

Forscher und Erfinder des 19. Jahrhunderts als Wegbereiter der Lichttechnik und der Elektrizitätsversorgung

Autor(en): **Wüger, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **71 (1980)**

Heft 6

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-905238>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Forscher und Erfinder des 19. Jahrhunderts als Wegbereiter der Lichttechnik und der Elektrizitätsversorgung

Von H. Wüger

Es wird gezeigt, wie sich die elektrische Beleuchtung bis zur Glühlampe entwickelte. Das Bedürfnis, Energie über grössere Entfernungen fortzuleiten, führte von den einfachen Gleichstrom-Blockstationen für Beleuchtung über Wechselstrom und Drehstrom zu lokalen Elektrizitätswerken, die später auch Antriebsenergie lieferten. Durch Zusammenwachsen und Zusammenschliessen entstand schliesslich das den ganzen Kontinent überspannende Verbundnetz.

1. Einleitung

1601 gab der englische Arzt William Gilbert der Elektrizität ihren Namen. Otto von Guericke beobachtete an der von ihm erfundenen Elektriermaschine Leuchterscheinungen, und Leibniz konnte mit dieser Maschine Funken erzeugen (Fig. 1). Benjamin Franklin erkannte, dass der Blitz und die an der Elektriermaschine beobachteten Funken die gleiche Erscheinung sind.

Nur tastend ging die Entwicklung weiter. Den Entdeckungen und Erfindungen Galvanis und Voltas um 1800 folgten schon bald Erfindungen in der Nachrichtentechnik, für die die damals verfügbaren Energiequellen notdürftig genügten. 1833 hatten Gauss und Weber den Telegraphen erfunden, den Steinheil drei Jahre später verbesserte. 1852 führte Philipp Reis sein Telefon vor, das als Jahrmarktattraktion abgetan wurde. Erst 24 Jahre später erhielt Graham Bell das Patent auf ein Telefon.

1792 wurde die Fabrik von Watt & Bolton mit Gasflachbrennern beleuchtet. Vor allem in Städten eroberte sich diese Lichtquelle ein breites Feld und beherrschte viele Jahrzehnte die Szene. Daneben spielten Öl, Kerzen und etwa von 1870 an das Petrol eine wichtige Rolle.

2. Bogenlicht ruft der «Teilung des Lichtes»

Der Gedanke, Licht mit Elektrizität zu erzeugen, tauchte schon früh auf. Aber die Entwicklung wurde arg gehemmt, weil keine leistungsfähigen Energiequellen verfügbar waren. Der englische Chemiker Humphrey Davy (Fig. 2) hatte sich für seine elektrochemischen Versuche eine Riesebatterie mit 1000 Elementen gebaut. 1813 zeigte er damit vor der Royal Society erstmals einen elektrischen Lichtbogen (Fig. 3) zwischen zwei Kohlestäbchen und erregte damit grosses Aufsehen.

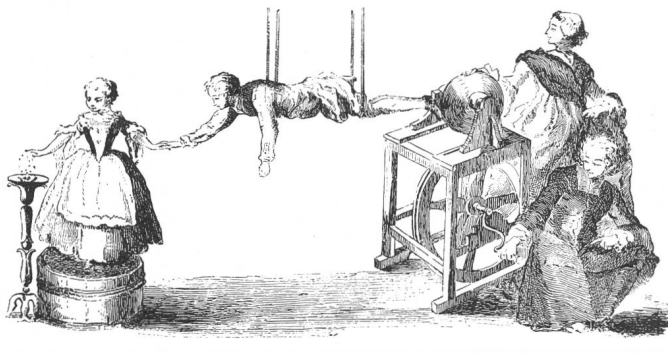


Fig. 1 Elektriermaschine von Otto von Guericke (Diese wurde im 18. Jahrhundert in den Salons zu belehrenden und belustigenden Experimenten verwendet)

L'auteur présente l'évolution de l'éclairage électrique jusqu'à la lampe à incandescence. L'énergie électrique devant être transportée à des distances croissantes, on passa des simples groupes électrogènes produisant du courant continu pour l'éclairage, au courant alternatif et au courant triphasé, puis aux centrales électriques locales qui, par la suite, produisirent également de l'électricité comme force motrice. La jonction et le raccordement des lignes conduisit finalement au réseau d'interconnexion qui recouvre aujourd'hui tout le continent.

Dem durch seine Pendelversuche berühmt gewordenen französischen Physiker Léon Foucault (Fig. 4) gelang 1848 erstmals der Bau einer brauchbaren Bogenlampe. Innert etwa eines Jahrzehnts errang sie eine beachtliche Verbreitung zur Beleuchtung von Plätzen, breiten Strassen, Bahnhöfen und grossen Werkhallen. Anfänglich benötigte man für jede Lampe eine Dynamomaschine niederer Spannung. Später schaltete man einige Lampen in Serie. All diese Lampen waren mit einer automatischen Kohlennachschiebeinrichtung versehen. Obwohl man auch Kleinbogenlampen baute, waren Bogenlampen für Wohnungen und Kontore – so nannte man damals die Büros – absolut ungeeignet. Ihre Lichtfülle war zu gross, das Licht brannte unruhig, und die Lampen bedurften täglich einer zeitraubenden Wartung (Kohlenwechsel, Reinigen des grossen Glasballons). Daher war der



Fig. 2
Humphrey Davy
(1778-1829)

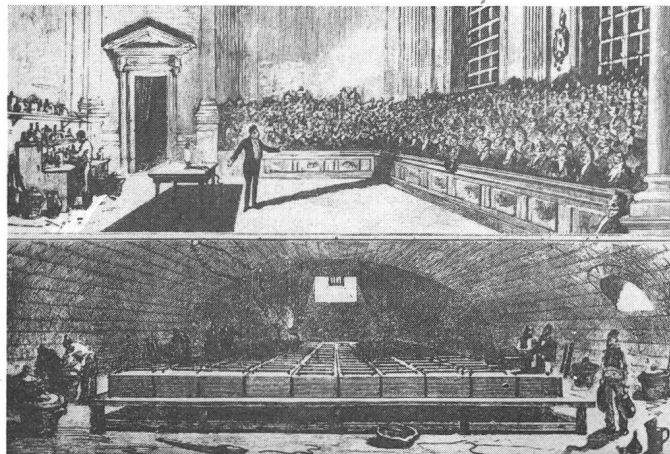


Fig. 3 Lichtbogenexperiment von H. Davy (oben Hörsaal, darunter die Riesebatterie)



Fig. 4
Léon Foucault
(1819-1868)



Fig. 5
Heinrich Goebel
(1818-1893)



Fig. 6
Pawel Nik. Jablochhoff
(1847-1894)

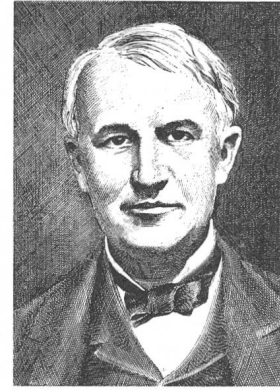


Fig. 7
Thomas Alva Edison
(1847-1931)

Ruf nach «Teilung des Lichtes» weltweit hörbar. Mit Gas war dieses Problem zwar lösbar, aber die geringe Lichtstärke, die Feuergefahr und die Luftverschlechterung waren nachteilig.

An Versuchen, die Teilung des Lichtes auch elektrisch zu lösen, fehlte es nicht. Schon 1845 gelang es dem Engländer Grove, einen Platindraht während einiger Zeit im Vakuum zum Glühen zu bringen. Doch Platin war viel zu teuer. Heinrich Goebel (Fig. 5), 1818 in Deutschland geboren, wanderte mit 30 Jahren nach den USA aus. Als Uhrmacher, Optiker und Barometermacher eröffnete er in New York einen Laden. Er hatte sich schon in seiner Heimat für Elektrizität interessiert und eifrig gebastelt. Um für sein Geschäft zu werben, baute er sich eine Bogenlampe, die er eines Nachts auf dem Dach seines Hauses in Betrieb setzte. Die Nachbarn vermuteten einen Brand und alarmierten Feuerwehr und Polizei. Goebel wurde wegen Unfug bestraft und musste sich etwas anderes einfallen lassen.

3. Erste Glühlampen

Goebel erinnerte sich an die Grove-Lampe und versuchte, den teuren Platindraht durch etwas Billigeres zu ersetzen. Nach vielem Pröbeln gelang es ihm, eine verkohlte Bambusfaser zwischen zwei Eisendrähten aufzuhängen und das Ganze in ein Glasrohr einzubauen. Dieses machte er wie ein Barometerrohr luftleer, indem er es mit Quecksilber füllte, umkippte und den nun luftleeren Teil mit dem Glühfaden abschmolz. Den Strom erzeugte er mit Elementen. Solche Lampen – er baute sie nur für den Eigenbedarf – leuchteten eine Zeitlang als wirksamer Blickfang in Goebels Schaufenster. Das war 1854. Er zeigte die Lampen auch wie ein Schausteller in der Stadt, aber er unterliess es, obwohl ihn Bekannte dazu aufgefordert hatten, sich um ein Patent zu bewerben. So geriet die Goebel-Lampe in Vergessenheit.

1860 experimentierte J. W. Swan in Newcastle upon Tyne mit einer Glühlampe, bei der ein aus Papier und Holzkohle gefertigter Faden in einem luftleer gepumpten Glas angeordnet war. Der Versuch scheiterte, weil die Elemente zu wenig Strom lieferten und den Faden nur rotglühend machten.

Das Jahr 1876 brachte dann die Jablochhoff-Kerze. Diese bestand aus zwei senkrecht nebeneinander stehenden, gegeneinander isolierten Kohlestäben. Damit die beiden Kohlen gleichmässig abbrannten, verwendete man Wechselstrom. In Paris, wo Jablochhoff (Fig. 6) lebte, wurden einige Strassen mit dieser Beleuchtung eingerichtet. Bei der ersten elektri-

schen Lichanlage in der Schweiz, die Hotelier Padrutt 1878 im Kulmhotel in St. Moritz installieren liess, verwendete er ebenfalls Jablochhoff-Kerzen. Auch in einem Hotel in Zug sollen solche in Betrieb gewesen sein. Diese Kerzen stellten aber natürlich nicht die lange gesuchte Lösung für die Teilung des Lichtes dar.

Dieser Auffassung war auch der New Yorker Jurist Lowrey, der die Jablochhoff-Kerzen an der Pariser Weltausstellung von 1878 gesehen hatte. Er gründete eine Gesellschaft, die dem Erfinder Edison den Auftrag erteilte, eine geeignete Lampe zu entwickeln.

4. Edisons Kohlefadenlampe und sein Energieverteilungssystem

In nur 13 Monaten gelang es Edison (Fig. 7), unterstützt von vielen Mitarbeitern, den Auftrag zu erfüllen. Mit nie gesehener Gründlichkeit und nicht erlahmender Ausdauer wurden Tausende von Materialien auf ihre Eignung geprüft. Am 21. Oktober 1879 war es dann soweit (Fig. 8). Aus verkohlten Bambusfasern und Baumwollfäden hatte er einen Glühfaden hergestellt, der in einem luftleer gepumpten Glaskolben auf eine Brenndauer von 45 Stunden kam. Am Neujahr 1879/80 führte Edison seine Glühlampen mit einer grossen Festbeleuchtung im Menlo-Park vor.

Ein Glaskolben mit zwei herausstehenden Drähten löste aber die Probleme noch nicht. Edison schwebte ein neues Energieverteilungssystem vor. Die elektrische Energie sollte als Gleichstrom mit einer Spannung von etwa 60...110 V in Zentralstationen erzeugt und von dort aus zu den Verbrauchern geleitet werden. Im Gegensatz zu den Bogenlampen

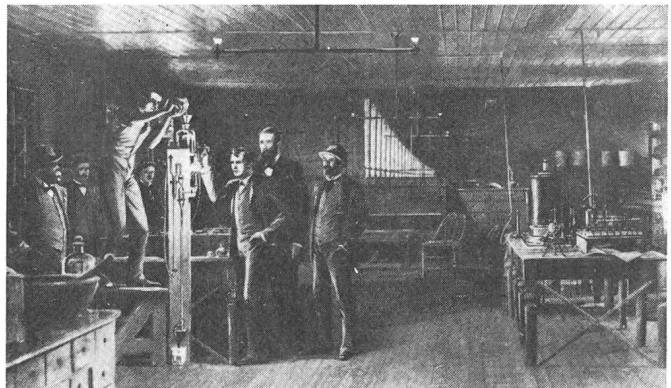


Fig. 8 Vorführung der ersten brauchbaren Kohlenfadenlampe im Laboratorium durch Edison

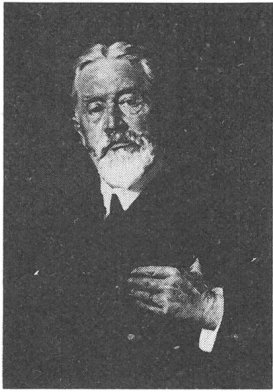


Fig. 9
Sigmund Bergmann
(1851-1927)



Fig. 10
Werner von Siemens
(1816-1892)

sollten die Glühlampen parallel ans Netz angeschlossen werden, so dass jede Lampe unabhängig von den andern ein- und ausgeschaltet werden konnte.

Um die Glühlampe manipulierbar zu gestalten, entwarf er zusammen mit seinem Mitarbeiter Bergmann (Fig. 9) den Gewindefassung und die Schraubfassung, Elemente, die bis auf den heutigen Tag im Gebrauch sind. Ebenfalls mit Bergmann konstruierte er Schalter, Stecker und Sicherungen für Niederspannung, während andere Assistenten die Rollenmontage der Installationsdrähte, Kabel, Freileitungen, einen chemisch wirkenden Zähler, einfache Schutzeinrichtungen sowie Messgeräte ersannen und bauten. Bergmann machte sich dann selbständig, erhielt aber laufend Aufträge von Edison. Ein Schlager wurde das Bergmann-Rohr, das auch heute noch, allerdings seltener, verwendet wird.

1866 hatte Werner Siemens (Fig. 10) das dynamo-elektrische Prinzip erfunden und damit der Welt ein praktisch unbegrenztes Leistungspotential eröffnet. Aber bis aus Siemens' kleinem Demonstrationsmodell grosse Generatoren entwickelt waren, verstrichen Jahre. Edison baute Generatoren, die direkt mit schnelllaufenden Dampfmaschinen gekuppelt werden konnten.

Nur andeutungsweise zu erwähnen sind hier auch Arbeiten für grössere und bessere Primärmotoren. Bei den Wasserturbinen wären zu nennen die Franzosen Burdin, Fourneyron, Jonval, Girard, die Amerikaner Francis und Pelton und schliesslich der Österreicher Kaplan, denen es gelang, immer bessere Maschinen zu bauen.

Zu den Dampfturbinen gehören die Namen des Engländers Parsons, des Schweden de Laval, des Amerikaners Curtis sowie schliesslich des Schweizerers Zoelly.

5. Ausstellungen verhelfen dem Glühlampenlicht zum Durchbruch

An der Elektrizitätsausstellung von 1881 in Paris wirkte die Edison-Beleuchtung mit Hunderten von Glühlampen als *die* Sensation und als Fanal zu einem unbeschreiblichen Siegeslauf des elektrischen Lichtes. An der New Yorker Börse fiel der Kurs der Gasaktien. 1882 konnte Edison in New York an der Pearl Street die erste Zentralstation in Betrieb setzen (Fig. 11). Sie versorgte anfänglich 85 Häuser (Geschäfte, Hotels und Privathäuser) mit zusammen 2300 Lampen in Niederspannung. Zwei Jahre später waren es 500 Häuser mit 11 000 Lampen. Ein Generator von 32 PS Leistung vermochte 255 Lampen zu 16 Kerzen zu speisen.

Auch der Deutsche Emil Rathenau (Fig. 12) hatte sich die Pariser Ausstellung angesehen. Um auch in seinem Land elektrische Beleuchtungen einzuführen, gründete er 1883 die Deutsche Edison-Gesellschaft, die später zur AEG wurde. Rathenau fabrizierte Glühlampen nach Lizenzen von Edison, verpflichtete sich aber, die Generatoren von Siemens zu beziehen. Siemens seinerseits stellte Glühlampen nach Lizenzen des Engländers Swan her, dem am 20. Oktober 1880, also fast auf den Tag genau ein Jahr nach Edison, ebenfalls die Herstellung von Kohlenfadenlampen gelungen war und die er mit Bajonettfassungen versah. Während die Swan-Glühlampe als eigenständige Entwicklung anerkannt wurde, gab es bald viele kleine Firmen, die die Edison-Lampe kopierten. Das Edison-Patent ging bald an die General Electric Co. über, und diese Gesellschaft strengte ab 1892

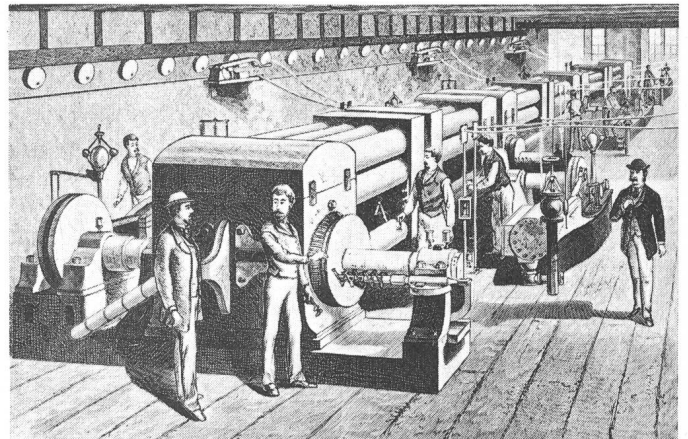


Fig. 11 Edisons erste Blockstation an der Pearl-Street (in der Nähe der Wall-Street) in New York

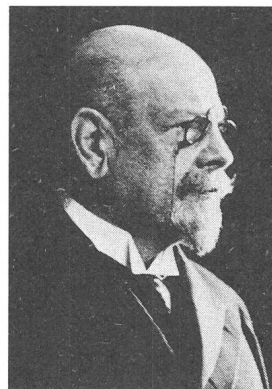


Fig. 12
Emil Rathenau
(1838-1915)

gegen die Patentverletzer Prozesse an, die sie auch regelmässig gewann. Einen etwas andern Verlauf nahm der Rechtsstreit gegen die Beacon Vacuum Pump and Electric Company in Boston. Diese Gesellschaft hatte sich 1881 mit Goebel in Verbindung gesetzt und von ihm einige seiner Lampen bekommen (Fig. 13). Sie stellte sich auf den Standpunkt, die Edison-Patente nicht verletzt, sondern aufgrund von Goebels Erfindung gearbeitet zu haben. Goebel wurde als Zeuge vors Gericht zitiert, wies nicht nur einige seiner früher hergestellten Lampen vor, sondern zeigte auch vor dem Gericht und den Experten, wie er seine Lampen anfertigte. Diesen Prozess verlor General Electric. Goebel zog keinen Nutzen daraus, freute sich aber sehr über die Anerkennung seiner Priorität. Im Dezember des gleichen Jahres 1893, da er dieses Glück erlebte, starb er.

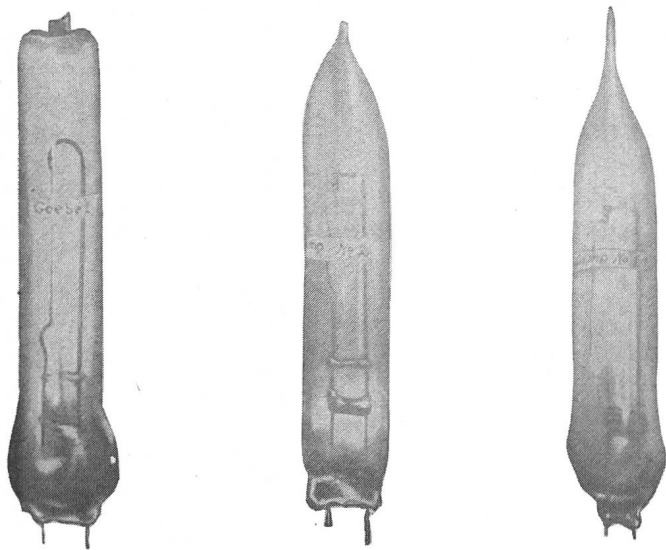


Fig. 13 Von Heinrich Goebel im Jahre 1854 gebaute elektrische Kohlefadenlampen

6. Das Energietransportproblem

Die Pariser Ausstellung von 1881 wirkte ansteckend. Oskar Miller (Fig. 14) veranstaltete schon 1882 eine ähnliche Ausstellung in München. Aber er wollte dort zeigen, dass sich elektrische Energie über grosse Entfernungen transportieren lässt. Deprez, der auch in Paris mitgewirkt hatte, richtete unter Benützung einer 57 km langen eisernen Telegraphenleitung zwischen Miesbach und München eine Übertragung ein. Sie funktionierte, wies aber nur einen Wirkungsgrad von 25 % auf.

Überall machten sich die Grenzen einer Energieverteilung mit Gleichstrom bemerkbar. Mehr als ein paar hundert Meter liessen sich nicht befriedigend meistern. Mit dem allmählichen Anheben der Glühlampenspannung von 60 auf 110 V wurden die Verhältnisse etwas besser, aber eine grundsätzliche Lösung des Problems war das noch nicht.

7. Wechselstrom

Angeregt durch die Versuche Deprez' beschäftigte sich der Franzose Lucien Gaulard (Fig. 15) mit dem Problem der Fernübertragung. Er verwendete Wechselstrom und erstellte in London eine Beleuchtungsanlage, bei der eine Leistung von 30 kW längs der 25 km langen, dampfbetriebenen Untergrundbahn verteilt wurde. Er setzte dabei in Serie

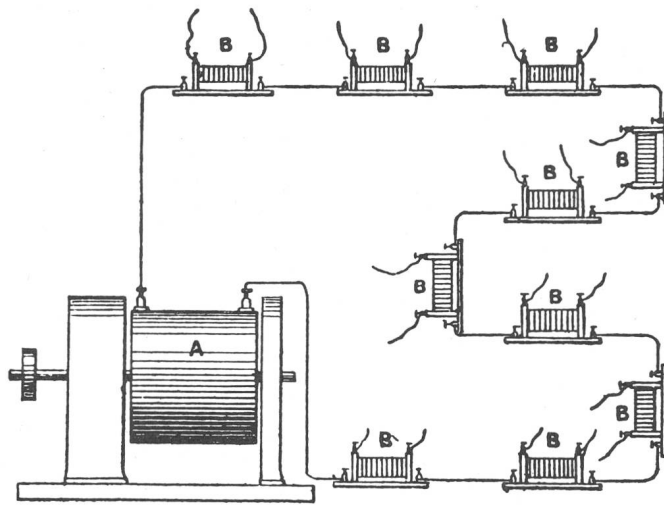


Fig. 16 Schema von Gaulards Wechselstromanlage Torino-Lanzo (1884)

geschaltete Transformatoren ein, die er «générateurs secondaires» nannte.

1884 setzte das Organisationskomitee der Elektrizitätsausstellung von Turin einen Preis aus für denjenigen, der praktisch zeige, dass sich elektrische Energie mit mässigen Verlusten über grössere Entfernungen transportieren lasse.

Erst am letzten Tag der Ausstellung gelang es Gaulard, seine Demonstrationsanlage in Betrieb zu setzen, bei der ein in Turin aufgestellter 2000-V-Wechselstromgenerator für eine Frequenz von 133 Hz eine etwa 80 km lange einpolige Ringleitung von Turin über Lanzo und zurück speiste (Fig. 16). Die Beleuchtungsanlagen der Bahnstationen waren auch hier mit in Serie geschalteten «Sekundärgeneratoren» mit offenem magnetischem Kreis angeschlossen. Der im Preisgericht amtierende Professor Ferraris stellte einen Wirkungsgrad von etwa 90 % fest, und Gaulard hatte den Preis gewonnen.

Unter den Besuchern der Turiner Ausstellung befanden sich auch drei Ingenieure der Budapester Firma Ganz & Co. (Ganz war Schweizer und stammte aus Embrach). Es waren die Herren Blathy, Déri und Zipernowsky (Fig. 17), die sich intensiv mit Energietransportproblemen befassten. Sie erkannten, dass man es besser machen kann als Gaulard,

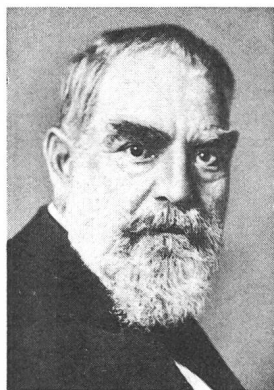


Fig. 14 Oskar von Miller (1855–1934)



Fig. 15 Lucien Gaulard (1850–1888)

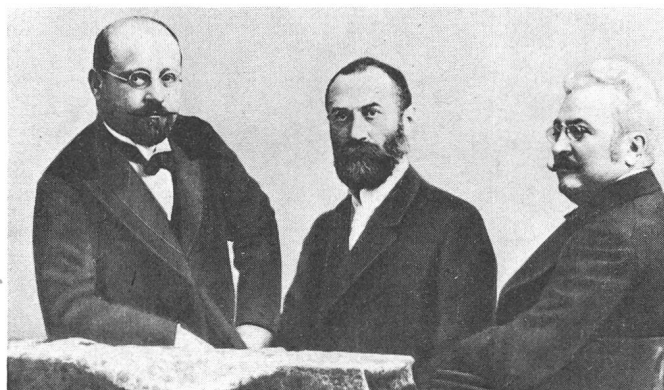
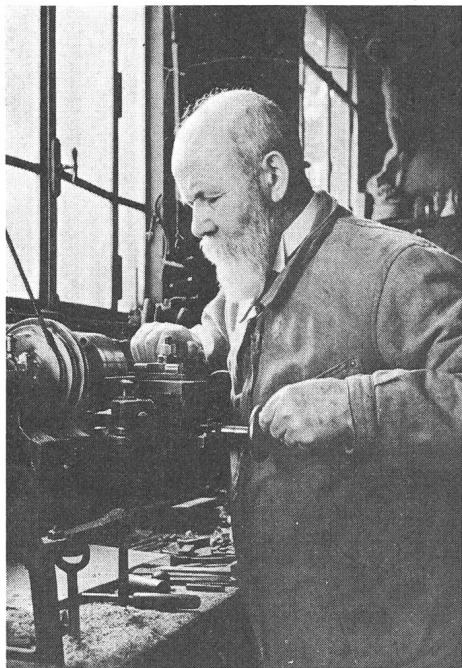


Fig. 17 Die Ingenieure Déri, Blathy und Zipernowsky der Firma Ganz & Co. in Budapest

Fig. 18
René Thury
(1860–1938)



indem man den magnetischen Kreis der Sekundärgeneratoren schliesst und diese parallel ans Netz anschliesst. Sie schufen auch den Namen «Transformatoren». An weiteren Ausstellungen in Wien und Budapest zeigten sie solche Anlagen und ernteten damit viel Erfolg. Erste Anlagen dieser Bauart entstanden 1886 in Luzern (Thorenberg) und in Rom.

Nun war die Fachwelt in zwei Lager gespalten. Die einen verfochten den Gleichstrom, vor allem, weil er in Akkumulatorenbatterien gespeichert werden kann, die andern den Wechselstrom, weil man ihn auf höhere Spannungen transformieren und fernleiten kann. Zu den erstern gehörten u. a. Edison, Siemens und der bei Edison geschulte Schweizer René Thury (Fig. 18).

Dieser Thury war unter den Gleichstromleuten der Konsequente. Er entwickelte das nach ihm benannte Gleichstrom-Hochspannungs-Übertragungssystem. Bei diesem sind die Generatoren und Motoren in Serie geschaltet und arbeiten mit konstantem Strom, aber veränderlicher Spannung. Die erste derartige Anlage entstand 1893 bei Genua, die letzte und grösste übertrug 1929 rund 15 MW bei einer Spannung von 100 000 V und einer Stromstärke von 150 A von Moûtiers (Salins) über die Entfernung von etwa 140 km nach Lyon.

8. Drehstrom

Sprach man Anfang der 90er Jahre von Wechselstrom, so verstand man darunter stets Einphasen-Wechselstrom. Für diesen setzten sich die Firma Ganz & Co. in Budapest sowie natürlich Gaulard und Professor Ferraris ein, der die von Gaulard erstellte Anlage Turin–Lanzo begutachtet hatte. Bei der Weiterverfolgung jener Arbeit hatte Ferraris 1884/85 bemerkt, dass bei der Berechnung der Leistung eines Wechselstromes die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung berücksichtigt werden muss. Ferner entdeckte er, dass zwei phasenverschobene Ströme gleicher Frequenz ein Drehfeld erzeugen. Das führte ihn 1885 zur Erfindung des Induktionsmotors. Er mass aber dieser Sache keine sehr grosse Bedeutung bei, und wegen anderer, dringender

Arbeiten veröffentlichte er seinen Bericht darüber erst im Jahre 1888.

Unterdessen hatte Nicola Tesla, ein nach Amerika ausgewandeter Jugoslawe (Serbe) unabhängig von Ferraris die gleiche Entdeckung gemacht und in seiner Werkstatt 1887 den Prototyp eines Dreiphasenmotors gebaut. Als weitere Anwendungen des Drehfeldprinzips kamen später der Drehfeldanzeiger und der Induktionszähler hinzu. Den ersten derartigen Zähler konstruierte – ebenfalls unabhängig von Ferraris – 1887/88 der Schweizer François Borel, seines Zeichens dipl. Bauingenieur der ETH.

Als man 1890 in Frankfurt am Main ein Elektrizitätswerk plante, waren die Fachleute uneinig. Gleichstrom, Einphasen- und Dreiphasenwechselstrom standen zur Wahl. Die Elektrotechnische Gesellschaft Frankfurt empfahl den Stadtbehörden, eine elektrotechnische Ausstellung zu veranstalten und erst aufgrund der dort gezeigten Lösungen zu entscheiden. Als Organisator und Leiter der Ausstellung berief man Oskar Miller, der sich in München einen Namen gemacht hatte.

Der Chefkonstrukteur der AEG, Michael Dolivo-Dobrowolsky (Fig. 19), prägte für den Dreiphasenstrom den Namen «Drehstrom». Er hatte 1889 den ersten betriebstüchtigen Käfigankermotor sowie einen Schleifringankermotor für Drehstrom gebaut. Emil Rathenau, der Leiter der AEG, war von diesen Neuerungen hell begeistert, und als Miller ihm vorschlug, für die Frankfurter Ausstellung eine Kraftübertragungsanlage zu erstellen, stimmte er zu. Miller kannte auch eine geeignete und verfügbare Wasserkraft am Neckar, so dass das Projekt Gestalt annahm. Da Siemens als Gleichstromanhänger nicht zu einer Zusammenarbeit bereit war, wandte sich Rathenau an die Maschinenfabrik Oerli-



Fig. 19
Michael von Dolivo Dobrowolsky
(1862–1919)



Fig. 20
Peter Emil Huber-Werdmüller
(1836–1915)



Fig. 21
Charles Eugen Lancelot Brown
(1863–1924)

kon. Ihr Leiter, Huber-Werdmüller (Fig. 20), war für eine Gemeinschaft bereit und betraute den Chef der elektrischen Abteilung der MFO, Charles Brown (Fig. 21), mit der Arbeit. Dieser entwarf und baute den Lauffener Generator, den ersten mit ölgekühltem Transformator, sowie die Fernleitung. Am 24. August 1891 kam die Übertragung von Lauffen am Neckar nach Frankfurt am Main in Betrieb. Ihre Kenndaten waren: Leistung $P = 210$ kW, Generatorspannung $U_g = 95$ V, Transformator 95/150 000 V, Frequenz $f = 40$ Hz. Länge der Leitung 175 km.

Der Drehstrom-Übertragung von 1891 kommt epochemachende Bedeutung zu. Die Stadt Frankfurt allerdings entschloss sich damals trotzdem zum Einphasen-Wechselstrom. Sowohl in Europa als auch in Amerika wurden weiterhin Anlagen mit Gleich-, Einphasen- und Zweiphasen-Wechselstrom erstellt. Erst um die Jahrhundertwende setzte sich der Drehstrom als wirtschaftlichstes Energieübertragungssystem weltweit durch.

9. Elektrische Antriebe kommen auf

Unter den Elektrizitätsanwendungen spielte die Beleuchtung damals noch die Hauptrolle. Zwar hatte Werner Siemens an der Gewerbeausstellung von 1879 zu Berlin eine kleine Bahn gezeigt und zwei Jahre später zwischen Berlin und Lichterfeld die erste elektrische Strassenbahn eingerichtet. Es dauerte dann etwa zehn Jahre, bis solche Trambahnen in Städten zur Regel wurden und die Pferdebahnen verschwanden. Nachher entstanden, besonders auch in der Schweiz, viele Überland- und Bergbahnen, die wie die Trambahnen meist mit Gleichstrom betrieben wurden. BBC baute verschiedene berühmte Drehstrom-Bergbahnen (z. B. auf das Jungfraujoch).

Als Auer von Welsbach 1891 seinen verbesserten Gasglühstrumpf vorstellte, kam es zu einer vorübergehenden Renaissance der Gasbeleuchtung. Mit der wenige Jahre später erfolgenden Erfindung der Metallfadenlampe versetzte ihr aber Auer selber wieder den Todesstoss.

Das Aufkommen des Drehstromes änderte die Verhältnisse rasch. Der einfache Asynchronmotor leitete eine

stürmische Motorisierung der Industrie und des Gewerbes ein, anfänglich mit Transmissionen, später mehr und mehr mit Einzelantrieben. Damit hatte das Licht seine Vorrangstellung verloren, und die Werke wurden auch tagsüber betrieben.

Noch Ende des vergangenen Jahrhunderts handelte es sich bei allen Elektrizitätswerken um Inselbetriebe, angefangen bei kleinen Fabriken bis hin zu Versorgungen von Dörfern und Städten. Dabei waren in den Siedlungen stets nur einzelne Häuser und Betriebe mit Strom versorgt.

Einen elektrischen Anschluss zu besitzen bedeutete noch lange ein Privileg. Die Freileitung zum Haus kam daher einem Statussymbol gleich und war gar nicht unerwünscht. Mit zunehmender Verbreitung der Elektrizität wurden die Leitungen zahlreicher, Strom zu haben wurde selbstverständlich.

10. Versorgungssicherheit und Normung

Auf Luxus kann man im Notfall verzichten, nicht aber auf ein Allgemeingut. Weil bei Wasserkraftanlagen im Winter und während Trockenperioden Mangellagen entstanden, mussten immer mehr kalorische Reserveanlagen erstellt werden; es handelte sich meist um sogenannte Gasmotorenanlagen.

Mit dem Wachsen der Leitungsnetze kam der Moment, wo sich verschiedene Netze berührten. Fragen des Zusammenschlusses und der gegenseitigen Aushilfe tauchten auf. Doch standen solchen Bestrebungen oft verschiedene Netzdaten hindernd im Weg, variierten die Frequenzen doch zwischen 40 und 60 Hz, die Niederspannungen zwischen 90 und 190 V und die noch bescheidenen Hochspannungen von 2 bis gegen 10 kV. Diese Zustände riefen gebieterisch nach Vereinheitlichung und Normung, einem Prozess, der bis in die Gegenwart aktuell geblieben ist.

Adresse des Autors:

H. Wüger, dipl. Ing. ETH, a. Direktor der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Baldernstrasse 15, 8802 Kilchberg.