesen Glasglocken von annähernd ähnlichen Dimensionen wie bei den Kohlenfadenslampen einzuordnen. Die meist verwendeten Wolframfäden haben einen Durchmesser von 0,02 bis 0,04 mm, der mit 0,02 mm noch ein wenig dünner ist als das neben ihm projizierte blonde Frauenhaar (Projektion), das normaler Weise doch schon als äusserst dünner Körper gilt. Die Notwendigkeit, einen so langen, dünnen Faden in der Glasglocke unterzubringen, zeigte im

Laufe der Zeit eine Reihe von Konstruktionen, die in den Abbildungen 2 bis 8 dargestellt sind und die zum Teil einen Misserfolg nach dem anderen bedeuteten. Aber die Glühlampentechnik lernte aus diesen Misserfolgen und ist heute in der Lage, eine wirklich brauchbare Wolframlampe anzufertigen.

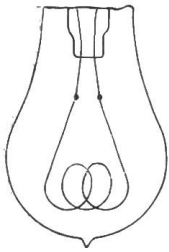


Abbildung 2.

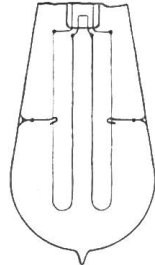


Abbildung 3.

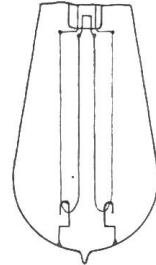


Abbildung 4.

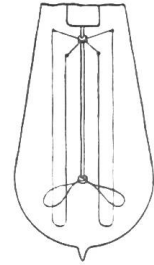


Abbildung 5.

Abbildungen 2 bis 5. Fadenhalter-Konstruktionen der Kohlenfadenlampe (Abb. 2) und verschiedener Metallfadenlampen.

Abbildung 2 zeigt eine gewöhnliche Kohlenfadenlampe, deren verhältnismässig kurzer Bügel an sich Stabilität genug besitzt, um ohne besondere Haltevorrichtungen in der Lampe zu hängen; Abbildungen 3 und 4 zeigen Konstruktionen des Jahres 1906 bei Wolframlampen. Man sieht in Abbildung 3 Halterösen aus schwer schmelzbarem Material, z. B. Thoroxyd, von der Glaswand der Glocke ausgehen und die Glühfadenbügel in ihrer Mitte umfassen. Man übertrug also einfach die Konstruktion der Osmiumlampe auf die Wolframlampe und das Ergebnis war, dass die beim Brennen weich werdenden Fäden sich berührten, dass Kurzschluss entstand und auch schon beim Transport die langen durchhängenden Fadenbügel zerbrachen. Daher ordnete man die Fadenhalter gemäss Abbildung 4 derart an, dass die Fadenbügel in ihren Scheiteln gefasst wurden; aber auch bei dieser Konstruktion hingen die Fäden, namentlich wenn die Fäden in schräger Lage brannten, durch, berührten sich und gingen zugrunde. Ein anderes Konstruktionselement zeigt Abbildung 5, in welcher man einen zentralen Glassteg in der Mitte der Lampe angeordnet findet, von welchem die Haltevorrichtungen ausgehen. Dieser Glassteg, der von der Tantalampe her bekannt ist, ist heute allen guten Metallfadenlampen eigen. Von dem Glassteg, der kürzer ist als die einzelnen Fadenschenkel, gehen die Haltevorrichtungen aus, grosse Schleifen, welche den Glühfaden umfassen. Auch hier bogen sich die Fäden in erwärmtem Zustande durch und berührten sich.

In Abbildung 6 ist eine Konstruktion dargestellt, bei welcher noch ein mittlerer Halterkranz vom zentralen Glassteg ausgeht. Bei dieser Konstruktion ist das gegenseitige Berühren der Fäden in erwärmtem Zustande fast ausgeschlossen, aber die Anordnung des

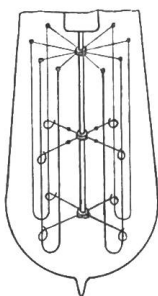


Abbildung 6.

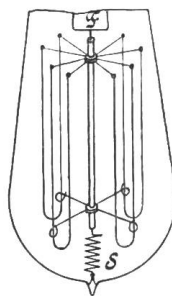


Abbildung 7.

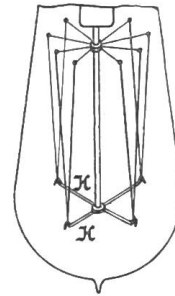


Abbildung 8.

Abbildungen 6 bis 8. Fadenhalter-Konstruktionen verschiedener Metallfadenlampen.

mittleren Halterkranzes bedeutet natürlich eine wesentliche Verteuerung der Lampenherstellungskosten, sodass man heute bei guten Lampen diese mittlere Halterung entbehren kann, wenn man nicht grosse Fadenschenkelängen verwendet, wie z. B. bei 600 und 1000 Kerzenlampen. In Abbildung 7 sieht man, dass der zentrale Glassteg durch einen geradlinigen

federnden Stift an den Glühlampenfuß *F* und dann durch eine Spiralfeder *S* an die Glühlampenspitze angeschmolzen ist. Diese Konstruktion sollte nun absolut gegen jeden Stoss und Schlag gefeit sein und sie hält auch tatsächlich gewisse Stöße und Schläge gut aus. Aber plötzlich, bei einer besonderen Art von Stößen brachen die Fäden; es ist klar, dass hier im Innern der Lampe ein federndes System vorliegt, das Eigenschwingungen ausführt, und dass diesem federnden System durch einen Stoss von aussen her weitere Schwingungen übergelagert werden, wobei die Fäden bei Resonanz der Schwingungen bersten können.

Die Erwartungen, die man auf diese Lampe nach Abbildung 7 gesetzt hat, haben sich daher in der Praxis nicht erfüllt. Die Konstruktion, welche sich seit nunmehr zwei Jahren am allerbesten bewährt hat, ist die nach Abbildung 8, bei welcher die Glühfäden in den Scheiteln durch federnde Halter *H*, die von der zentralen Glasachse ausgehen, gehalten werden. In dieser Beziehung gilt wieder der alte Grundsatz, dass die einfachste Lösung die beste ist. Wir werden später an Versuchen sehen, wie sich diese Konstruktion gegenüber Erschütterungen und beim Ein- und Ausschalten des Fadens verhält.

Zunächst wollen wir jedoch einige besondere Eigenschaften der Wolframlampe betrachten.

Bestimmend für das verschiedenartige Verhalten von Kohlenfadenlampen und Wolframlampen ist, abgesehen vom spezifischen Widerstand, die Verschiedenheit der Temperaturkoeffizienten. Kohle hat einen negativen Temperaturkoeffizienten, während Wolfram, wie alle anderen Metalle, einen positiven Temperaturkoeffizienten besitzt; während also der Widerstand des Kohlenfadens mit steigender Temperatur geringer wird, wird der des Wolframfadens mit steigender Temperatur immer höher. Man erkennt dieses Verhalten aus Abbildung 9, aus welcher man sieht, dass mit steigender Spannung, d. h. mit steigender Erwärmung der Widerstand der Wolframlampe ansteigt, während der Widerstand der Kohlenfadenlampe fällt. Man kann sich jetzt auch erklären, weshalb früher beim gleichzeitigen Einschalten einer grösseren Anzahl von Wolframlampen oder von hochkerzigen Wolframlampen die Sicherungen häufig durchbrannten. Der Anfangswiderstand des kalten Wolframfadens ist gering, der des kalten Kohlenfadens hoch. Die Anlaufstromstärke ist bei Wolfram sieben- bis achtmal höher als die normale, bei Tantal vier- bis sechs-

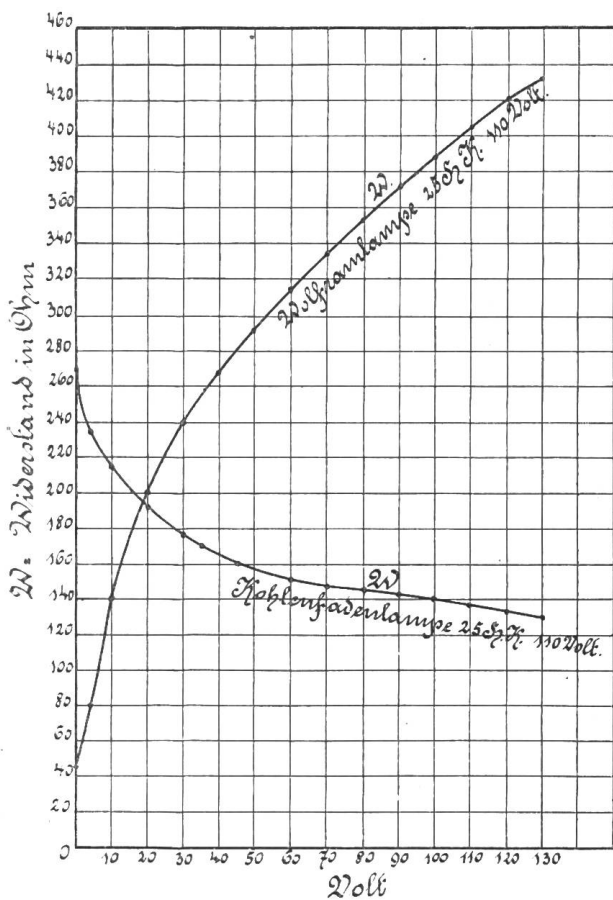


Abbildung 9. Abhängigkeit des Widerstandes der Kohlenfadenlampe und der Wolframlampe von der Spannung.

mal, während sie bei der Kohlenfadenlampe nur das 0,7-fache der normalen Stromstärke beträgt. Man kann schon mit dem blossen Auge diese Erscheinungen deutlich beobachten. Schaltet man eine Kohlenfadenlampe und eine Wolframlampe parallel und schaltet sie gleichzeitig ein, so leuchtet zuerst die Wolframlampe heller auf, während die Kohlenfadenlampe wesentlich später Licht gibt (Experiment).

Für das praktische Verhalten der Lampen ist in erster Linie der Verlauf des spezifischen Effektverbrauches, bzw. der Lichtstärke während der Brenndauer massgebend. In Abbildung 10 ist dieses Verhalten für verschiedene Lampen dargestellt. Während bei der Kohlenfadenlampe die 80 % Abszisse der Lichtstärke schon nach 300 bis 400 Stunden erreicht ist, ein Punkt, den man mit Nutzbrenndauer der Glühlampen bezeichnet, ist die



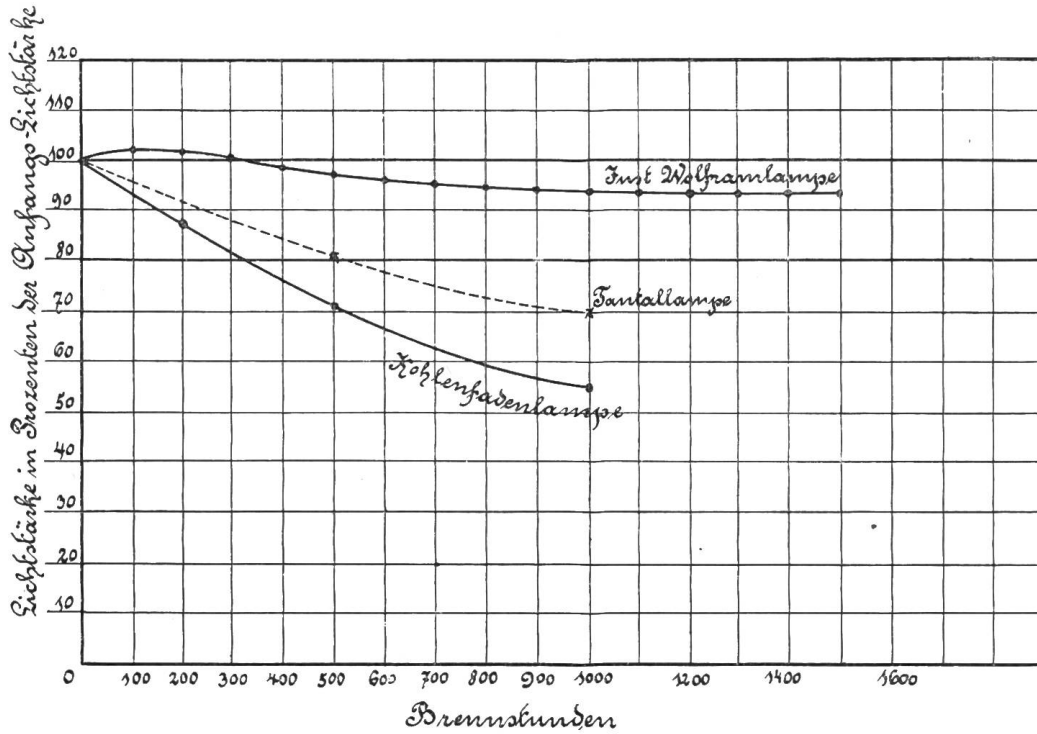


Abbildung 10. Abhängigkeit der Lichtstärke verschiedener Glühlampen von der Brenndauer.

Nutzbrenndauer der Tantallampe erst bei 500 bis 600 Stunden bei Gleichstrom erreicht. Bei der Wolframlampe wird die

80 % Abszisse der Lichtstärke in dem dargestellten Beispiel überhaupt nicht erreicht; im allgemeinen kann man sagen, dass Wolframlampen nach 1000 Brennstunden nur 5 bis 7 % ihrer Anfangslichtstärke verloren haben und erst bei 2000 Stunden in ihrer Lichtstärke um 20 % gesunken sind. Den Kurven der Abbildung 10 wohnt jedoch kein dogmatischer Wert inne, da Glühlampen Einzelindividuen sind und eine sich nicht genau wie die andere verhält. Am besten sieht man diese Individualität aus der Abbildung 11, in welcher ein Prüfungsattest über Just-Wolframlampen bei Wechselstrom von der Bayerischen Landesgewerbeanstalt in Nürnberg graphisch dargestellt ist. Man sieht, dass von den elf Lampen sechs Stück eine Brenndauer von 2300 Stunden erreicht haben und dass eine Lampe schon bei 80 Stunden zugrunde ging. Glühlampen sind eben Einzelindividuen und ähneln in dieser Beziehung den Menschen; während manche Menschen ein hohes Greisenalter erreichen, sterben einige, glücklicherweise wenige, schon als Säuglinge und kein Mensch und kein Arzt und kein Glühlampentechniker weiss warum. — Aber die beiden anderen Lampen in Abbildung 11 mit kleiner Brenndauer, Lampe 6 und Lampe 2, die 280 bzw. 420 Stunden gebrannt haben, haben schon ihren Zweck als stromsparende und wirtschaftliche Lichtquellen erfüllt, trotzdem sie so frühzeitig zugrunde gegangen sind, denn der höhere Anschaffungspreis der Wolframlampen war bei diesen Brenndauern schon gegenüber den Kohlenfadenlampen durch die Stromersparnis amortisiert und hatte schon Betriebsersparnisse zu machen

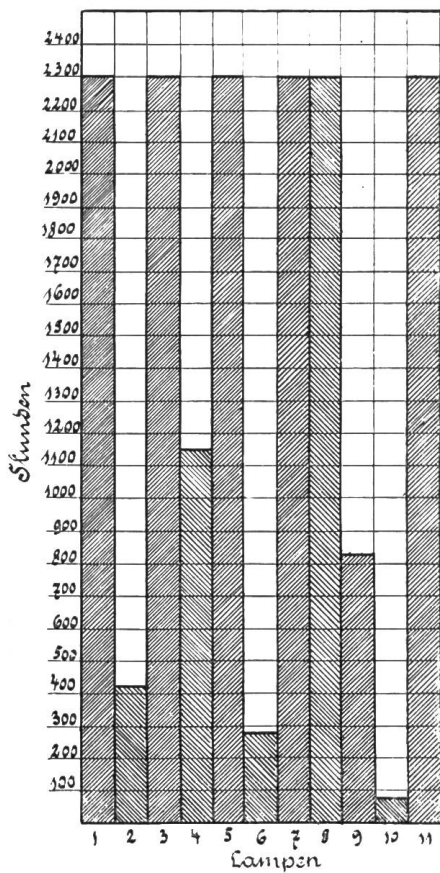


Abbildung 11. Brenndauer-Ergebnisse einzelner Wolframlampen.

gestattet. Man kann sich sehr leicht ein Bild über die Wirtschaftlichkeit einer Glühlampe machen, wenn man die Teichmüllersche Formel benutzt, die im Folgenden graphisch verwendet worden ist. In Abbildung 12 ist die Untersuchung für den Strompreis von 60 Cts. pro KW/Stunde durchgeführt. *OK* bedeutet den Anschaffungspreis der Kohlenfadenlampen, *OW* den der Wolframlampe, den man auch als Betriebskosten in der 0<sup>ten</sup> Brennstunde auffassen kann. Für die verschiedenen Brennstunden addiert man den Strompreis hinzu und erhält dann gerade Linien, welche die Betriebskosten als Funktion der Brenndauer angeben. In Punkt *C* schneiden sich diese Linien. Dieser Punkt ist der Amortisationspunkt und liegt für das gewählte Beispiel bei einem Strompreis von 60 Cts. bei der 52<sup>sten</sup> Brennstunde. Der Ordinaten-Abschnitt *AB* gibt z. B. an, wie gross die Ersparnis der Wolframlampe gegenüber der Kohlenfadenlampe nach 125 Brennstunden ist. Hat man nur mit 20 Cts. pro Kilowattstunde bei denselben Anschaffungspreisen für die Lampen zu rechnen, so ist der höhere Anschaffungspreis der Wolframlampe für den dargestellten Fall nach 150 Stunden amortisiert. Für die dazwischen liegenden Stromtarife liegen die Amortisationspunkte zwischen 52 und 150 Brennstunden.

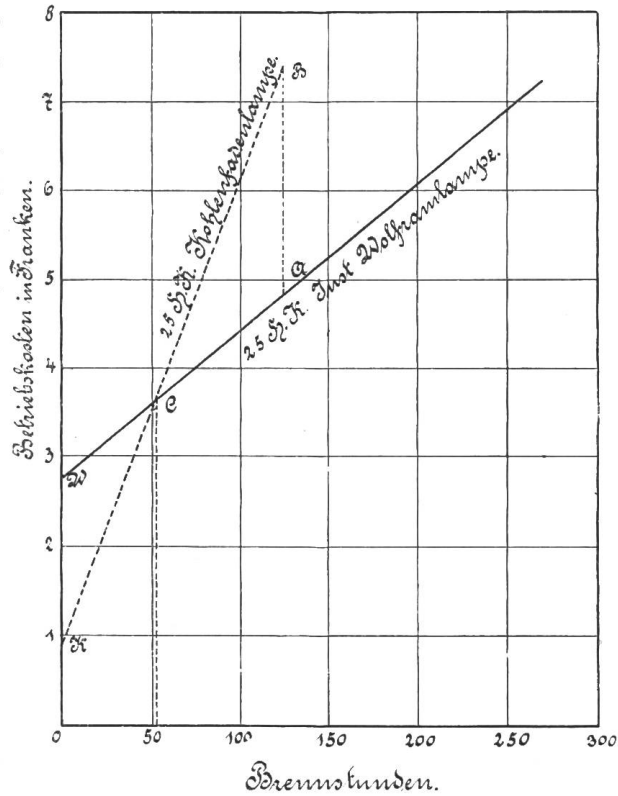


Abbildung 12. Wirtschaftlichkeit von Kohlenfaden- und Wolfram-Glühlampen.

Es ist also gemäss den angegebenen Zahlen kein Zweifel, dass die Wolframlampe in Bezug auf wirtschaftliche Ausnützung des Lichtes einen wesentlichen Fortschritt gegenüber der Kohlenfadenlampe, der Nernstlampe und der Tantallampe darstellt, wenigstens für alle Stromtarife, bei denen der Strom teurer als 5 Cts. pro Kilowattstunde ist. Nun hört man häufig die Ansicht: „Ja, das ist alles sehr schön, aber die Lampen halten ja mechanisch gar nichts aus.“ Zunächst muss darauf hingewiesen werden, dass ein grosser Teil der Fehler immer noch auf schlechter Behandlung der Lampe beruht. Wir sehen hier eine grosse Wolframlampe (Demonstration), die innen vollständig blau, und hier eine, die innen vollständig gelb aussieht. Was mag der Grund sein? Es ist nicht schwer zu erkennen, dass der blaue Staub in der Lampe Wolframpentoxid ( $W_2 O_5$ ), der gelbe Staub Wolframtrioxid, die höchste Oxydationsstufe des Wolframs, ist. Die nähere Untersuchung ergibt, dass die Spitze der Lampe beim Auspacken durch Unvorsichtigkeit einen leichten Riss bekommen hat und dass durch diesen Riss Luftsauerstoff eingedrungen ist. Dieser hat sich mit dem zerstäubenden Wolframmetall des Fadens zu den bekannten Oxydationsstufen mit ihren charakteristischen Färbungen verbunden.

Im übrigen halten die Lampen, welche nach Abbildung 8 hergestellt sind, erhebliche mechanische Beanspruchungen aus. Wir schwingen eine 25 Kerzen 120 Volt Just-Wolframlampe an einem Seil von  $1\frac{1}{2}$  Meter Radius im Kreise herum unter Strom und Sie sehen, dass die Lampe nicht erlöscht und während der Rotation weiter brennt (Experiment).

Einen guten Einblick in die sichere Wirkungsweise der Lampe erhalten wir auch, wenn wir eine Lampe direkt projizieren. In Abbildung 13 wird, auf dem Schirm eines Projektionsapparates, der innere Glassteg *S* vergrössert dargestellt, von welchem der federnde Halter *H* ausgeht, welcher den Glühfaden *G* umfasst. Es ist dies eine „Just“-Wolframlampe der Wolfram-Lampen A.-G. Augsburg, welche nach Abbildung 8 konstruiert ist. Wird die Lampe unter Strom gesetzt, so sieht man, dass der Faden *G* erglüht, und kann man bei jedesmaligem Einschalten einen deutlichen Ruck beobachten und konstatieren, dass



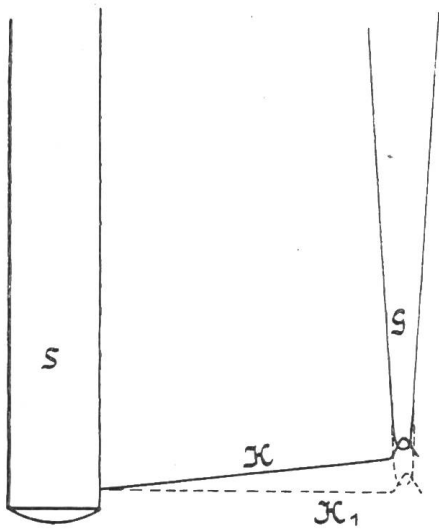


Abbildung 13. Schwingungen des Fadenhalters von Wolframlampen beim Ein- und Ausschalten.

der Glühfaden infolge der thermischen Beanspruchung beim Einschalten sich ausgedehnt und der federnde Halter *H* nachgegeben hat und in die gestrichelt gezeichnete Stellung  $H_1$  mit dem Glühfaden gegangen ist. Bei wechselweisem Ein- und Ausschalten der Glühlampe springt der Halter mit dem Glühfaden zwischen den Stellungen *H* und  $H_1$  hin und her, der beste Beweis, wie fein der Halter jeder Längenausdehnung des Fadens folgt.

Gerade für die schweizerischen Elektrizitätswerke ist nun die Frage nach dem Verhalten der Wolframlampen bei Wechselstrom besonders bedeutungsvoll. Man ist von der Tantallampe her gewöhnt zu wissen, dass sie nicht dieselben günstigen Brenndauern in Wechselstromnetzen wie in Gleichstromnetzen ergibt, und man ist leicht geneigt, einen Analogieschluss auf die Wolframlampe zu ziehen. Hierzu ist man jedoch nicht berechtigt, denn es besteht ein prinzipieller Unterschied im Verhalten beider Fadenarten bei Wechsel-

strom. In Abbildung 14 sehen wir mikroskopische Präparate von Fäden dargestellt und zwar sind die Fäden *A, B, C, D* und *E* nach einer Untersuchung von C. H. Sharp (Trans. Americ. Inst. of Electr. Eng., Vol. 25, 1906, Seite 815) dargestellt.

<i>A</i>	bedeutet den Tantalfaden einer neuen Lampe,
<i>B</i>	einen Tantalfaden, der bei Gleichstrom 492 Stunden gebrannt hat,
<i>C</i>	" " " " Wechselstrom 25 Perioden 487 Stunden gebrannt hat,
<i>D</i>	" " " " " 60 " 157 " " "
<i>E</i>	" " " " " 130 " 300 " " "

Man sieht also, dass bei Wechselstrom bei zunehmender Periodenzahl und zunehmender Brenndauer intramolekulare Vorgänge im Tantalfaden auftreten, welche seine Struktur verändern, ihn kristallinisch machen, die Moleküle verschieben, den Widerstand an einzelnen Stellen erhöhen, eine Ueberanspruchung dieser Stellen des Fadens bewirken und schliesslich sein frühzeitiges Ende veranlassen. Der Tantalfaden ist bekanntlich ein *gezogener* Draht

und es ist schon verschiedentlich behauptet worden, dass auch gezogene Kupferdrähte in Freileitungen bei Wechselstrom weniger dauerhaft sein sollen als bei Gleichstrom. Die ganze Frage der molekularen Veränderung von gezogenen Metalldrähten bei Wechselstrom ist wissenschaftlich noch sehr unaufgeklärt und es wäre dankbar zu begrüssen, wenn hier die systematische Forschung einsetzen würde. Der Wolframfaden hingegen besteht nicht aus einem gezogenen Draht, sondern ist ein sogenannter gesinterter Faden. In Abbildung 14 stellt der Faden *F* einen Wolframfaden dar, der von mir nach 900 Stunden Brenndauer bei Wechselstrom von 50 Perioden einer „Just“-Wolframlampe, die nach Abbildung 8 konstruiert war, entnommen und mikroskopiert wurde.

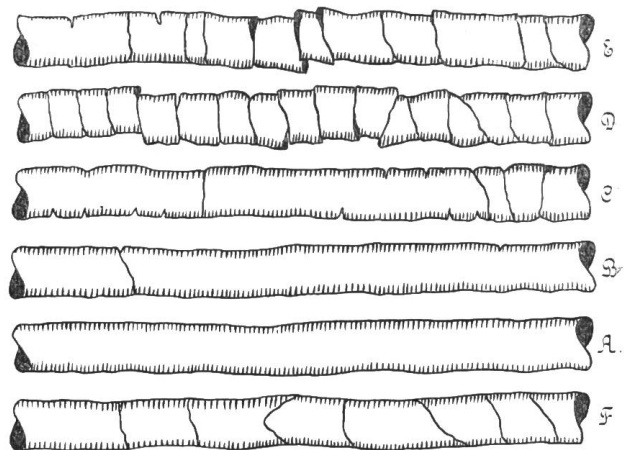


Abbildung 14. Mikroskopische Präparate von Tantal- und Wolfram-Fäden.

Man sieht, dass der Faden nicht im entferntesten die Zerklüftungen zeigt, die die Tantal-fäden *C, D* und *E* bei viel früherer Brenndauer schon zeigten, sondern man sieht nur leichte Furchen an der Oberfläche des Fadens. Derartige Fäden ergeben, wie auch Abbildung 11 zeigt, Brenndauern bis über 2000 Stunden bei Wechselstrom und normalen Periodenzahlen und es wäre nicht zu wünschen, dass Wolframlampen:

weder bei Gleichstrom noch bei Wechselstrom noch wesentlich länger als 2000 Stunden brennen, denn dann könnten alle Glühlampenfabriken ihre Tore schliessen und ihre Arbeiter und Ingenieure eines sanften Hungertodes sterben.

Eine andere Frage, die bei Wechselstrom interessant ist, ist die Frage, ob sich Wolframlampen bei 25 Perioden brennen lassen. Bekanntlich lässt sich eine 16-kerzige Kohlenfadenslampe ganz gut noch bei 25 Perioden verwenden und die 25 Periodennetze besitzen ja eine gewisse Bedeutung bei elektrischen Bahnen. Eine neuere amerikanische Untersuchung kommt zu dem Schlusse, dass bei 25 Perioden und 110 Volt eine Wolframlampe von 25 Kerzen unerträglich flimmert; eine 40-kerzige flimmert noch bemerkbar, während man bei 25 Perioden an einer 50-kerzigen Wolframlampe von Flimmern nichts mehr bemerkt. Dieses Resultat ist natürlich, denn je höher bei derselben Spannung die Kerzenzahl einer Lampe, desto dicker ist ihr Faden und eine desto grössere Wärmekapazität besitzt er. Er wird sich daher bei den Strompulsationen in jeder Periode des Wechselstroms weniger schnell abkühlen und sein Licht daher weniger schwanken.

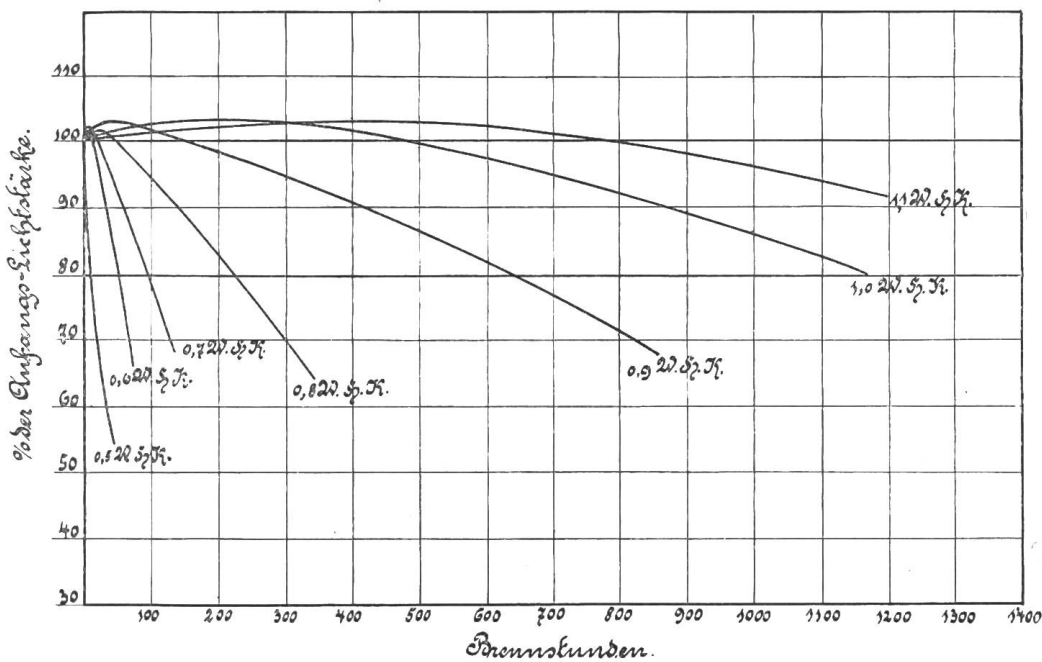


Abbildung 15. Abhängigkeit der Lichtstärke von der Brenndauer bei verschiedenen Fadenbelastungen nach Libesny.

Wir haben bis jetzt das betrachtet, was die Technik leisten kann, und wollen nun die Aussichten betrachten, die sich bei weiteren Verbesserungen der Glühlampen eröffnen. Viele Leute sind ja heute gar nicht mehr zufrieden mit 1- bis 1,2-wattigen Lampen, sondern verlangen schon nach 0,7- und sogar 0,5-wattigen Lampen. Man liest auch gelegentlich Annoncen über 0,7- bis 0,9-wattige Lampen. In dieser Beziehung sind die klassischen Kurven von *Libesny* gemäss Abbildung 15 sehr lehrreich. Hieraus geht hervor, dass mit steigender Belastung des Fadens die Brenndauer ganz rapid fällt; während die 1,0 Watt pro Kerze - Lampe eine Mindestbrenndauer von 1160 Stunden und mehr ergibt, ergibt die 0,8 Watt pro Kerze - Lampe nur eine absolute Lebensdauer von ca. 330 Stunden. Diese Resultate sind auch natürlich, denn jede höhere Strombelastung des Wolframfadens bringt ihn seinem Schmelzpunkt näher und befördert die frühzeitige Zerstäubung des Fadens. Solange man jedoch zur Herstellung von Glühfäden nicht Metalle verwenden kann, die einen höheren Schmelzpunkt als Wolfram haben, ist in dieser Hinsicht kaum ein Fortschritt zu erwarten. Trotzdem können wir mit den erzielten Fortschritten gegenüber dem Stande der Beleuchtungstechnik vor fünf Jahren sehr zufrieden sein, denn in der Wolframlampe ist eine Lichtquelle geschaffen, welche gegenüber der alten Kohlenfadenslampe für die meisten Verhältnisse eine Verbilligung des Lichtes um 60 bis 70 % bedeutet und daher geeignet ist, das von der arbeitenden Menschheit empfundene Prinzip des wachsenden Lichtbedürfnisses auch praktisch zu befriedigen.

