

Aus der Geschichte der Elektrotechnik

Autor(en): **Hübschmann, Werner**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **53 (1982)**

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-378145>

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.

Aus der Geschichte der Elektrotechnik



Prof.
Werner Hübschmann,
Köln

An einem Beispiel aus der Geschichte der Starkstromtechnik wird gezeigt, dass ihr Lehrgegenstand die schöpferische Bewältigung von Problemen bilden soll.

Um die wichtigste Phase der Elektrischen Energietechnik, die in Deutschland die achtziger und neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts umfasst, zu verstehen, muss kurz an die Entdeckung der Grundphänomene der Elektrophysik erinnert werden.

1799/1800 *Galvanik*: Die Voltasche Säule, das ist eine Reihenschaltung von Volta-Elementen, je aus 2 verschiedenen Metallelektroden und einem Elektrolyten bestehend. Diese erste Spannungsquelle für Laboratorien liefert über längere Zeit konstante Ströme; sie ermöglichte Forschungsfortschritte mit der Elektrolyse: Entdeckung vieler chemischer Elemente. Davy demonstriert mit bis zu 2000 Volta-Elementen um 1820 elektrische Lichtbögen.

1820 *Oersted* weist den Zusammenhang der Kraftwirkung der Magnetfelder einer Kompassnadel und eines stromdurchflossenen Leiters nach. Fortschritte der Erkenntnis durch Ampere, Ohm, Kirchhoff u. a. bis zur Erfassung des Phänomens in Form von mathematischen Gesetzen.

1831 *Faraday*: Beobachtung der Magnetinduktion; allgemein gilt – mit unseren Worten: Durchsetzt ein sich ändernder Magnetfluss eine Spule, so entsteht an deren Enden eine Induktionsspannung.

1862 *Maxwell* liefert die Theorie der elektro-magnetischen Felder und die mathematischen Gleichungen dazu.

Zusammengefasst: Um die Mitte des 19. Jahrhunderts sind die Grundphänomene der Elektrodynamik erkannt.

Mit zeitlicher Phasenverschiebung erfolgte der Ausbau der Starkstrom-

technik, hierfür ist entscheidend die Übertragung der physikalischen Grundphänomene in technische Apparate und Maschinen. Anfangs geschah dies empirisch; der eigentliche Durchbruch in der Elektrotechnik aber kam erst mit der Möglichkeit der Berechenbarkeit der Maschinen.

Sturgeon lieferte 1825 den ersten Elektromagneten; ein hufeisenförmiger Eisenstab ist mit stromdurchflossenen Drahtwindungen umwickelt. Seine Zugkraft übertrifft die eines gleich grossen Dauermagneten um ein Vielfaches. Elektromagnete sind ab 1830 das Grundbauelement für eine Reihe von elektrotechnischen Apparaten: Klingel, Relais, Telegraf.

Für die Elektrische Energietechnik entscheidend wurde die technische Ausnutzung von Faradays Magnetinduktion im Generator. Das erste brauchbare Modell eines rotierenden Stromerzeugers lieferte Pixii 1832 (Abb. 1). Hierbei wird ein Stahlmagnet über einer feststehenden Induktionsspule gedreht; der Apparat liefert Wechselstrom; mit angebautelem Stromwender dann auch pulsierenden Gleichstrom (1833). Bei grösseren Aggregaten wurde später die Anordnung umgekehrt: Die Spule rotierte bei feststehenden Magneten. Von jetzt an beschäftigen sich Praktiker an verschiedenen Orten Europas mit der Konstruktion elektrischer Maschinen, die elektrischen Strom von bedeutender Stärke und Menge liefern sollten. Lenz wies schon 1833 darauf hin, dass eine derartige Erzeugungsmaschine (Gleichstromgenerator), umgekehrt mit elektrischem Strom aus galvanischen Elementen betrieben, mechanische Energie abgibt, also einen Elektromotor darstellt.

Derartige magnetelektrische Maschinen mit Permanentmagneten werden seit den 1840er Jahren vielerorts ge-

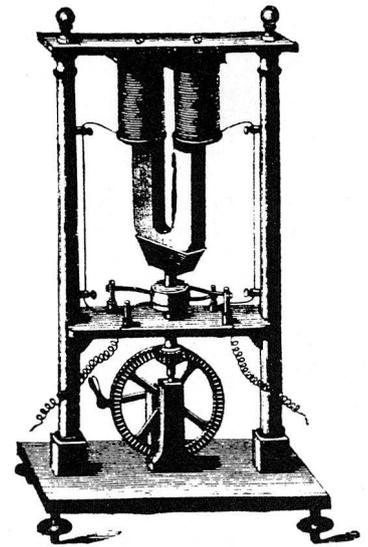


Abb. 1: Pixii: Modell, 1832.

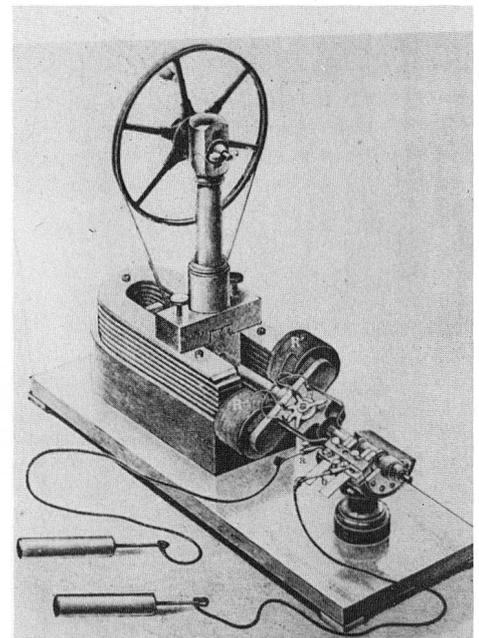


Abb. 2: Störer: magnet-elektrische Maschine, um 1840.

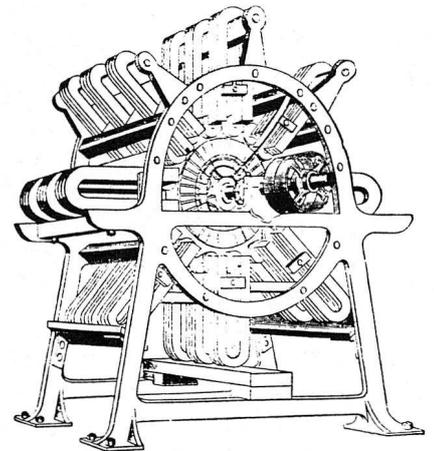


Abb. 3: Maschine der Alliance Ges. Paris, 1863.

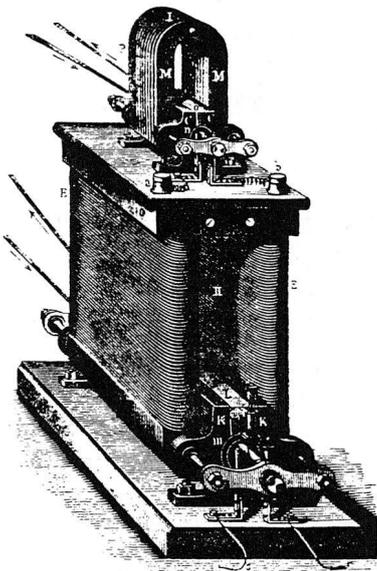


Abb. 4: Generator von Wilde, 1865/66.

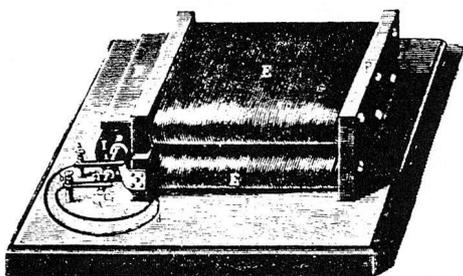


Abb. 5: Dynamo von Siemens, 1866.

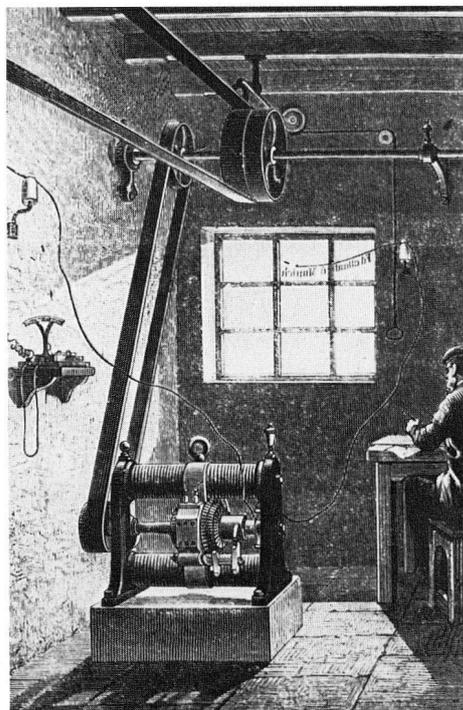


Abb. 6: Grammes dynamo-elektrische Maschine, 1871/72.

baut. Listenmässig bietet der Mechaniker Stöhrer, Leipzig, solche Maschinen als Spannungsquelle für galvanotechnische Zwecke für Versilbern und Vergolden (Abb. 2) und gleiche Maschinen als batterie-gespeiste Elektromotore für Drechselbänke an.

In der Folgezeit bemühte man sich um zwei Verbesserungen:
1. Minderung der Welligkeit des erzeugten pulsierenden Gleichstroms durch immer feinere Unterteilung der rotierenden Ankerspule und mehrteiligen Kommutator und
2. Verstärkung des wirksamen Magnetfeldes, um stärkere Induktionsströme zu erhalten. Hierzu wurde

a) die Anzahl der Festmagnete vervielfacht. (Vgl. Abb. 3, Maschine der Alliance Ges. Paris, sechziger Jahre, Vorarbeit Nollet, fünfziger Jahre);
b) der Festmagnet durch Elektromagnete ersetzt, diese wurden anfangs von galvanischen Batterien betrieben und schliesslich durch besondere Gleichstromerregemaschinen, z.B. von dem Engländer Wilde 1865/66 (vgl. Abb. 4).

Derartige magnetoelektrische Maschinen wurden damals in der Galvanotechnik und bei Leuchttürmen eingesetzt.

Weitere Fortschritte brachten die endlose Ringankerwicklung (von Pacinotti 1859/60) und schliesslich der Trommelanker (von Hefner-Alteneck 1872).

Die Felderregemaschine wurde überflüssig nach der Entdeckung des dynamo-elektrischen Prinzips durch Werner Siemens 1866 – gleichzeitig unabhängig durch die Engländer Varley und Wheatstone. Hierbei wird der remanente Magnetismus der Feldmagnete ausgenutzt. Mit Dynamomaschinen wird mechanische in elektrische Energie gewandelt. Vgl. erstes Modell (Abb. 5). Man hoffte damals, damit elektrische Ströme fast jeder Stärke und Spannung erzeugen zu können. Es war aber noch ein weiter Weg vom Entwurfsmodell bis zur Serienfertigung. Noch hinderte eine grosse Zahl technischer Kinderkrankheiten, insbesondere mechanischer und vor allem thermischer Art. Die Erwärmung der Maschinen, die anfangs noch mit

massivem Eisenkern erstellt wurden, war so stark, dass ein Dauerbetrieb unmöglich war und nur Wasserkühlung eine Selbstzerstörung der Wicklungen verhinderte. Die Ursache der Erwärmung – die Wirbelströme – physikalisch längst bekannt, wurde schrittweise gemindert dadurch, dass ab 1875 der Ankerkern aus Eisen-drähten, dann aus unterteilten Blechen mit Papierzwischenlagen gebaut wurde.

Der in Paris lebende Belgier Gramme verbesserte den Dynamo, er kombinierte den Ringanker mit Siemens' Dynamoprinzip (Abb. 6).

Auch Schuckerts Maschinen (ab Mitte der siebziger Jahre) bewährten sich; das gleiche gilt von den Maschinen von Oerlikon (vgl. Abb. 10 aus dem Jahre 1876).

Siemens & Halske nahm die laufende Fertigung von Dynamos mit seinem Standard-Modell D (Abb. 7) erst 1879 auf. 1880 wurde ein Generator für 1000 A/3,5 V für die Galvanikstation der Hüttenwerke Oker/Harz geliefert. Damit war der Dauerbetrieb bei grosser Stromstärke gesichert (Abb. 8).

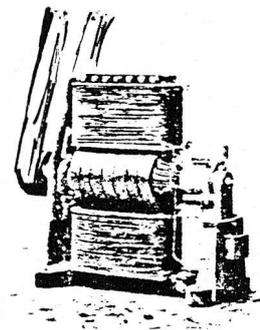


Abb. 7: Siemens & Halske-Modell «D» Dynamo, 1879.

Geschafft wurde die technische Lösung des Problems erst, als man die Theorie dieser dynamo-elektrischen Generatoren und Motoren beherrschte und diese Gleichstrommaschinen vorausberechnen konnte. Das war etwa um 1879/80 erreicht.

Die Internationale Elektrizitäts-Ausstellung 1881 in Paris steht ganz unter dem Eindruck der elektrischen Beleuchtung; Edison zeigt die Möglichkeiten mit seinen Glühlampen. Jetzt setzt in Europa die Nachfrage nach elektrischem Licht ein. Energiezen-

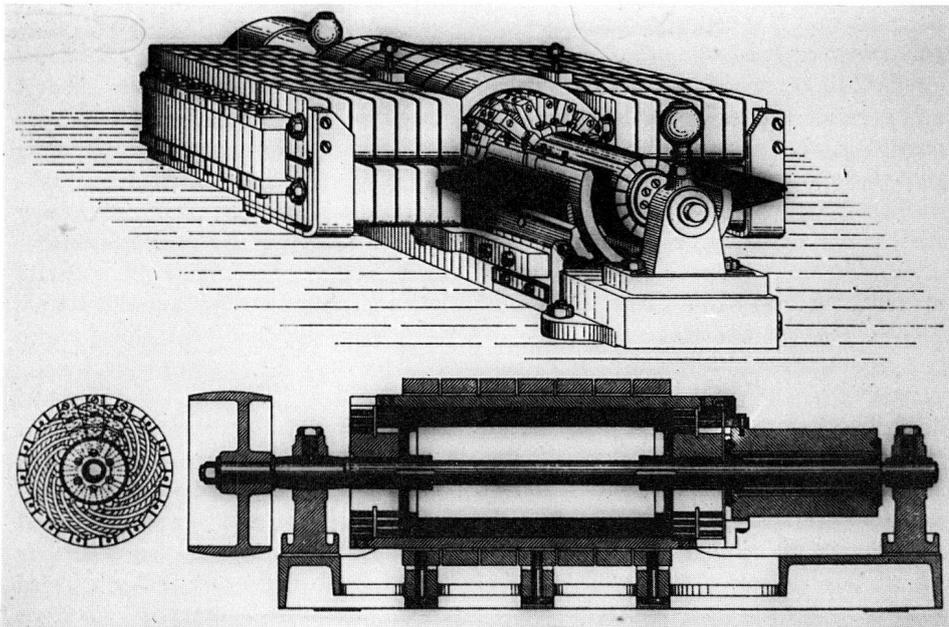


Abb. 8: S & H-Dynamo für 1000 A/3,5 V, 1879.

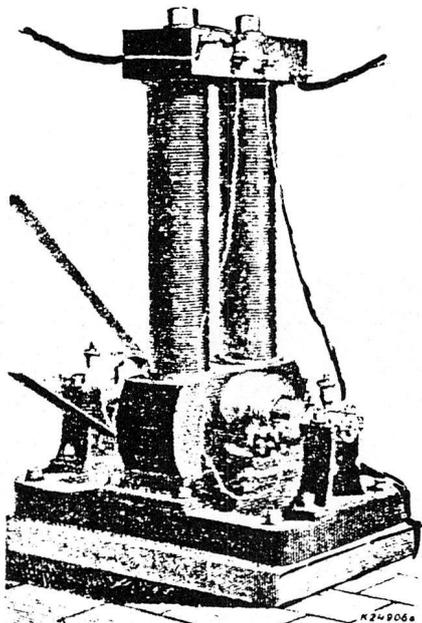


Abb. 9: Edison-Generator, anfangs auch AEG, um 1885.

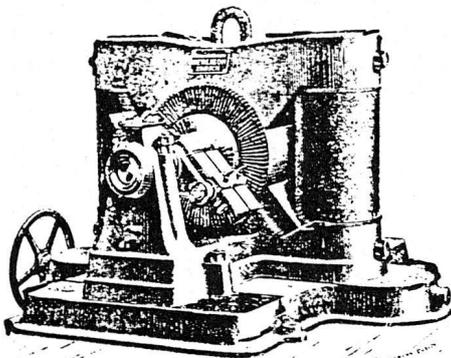


Abb. 10: Oerlikon-Generator, 1876.

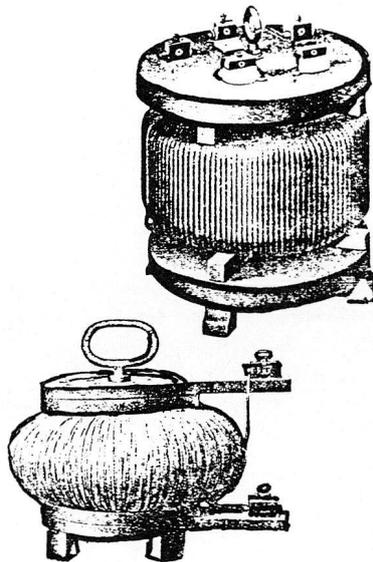


Abb. 11: Transformator von Ganz & Co., ab 1885.

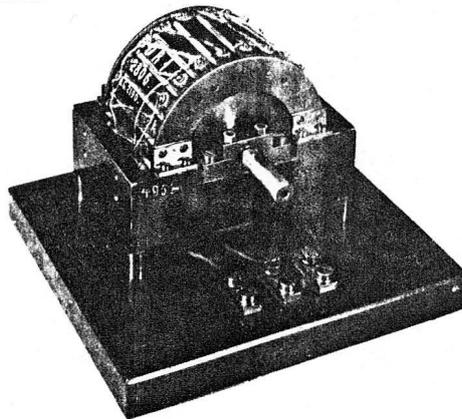


Abb. 13: Kurzschlussläufer v. Dolivo-Dobrowolsky, 1888/89.

tralen sind gefragt. Zuerst gab es nur kleine Blockstationen. Wegen des Spannungsabfalls an der Leitung kann der versorgte Umkreis nur relativ klein sein: bei 100 V Betriebsspannung war der Durchmesser etwa 1 km. Das erste deutsche städtische Elektrizitätswerk entstand 1884 in Berlin für Beleuchtung mit Glühlampen und Bogenlampen sowie Motorenanschluss.

Gleichstrom hatte besondere Vorteile: Speicherbarkeit in Akkus und die Verwendung der Dynamomaschine als Elektromotor. Aber diese Gleichstromanlagen hatten doch auch ihre Grenzen. In den Grossstädten wurden Grosszentralen statt einer Vielzahl von kleineren Bezirkszentralen gewünscht. Technisch wurde dies erst mit Wechselspannung möglich.

Für diese Stromart mussten nun schrittweise die Voraussetzungen geschaffen werden. Das wesentliche fehlende Teilgerät war der Transformator. Das physikalische Prinzip war seit Faraday (1831) bekannt, das technische Gerät kam erst in den achtziger Jahren. Die Elektrotechniker Europas und der USA waren damit beschäftigt. Besondere Impulse gingen von der Firma Ganz & Co., Budapest, aus. Ab Herbst 1884 lieferte sie technische Typen von Einphasen-Wechselstrom-Trafos (Abb. 11).

Die Möglichkeit der Spannungswandlung bei Wechselstrom gab bei der Energieverteilung mit Wechselstrom Vorteile gegenüber den Gleichstromanlagen. Eine Grosszentrale für Wechselstrom nach dem Prinzip von Ganz & Co., entstand 1890/91 in Köln mit zunächst 1280 kW, etwas kleiner war das Wechselstrom E-Werk von der Stadt Rom von 1886.

Befriedigende Wechselstrommotore fehlten damals noch. Die Lösung brachte damals der mehrphasige Wechselstrom. Die Theorie dafür lieferten Ferraris und Tesla (1885/87), damit kam der Drehstrom (3phasig). Einzelmaschinen für Drehstrom baute Haselwander bereits 1887 in einer Offenburger Fabrik (vgl. sein Schaltschema Abb. 12).

Die Fertigung von Drehstromgeneratoren und -trafos und sodann der Bau von Kraftwerken für Drehstrom

lief erst im grossen Stil, als auch billige Drehstrommotore zur Verfügung standen. 1888/89 zeigte v. Dolivo-Dobrowolsky sein Modell eines Kurzschlussläufers mit 0,1 PS (Abb. 13). Seine Theorie gestattete die Berechnungen für ein 100-PS-Aggregat für die Energieübertragung von Lauffen nach Frankfurt für die Internationale Elektrizitätsausstellung von 1891. Die Fertigung dieser Maschine war auf Anhieb zufriedenstellend. Damit war es nun geschafft. Der Kurzschlussläufer ist noch heute der einfachste und robusteste Antriebsmotor!

Ab 1890 sind Maschinen für Gleich-, Wechsel- und Drehstrom fast beliebiger Grösse herstellbar. Ihre Fertigung setzte bei den verschiedenen Elektrofirmen Mitte der neunziger Jahre in grösserem Umfange ein.

Auf der Frankfurter Ausstellung von 1891 wird die erste Versuchsanlage für Drehstromübertragung mit 15 kV, später 25 bis 30 kV vorgeführt auf der ca. 175 km langen Strecke von Lauffen/Neckar bis zum Ausstellungsgelände in Frankfurt/M. Die Betriebsfrequenz war 40 Hz. An der Planung und Verwirklichung dieser Pionierleistung, einer deutsch-schweizerischen Gemeinschaftsarbeit, waren beteiligt Oskar von Miller, Ch. E. L. Brown, von Dolivo-Dobrowolsky und die Firmen AEG und Oerlikon. Die Nachfrage nach elektrischer Energie steigerte sich allmählich; anfangs waren die E-Werke recht unrentabel. Die grosse Zeit der Elektrizität kam erst in unserem Jahrhundert, als die Drehstromübertragungsnetze zu Verbundnetzen zusammengeschaltet waren.

Die heutige technische Welt ist ohne Elektrizität nicht mehr vorstellbar. Als der Durchbruch der Elektrizität Ende des 19. Jahrhunderts gelang, versuchte man die Bedeutung der neuen Energieform in Kunstwerken darzustellen. Nach der Münchner Int. Elektr. Ausstellung 1882 schuf der Maler L. Kandler sein Gemälde «Das elektrische Licht». Als Frauengestalt erscheint die Elektrizität mit hell strahlendem Licht hoch über dem Kopf. Dieses Bild wird für Geschäftsreklamen elektrotechnischer Firmen und für zahlreiche ähnliche Darstellungen als Vorbild benutzt. Die Reklame der Grossfirma «Helios elektr.

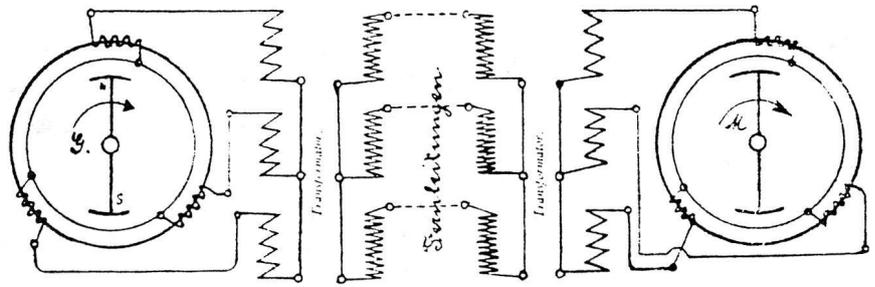


Abb. 12: Haselwander-Schema Drehstromsystem, 1887.



Abb. 14: Reklame der Fa. Helios elektr. AG Köln, ca. 1888.

AG, Köln», zeigt den Sieg des elektrischen Lichts über das Gaslicht (Abb. 14). Hier erscheint der Sonnengott Helios im Himmelswagen, dessen Hinterrad als Dynamo ausgebildet ist. Die mechanische Arbeit der Pferde liefert elektrischen Strom, der Bogenlampen und Glühlichter speist. Eine dunkle Gestalt im Vordergrund wird fast überfahren, sie will einen Gasbehälter in Sicherheit bringen. Das Engelchen links unten hält sich

wegen des stinkenden Gases die Nase zu. Damit wird der Kampf der Elektrofirmen gegen die Gasfabriken angedeutet, der damals in grosser Schärfe durchzustehen war.

Wichtig scheint mir noch folgende Bemerkung:

Entscheidend in der Technikgeschichte sind nicht die Jahreszahlen der Erfindung des physikalischen oder technischen Phänomens bzw.

des Labormodells, sondern die Produktionsreife, d. h. die Serienfertigung der betreffenden Maschine. Zwischen Entwurfsmodell, Vorserien, Nullserie und Massenfertigung lagen meist viele Jahre (vgl. Dynamo: 1866 bis ca. 1878). Gerade die Klärung der Produktionsschwierigkeiten zeigt erst die Vorteile und Fortschritte systematischer Forschungen. Das Patent allein genügt keineswegs, nur die Produktion ist entscheidend.