



Karl Strauss

Wärmekraftwerke

Von den Anfängen im 19. Jahrhundert
bis zur Endphase ihrer Entwicklung

 Springer Vieweg

Wärmekraftwerke

Karl Strauss

Wärmekraftwerke

Von den Anfängen im 19. Jahrhundert
bis zur Endphase ihrer Entwicklung



Springer Vieweg

Karl Strauss
TU Dortmund
Dortmund, Deutschland

ISBN 978-3-662-50536-6
DOI 10.1007/978-3-662-50537-3

ISBN 978-3-662-50537-3 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

Für meine Enkel: Tim, Tadeus, Florian, Anne

Vorwort

Mit der Erfindung und Einführung der elektrischen Glühlampen haben sich die Lebensumstände in den Industrieländern des Westens nachhaltiger verändert als durch etliche andere technische Innovationen. Möglich wurde die schnelle Verbreitung des elektrischen Lichtes durch die gleichzeitig erfolgte Einrichtung der Kraftstationen, in denen ein Kessel Dampf zum Antrieb einer Dampfmaschine lieferte, welche zur Stromerzeugung einen Generator drehte, der schließlich den Strom für das elektrische Licht erzeugte. Die Kraftstationen waren die Vorläufer unserer Wärmekraftwerke, die schon um 1890 Strom für städtische Verteilungsnetze und den Betrieb der ersten Straßenbahnen bereitstellten: 1881 in Berlin-Lichterfelde, 1891 in Leeds und Prag und 1893 in Freiburg. Innerhalb zweier Jahrzehnte gelang es dem Erfindungsgeist von Ingenieuren, die Leistung der Wärmekraftwerke um das 1 000fache zu steigern. Verbunden war dies mit der Zähmung des Feuers: zunächst der Kohle- und Ölfeuerungen, nach dem Zweiten Weltkrieg auch des *nuklearen Feuers* der Kernkraftwerke.

Das vorliegende Buch entstand aus meinen seit 1986 an der Universität Dortmund gehaltenen Vorlesungen über Energieprozesstechnik, es stellt zunächst die Entwicklung der fossil gefeuerten Wärmekraftwerke dar und skizziert im Anschluss daran die Evolution der Kernkraftwerke. Nachfragen meiner Hörer haben mich immer wieder veranlasst, den Werdegang der Kraftwerke und den ihrer Komponenten zu erläutern, denn für das Verständnis technischer Prozesse ist die Kenntnis ihrer Entwicklungsgeschichte wichtig, auch als konkrete Hilfestellung zur Verbesserung einzelner Prozesse.

Nur wenige Fragenkomplexe haben seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts die öffentliche Diskussion in unserem Land mehr erregt als die Debatten um die ungewollten Nebenwirkungen der Kraftwerke: den Staubemissionen im Kontext mit dem *blauen Himmel über der Ruhr* in den 60er Jahren, das *Waldsterben* durch Schadgasemissionen in den 70er Jahren, die Auseinandersetzungen um die *Kernkraftwerke* und die Konflikte um die *Endlagerung nuklearer Abfälle* in den 80er Jahren. Die Frage nach der Vertretbarkeit einer Technologie war zu einem Überzeugungskonflikt geworden, bei dem es keine Kompromisse mehr gab. Zur Ruhe kamen die Auseinandersetzungen erst mit der *Energiewende*: weg von der von Wärmekraftwerken getragenen Stromerzeugung, hin zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Diese Energiewende kann gelingen, wenn

wirklichkeitsnah die Möglichkeiten und Grenzen der gegenwärtigen Stromerzeugung erkannt und beachtet werden.

Das Buch wurde mit dem Vorsatz entwickelt, die Geschichte der Wärmekraftwerke so darzustellen, dass sie für interessierte Nicht-Fachleute lesbar ist. Bei der Fertigstellung hat mir Frau Mechtild Baur sehr geholfen, sie hat sich der mühevollen Aufgabe des Korrekturlesens angenommen.

Telgte, im Frühjahr 2016

Karl Strauss

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen

1	Der Beginn im 19. Jahrhundert	3
1.1	Am Anfang war Edisons Glühlicht	3
1.2	Konkurrenten des Glühlichts: Gaslicht und Bogenlampe	7
1.2.1	Das Gaslicht	7
1.2.2	Das elektrische Bogenlicht	9
1.3	Die Entwicklung in Deutschland	10
1.3.1	Die Zeit der Pioniere	10
1.3.2	Die Internationale Elektrizitätsausstellung Frankfurt 1891	18
1.4	Resümee	22
	Literatur	23
2	Technisch-wissenschaftliche Grundlagen	25
2.1	Technisch-wissenschaftliche Grundlagen	25
2.2	Thermodynamik	27
2.3	Kreisprozesse zur Umwandlung von Wärme in Arbeit	31
2.4	Resümee	39
	Literatur	40

Teil II Die Evolution der fossil gefeuerten Wärmekraftwerke

3	Entwicklungsabschnitte des Kraftwerkbaus	45
3.1	Erster Abschnitt: Zusammenstellung des Dampfkraftwerks aus bekannten Elementen	47
3.1.1	Dampferzeuger: Kessel und Feuerung	48
3.1.2	Die Entwicklung der Dampfturbinen	54
3.1.3	Generatoren	60
3.1.4	Kraftwerk Zschornowitz	62
3.1.5	Elektrizitätsverteilung	66
3.1.6	Resümee	68

3.2	Zweiter Zeitabschnitt: Großfeuerungsanlagen und Verbundnetz	69
3.2.1	Einführung der Kohlenstaubfeuerung für Kraftwerke	72
3.2.2	Integration der Staubfeuerung in die Kessel – der Kampf mit der Asche	77
3.2.3	Weiterentwicklung der Turbinen und Turbogeneratoren	80
3.2.4	Verbundnetz	92
3.2.5	Resümee	95
3.3	Dritter Zeitabschnitt: Der Weg zum Großkraftwerk	96
3.3.1	Kesselsysteme	97
3.3.2	Entwicklung zum Großkessel	111
3.3.3	Turbogruppe	116
3.3.4	Regelung und Automatisierung	120
3.3.5	Blockkraftwerke	123
3.3.6	Umwelt – Fossile Brennstoffe	127
3.3.7	GuD: Gas- und Dampfturbinenkraftwerke	132
3.3.8	Resümee	135
3.3.9	Umbrüche auf dem Energiemarkt – die Ölpreiskrisen in den 1960er Jahren	136
3.4	Vierter Zeitabschnitt: Dampfkraftwerke und Umwelt	142
3.4.1	Rauchgasreinigung	144
3.4.2	Kraftwerke mit Rauchgasreinigung	147
3.4.3	Die letzte Herausforderung für fossil gefeuerte Kraftwerke: CO ₂ -Sequestrierung	155
3.4.4	Grenzen für die Nutzung fossiler Energiequellen	163
3.4.5	Resümee	169
	Literatur	170

Teil III Evolution der Kernkraftwerke in Deutschland

4	Kernkraftwerke	181
4.1	Eisenhower: Atoms for Peace	181
4.2	Abriss der Entwicklung der Kernenergie in der Bundesrepublik	185
4.2.1	Forschungszentren – Atomprogramme	187
4.2.2	Entwicklung von Kernkraftwerken in Deutschland	189
4.2.3	Hochtemperaturreaktoren – Kugelhaufenreaktor	193
4.2.4	Kommerzielle Kernkraftwerke	197
4.2.5	Der Leichtwasserreaktor wird auch in Europa dominierend	201
4.3	AEG und Siemens als Anlagenbauer für Kernkraftwerke	202
4.4	Sicherheit beim Leichtwasserreaktor (LWR)	203
4.5	Kernkraftwerke – von der Euphorie zur Ablehnung	205
4.6	Die einzigartigen Risiken der Kernenergie	208

4.6.1 Wiederaufbereitung und Endlagerung	209
4.6.2 Direkte Endlagerung	210
4.7 Resümee	211
Literatur	212
Namensverzeichnis	215

Teil I
Grundlagen

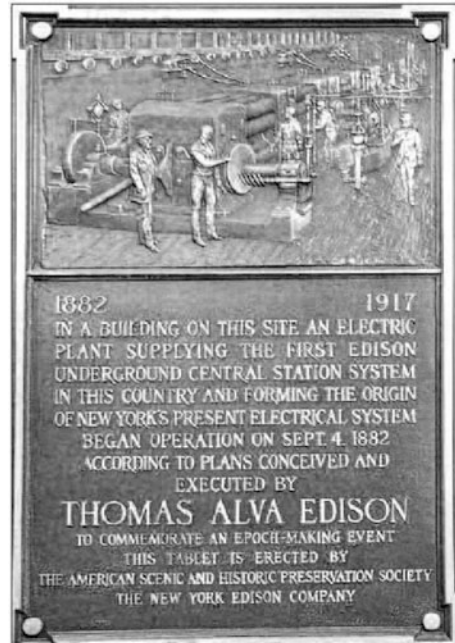
Die Einführung der Wärmekraftwerke und der Verteilungsnetze zur Stromversorgung gegen Ende des 19. Jahrhunderts hat unsere Lebenswelt schneller und nachhaltiger verändert als andere technische Innovationen. Der elektrische Strom ist zwar für uns nicht direkt verwendbar, wir benötigen ihn nicht wie die biochemische Energie unserer Nahrungsmittel, ohne die wir nicht leben können, nicht wie die Wärme, die wir für unser Wohlbefinden benötigen, nicht wie das Licht, das wir zum Sehen brauchen und nicht wie die mechanische Energie, ohne die wir bewegungslos wären. Der Nutzen des Stroms ergibt sich erst aus den vielfältigen Möglichkeiten der Elektrizität, mit denen wir Energie für uns nutzbar machen können. Bezogen auf die Anwendungen stellt die elektrische Energie eine Zwischenstufe dar, die es möglich macht, uns zur Verfügung stehende Primärenergiequellen wie Kohle, Erdöl, Uran, aber auch Wasserkraft und Windenergie sicher und zu geringen Kosten in Strom umzuwandeln, zu transportieren und zur Anwendung zu bringen. Der elektrische Strom als Energielieferant für Haushalt und Wirtschaft und die elektrischen Netze zu seiner Verteilung sind deshalb aus unserer Lebenswelt nicht mehr wegzudenken.

Die Bereitstellung von Licht für alle Menschen war eine der großen Aufgaben für Ingenieure im 19. Jahrhundert. Seit der Mitte des Jahrhunderts wurde die Elektrizität bereits erfolgreich für die Telegraphie und in der Elektrochemie angewandt. Es lag deshalb nahe, die Elektrizität auch zur Beleuchtung zu nutzen. Um dies durchzuführen, waren zwei Aufgaben zu lösen: die Herstellung funktionsfähiger Lampen und die Anfertigung geeigneter Generatoren zur Stromerzeugung.

1.1 Am Anfang war Edisons Glühlicht

Die modernen Gesellschaften leben in einer beleuchteten Welt. Einer Welt, deren Entstehung nachdrücklich durch die Erfindung des elektrischen Glühlichts im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts gefördert wurde. Das Glühlicht ist aus technischer Sicht ein Temperaturstrahler. Zu seiner Darstellung wird ein Faden aus einem relativ schlecht leitenden

Abb. 1.1 Gedenktafel mit einem Relief der „Jumbo“ Generatoren zur Erinnerung an die Pearl Street Station. Die Anlage wurde 1882 in Betrieb genommen, 1885 stillgelegt und durch eine größere Anlage ersetzt



Material in einem Stromkreis zum Glühen gebracht. Zum Erreichen einer ausreichenden Lichtabstrahlung des glühenden Fadens muss seine Temperatur hoch sein und seine Verdampfung oder Oxidation verhindert werden. Die technischen Probleme bei der Entwicklung des Glühlichts konzentrierten sich auf die Lösung folgender Probleme:

- Es galt einen Leuchtkörper zu finden, der lange hält und ein gleichmäßiges Licht abgibt.
- Der Raum um den Leuchtkörper sollte luftleer bzw. mit einem inerten Gas ausgefüllt sein, damit der Faden nicht verbrennt.
- Die Verbindung der Stromleiter mit dem Leuchtkörper durfte die Leitfähigkeit nicht vermindern.

Lösungen für diese Aufgaben waren im Prinzip schon um die Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt. Es war den frühen Erfindern aber nicht gelungen, praktisch nutzbare Glühlampen zu schaffen. Die zielführenden Impulse für die Entwicklung der Glühlampe zu einem Gebrauchsgegenstand kamen ohne Zweifel von Thomas Alva Edison¹. Im Unterschied zu den Vorläufern war Edisons Glühlampe leicht zu handhaben, zeigte im Dauerversuch eine lange Haltbarkeit und war zudem verhältnismäßig einfach herzustellen. Nach der

¹ Thomas Alva Edison (1847–1931), einer der ideenreichsten Erfinder. An seinem Lebensende konnte er eine Liste von mehr als 1300 Patenten vorweisen.

deutschen Patentschrift Nr.: 12174 wurde als Leuchtkörper seiner Glühlampe ein Faden aus Kohlenstoff verwendet, der mit einem dünnen Platindraht stabilisiert war.

Edison war ein außergewöhnlich schöpferisch begabter Visionär. Er hatte die Fähigkeit, technische Herausforderungen zu erkennen, interdisziplinäre Forschungen zur Überwindung sich zeigender Probleme zu organisieren und entstehende Innovationen rasch zur kommerziellen Umsetzung zu bringen. Um dies leisten zu können, hat er in den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts ein großes Entwicklungslabor eingerichtet, in dem Leute aus unterschiedlichen Fachgebieten an zahlreichen Innovationen arbeiteten. So hat Edison für die Glühlampentwicklung Physiker, Chemiker, Maschinenbauer und Handwerker eingesetzt. Er gab die Ziele vor, stellte Aufgaben und organisierte die Arbeit. Edison war einer der ersten Manager des Erfindens und damit einer der Gründer der modernen Erfindungsindustrie [14]. Denken in Systemen, zielstrebiges Experimentieren und Lernen aus Erfahrung waren die Grundlagen, mit denen die Arbeiten vorangetrieben wurden. Seine Erfindungsarbeiten hatten Erfolg, weil sie von Beginn an von ökonomischen Überlegungen begleitet waren. Er sagte einmal, der Wert einer Idee zeige sich im Nutzen ihrer Anwendung.

Im Jahr 1879 installierte Edison in seinem Labor in Menlo Park, New Jersey, eine Anzahl seiner Glühlampen, die von einem zentralen Generator über ein Kupferkabel mit Strom versorgt wurden. Im November des Jahres lud er seine Geldgeber und eine Gruppe von Geschäftsleuten zu einer Vorführung ein. Er erläuterte das Prinzip seines Beleuchtungssystems und demonstrierte dessen Funktion, indem er eine Lampe nach der andern einschaltete, bis schließlich fünfundzwanzig Lampen leuchteten, eine so hell und gleichmäßig wie die andere. Von der an einem entfernten Ort aufgestellten lärmenden Dampfmaschine mit Kessel und Feuerung zum Antrieb des Generators war in den erleuchteten Räumen nichts zu bemerken, was auf seine Besucher gehörigen Eindruck machte. Edison hatte erkannt, dass der elektrische Strom eine Energieform ist, die an einem Ort bereitgestellt und an einer anderen davon entfernt liegenden Stelle genutzt werden kann. Er hat damit als einer der Ersten das Prinzip der Verteilung des elektrischen Stromes mittels eines Versorgungsnetzes von einer zentralen Stromerzeugung zu den entfernt davon liegenden Verbrauchern erkannt und praktiziert.

Die ersten kommerziellen Elektrizitätswerke, mit denen elektrische Energie in Zentralen erzeugt und über in Straßen verlegte Leitungen an Verbraucher geliefert wurde, waren die von Edisons Gesellschaften im Jahr 1882 in London am Holborn Viadukt und in der Pearl Street in New York in Betrieb genommenen Anlagen. Das New Yorker Werk mit sechs von Dampfmaschinen angetriebenen Gleichstromgeneratoren lag mitten im Geschäftsviertel und versorgte Büros, Geschäfte und Restaurants mit Lichtstrom. Bereits nach einem Jahr waren 3 500 Lampen angeschlossen und Ende des Jahres 1883 waren es bereits mehr als 10 000. Technische Probleme ergaben sich aus dem Betrieb der Dampfkessel und Dampfmaschinen, an die bis dahin nicht gekannte Anforderungen hinsichtlich Dauerbetrieb und Regulierung gestellt wurden, sowie aus dem Umstand, dass die Stromerzeugung vollständig durch die Lastanforderung der Verbraucher bestimmt wurde.

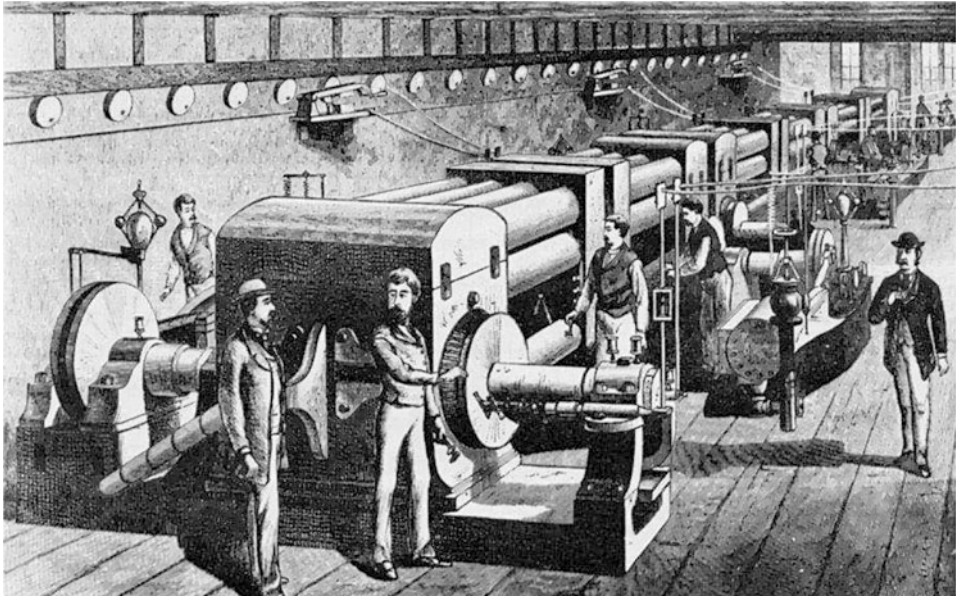


Abb. 1.2 Die Generatoren von Edisons erster Zentralstation in der Pearl Street zu New York (Bildarchiv Deutsches Museum)

Die frühen Elektrizitätswerke wurden deshalb tagsüber oft abgeschaltet. Eine technische Beschreibung der Pearl Street Central Station findet sich in [23].

Um die Stromversorgung für 24 Stunden aufrecht zu erhalten und zur Erleichterung des Ausgleichs zwischen Schwachlast und Lastspitzen wurden in den Zentralstationen Bleiakumulatoren als Pufferbatterien aufgestellt. In den Zeiten geringen Stromverbrauchs wurden die Batterien von den Generatoren aufgeladen, den diese zu Spitzenzeiten des Verbrauchs abgeben konnten. Verwendungsfähige Bleiakumulatoren standen damals schon zur Verfügung. Die Vergleichmäßigung der Lastanforderungen für die Elektrizitätswerke ergab sich erst durch Nutzung von Elektromotoren zum Antrieb von Maschinen und die Einführung der Verteilungsnetze.

Mit der Einführung der elektrischen Beleuchtung durch Edisons Glühlampen, die mit einer bis dahin nicht gekannten Helligkeit und Stetigkeit leuchteten, hat sich der Lebensrhythmus der Menschen verändert. Die Arbeit in den Fabriken und Büros und auch der Lebenszyklus in den Familien wurde nicht mehr zwingend durch den Wechsel von Tag und Nacht bestimmt. Mit der Beleuchtung der öffentlichen Plätze und Straßen wurde das Leben in den Städten zudem sicherer und einfacher.

Der Weltöffentlichkeit hat Edison seine Glühlampe 1881 auf der Internationalen Elektrizitätsausstellung in Paris vorgeführt. Mit dem vom ihm präsentierten Gesamtsystem aus Stromerzeuger, Verteilernetz, Hausanschlüssen, Elektrizitätsmessern, Schaltern, Lampen-

fassungen, Glühbirnen und nicht zuletzt Schmelzsicherungen rückte die Elektrizität von einer Laborkuriosität zu einer wirtschaftlich nutzbaren Energieform auf. Großes Aufsehen erregte auch sein „Jumbo“² genannter Generator. Es handelte sich dabei um eine Fortentwicklung des Gramme-Generators³, der mit einer Leistung von 150 *PS* damals als größte Dynamo-elektrische Maschine der Welt galt und an die Erfordernisse des Glühlichts angepasst war. Edison hatte Erfolg, weil er nicht nur Glühlampen entwickelt und eingeführt hat, sondern ein komplettes Beleuchtungssystem. Zudem hat er durch Verknüpfung der Zentraleinheit zur Stromerzeugung mit den Verbrauchern mittels eines Verteilernetzes die Richtung zur Entwicklung unseres heutigen Stromnetzes gewiesen.

1.2 Konkurrenten des Glühlichts: Gaslicht und Bogenlampe

1.2.1 Das Gaslicht

Licht für alle Menschen bereitzustellen war eine große Aufgabe. Es ist nicht verwunderlich, dass verschiedene Wege versucht wurden, um zum Ziel zu kommen. Hauptkonkurrent des elektrischen Glühlichts war das Gaslicht. Seit der Frühzeit der modernen Chemie war gut bekannt, dass bei der Erhitzung von Kohle ein brennbares Gas frei wird. Als einer der Ersten beleuchtete Jan Pieter Minkellers⁴ seinen Vorlesungsraum an der belgischen Universität Löwen bereits im Jahr 1785 mittels einer Flamme aus Kohlegas. Im Unterschied zu einer Kerze brennt Gas in einer hellen, leicht regulierbaren Flamme.

Anders als auf dem Kontinent hat in England der industrielle Bergbau bereits vor 1700 begonnen. Um 1800 förderten die Kohlebergwerke in Großbritannien bereits 15 Millionen Tonnen Steinkohle, etwa so viel wie die Zechen des Ruhrgebiets einhundert Jahre später. Verbunden mit der Kohleindustrie hatte sich in England bereits ab 1800 in Verbindung mit der Kokserzeugung für die Eisenverhüttung die kommerzielle Erzeugung von Leuchtgas entwickelt. Zur Gasgewinnung wurde Steinkohle unter Luftabschluss auf ca. 900 °C erhitzt. Die dafür errichteten Gaswerke wandelten ca. 20 bis 30 % der eingesetzten Kohlemasse in ein für Beleuchtungszwecke nutzbares Gas um. 50 bis 65 % der Kohlemasse blieben als für die Eisenverhüttung nutzbarer Gaskoks zurück und 5 bis 6 Prozent fielen als Teer bei der Gasreinigung an.⁵ Zur Realisierung einer öffentlichen Leuchtgasversorgung

² Jumbo war auch der Name eines großen Elefanten, der damals mit dem Zirkus P. T. Barum in die Staaten gebracht wurde.

³ Zénobe-Théophile Gramme (1826–1901), belgischer Konstrukteur und Pionier der Elektrotechnik.

⁴ Jan Pieter Minkellers (1748–1824), Professor für Naturkunde.

⁵ Friedlieb Ferdinand Runge (1795–1867) veröffentlichte 1834 seine Entdeckung, nach der sich aus Anilin, das er aus Steinkohlenteer isolierte, Farbstoffe herstellen lassen. Der als Abfallprodukt bei der Erzeugung von Leuchtgas anfallende Teer wurde so zum Ausgangspunkt der chemischen Industrie in Europa.

in London wurde 1812 von Friedrich Albert Winzer⁶ die „Gaslight and Coke Company“ gegründet. Um 1820 hatte London bereits vier Gaswerke und ein Gasverteilungsnetz von ca. 300 km zur Versorgung von mehr als 50 000 Kunden. Leuchtgas konnte nicht nur zur Beleuchtung, sondern auch für den Betrieb von Gasmotoren und zum Heizen verwendet werden. Aufgrund der über Jahrzehnte ausgebauten Infrastruktur zur Gasversorgung war in London bis ins erste Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts Gaslicht billiger als elektrisches Licht. Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass Edisons Elektrizitätswerk in London nicht erfolgreich war und wieder geschlossen wurde. Der Grund dafür war die Marktmacht der britischen Gaswirtschaft.

Ein großer Nachteil der Gasbeleuchtung von Wohn- und Geschäftsräumen war die Verschlechterung der Luft durch die Verbrennungsgase und durch den Sauerstoffentzug sowie die Wärmestrahlung der Flamme. Daran hat auch das 1892 von dem österreichischen Chemiker Auer von Welsbach⁷ erfundene Gasglühlicht im Prinzip nur wenig geändert, obwohl er das alte Gaslicht damit revolutionierte. Durch Einführung eines Glühstrumpfes aus Zirkonium- und Lanthanoxid, der durch eine Gasflamme bis auf Weißglut erhitzt wurde, konnte die Lichtausbeute erhöht, der Gasverbrauch um 40 % gesenkt werden und damit auch die Wärmeabstrahlung. Durch diese Erfindung war die Gasbeleuchtung in Europa wieder billiger als das elektrische Licht und zeitweilig wieder ein ernst zu nehmender Konkurrent. Charakteristisch hierfür war ein Erlass des preußischen Kultusministeriums, der das Gasglühlicht für Kliniken, Hörsäle usw. als „einen angemessenen Ersatz für die elektrische Beleuchtung“ bezeichnete. Auf die Auersche Erfindung hin wurde in Wien eine große Gesellschaft errichtet und im Jahr darauf in Berlin die *Deutsche Gaslicht AG* mit einem Kapital von 1,35 Millionen Mark. Diese Gesellschaft konnte bereits in den ersten 9 Monaten einen Gewinn von 1 Million Mark erwirtschaften, vgl. [2], S. 112.

Das letztlich entscheidende Manko des Gaslichts war die Gefahr von Bränden. Allein in Europa sollen im 19. Jahrhundert etwa vierhundert Opern- und Schauspielhäuser abgebrannt sein. Zumeist waren Gaslampen die Brandursache. Zu einem der größten Feuer kam es am 8. Dezember 1881 im Wiener Ring-Theater. Als die Besucher für den Vorstellungsbeginn um 19 Uhr ihre Plätze einnahmen, sollte hinter der Bühne bei fünf Schaukästen die Gasbeleuchtung gezündet werden. Durch Versagen einer pneumatischen Zündvorrichtung strömte Gas aus, welches beim nächsten Zündversuch verpuffte. Das dadurch entstandene Feuer sprang auf den Bühnenvorhang über, bevor es sich rasch über den Rest der Bühne und schließlich im Zuschauerraum ausbreitete. Es war eine der

⁶ Friedrich Albrecht Winzer (1763–1830) war einer der Pioniere bei der Einführung des Gaslichts in Großbritannien und Frankreich. Er kam 1799 nach England, gründete 1807 in London ein Gaswerk und beleuchtete eine Straßenseite der Pall Mall mit Gaslampen. Er änderte seinen Namen in Frederick A. Winsor.

⁷ Carl Auer von Welsbach (1858–1929), österreichischer Chemiker. Welsbach hat mit seinem Vorschlag, Osmium als Material für den Glühdraht zu verwenden, auch einen Beitrag zur Verbesserung des elektrischen Glühlichts geleistet. Die Osmium Glühlampen waren ein Vorläufer der Wolframdrahtlampe, die 1906 unter dem Produktnamen OSRAM (*OS*mium und *Wolf*RAM) eingeführt wurden.

schlimmsten Brandkatastrophen des 19. Jahrhunderts im damaligen Österreich-Ungarn. Nach offiziellen Angaben kamen durch das Feuer 384 Menschen zu Tode. Opern- und Schauspielhäuser waren deshalb in vielen Städten die Vorreiter bei der Umstellung der Beleuchtung von Gas auf Strom [6].

1.2.2 Das elektrische Bogenlicht

Noch vor der Erfindung des Glühlichts wurde von Humphry Davy⁸ das elektrische Bogenlicht entdeckt. Zum Erzeugen eines leuchtenden Lichtbogens hat er die zugespitzten Enden zweier Kohlenstoff-Elektroden über einen Widerstand mit den Polen einer Gleichspannungsquelle verbunden. Nach Stromschluss bei Berührung der Spitzen erhitzen sich die Elektroden durch den Stromfluss so stark, dass sie zum Glühen kamen. Die glühenden Spitzen hat Davy wieder auseinander gezogen. Bei einer ausreichend hohen Spannung setzte sich dabei die Entladung in Form eines bläulich leuchtenden Lichtbogens fort.

Wir wissen heute, dass das Licht nicht durch den elektrischen Bogen entstand, sondern durch aus der glühenden negativen Elektrode heraus gelöste Kohleteilchen, die dann in der sie umgebenden Luft im Lichtbogen verglühten. Die durch die Entladung zur Weißglut gebrachten Elektroden verzehrten sich dabei. Das vom Lichtbogen abgestrahlte Licht war blendend hell und hatte einen unnatürlich bläulichen Farbton. Es dauerte dann noch etliche Jahre, bis das Bogenlicht praktisch genutzt werden konnte. Dies war erst möglich, als Generatoren zur Erzeugung größerer Strommengen verfügbar waren.

Anwendung fanden die Bogenlampen hauptsächlich bei der Beleuchtung von Straßen und Plätzen sowie als Arbeitsbeleuchtung in Fabrikhallen und auf Baustellen. Für Wohn- und Geschäftsräume waren die Bogenlampen weniger gut geeignet, sie brannten zu hell und zu unregelmäßig. Auch als Effektbeleuchtung in Theatern waren sie nur beschränkt einsetzbar. Denn wie eine Flamme konnte auch ein offener Lichtbogen ein Feuer auslösen. Am 30. Dezember 1903 setzte eine Bogenlampe den Bühnenvorhang des Iroquois-Theaters in Chicago in Brand. Das dadurch entfachte Feuer breitete sich rasch aus und kostete mit seinen Folgen mehr als 600 Menschenleben [4].

Bei den Bogenlampen gab es etliche technische Probleme. So musste für jede Lampe ein eigener Stromkreis eingerichtet werden, weil sich die Lampen bei Reihenschaltung gegenseitig störten und sie so zum Verlöschen brachten. Deshalb war in der Anfangszeit für jede Lampe ein separater Generator erforderlich. Ferner war die Lichtstärke der Bogenlampen nicht regulierbar. Zum führenden Hersteller entwickelte sich die *Brush Electric Light Corporation*. Der Gründer dieser Gesellschaft, Charles Brush⁹, schuf einen regel-

⁸ Humphry Davy (1778–1829), englischer Chemiker und Erfinder. Er entdeckte 1830 das Stickstoffmonoxid und berichtete über seine ungewöhnlichen Eigenschaften. Bei seinen Versuchen mit Elektrizität gelang es ihm 1805 einen Lichtbogen zu erzeugen. Er gewann damit einen Preis, den Napoleon für die beste Leistung des Jahres auf dem Gebiet der Elektrizität ausgeschrieben hatte.

⁹ Charles Francis Brush (1849–1929), US amerikanischer Erfinder und Unternehmer.

baren Generator, der den Anforderungen der Bogenlampen angepasst war¹⁰. Ab 1880 wurden in San Francisco, Chicago, New York und anderen großen Städten in den USA Bogenlampen zur Beleuchtung von Straßen verwendet. Die Lampen wurden dazu auf hohen Türmen installiert und ihr Licht mit Spiegeln verteilt. So wie das Glühlicht wurden auch die Bogenlampen der verschiedenen Hersteller auf der Pariser Elektrizitätsausstellung präsentiert. Oskar von Miller,¹¹ der diese Ausstellung als bayrischer Kommissär besucht hatte, berichtet darüber in seinen Erinnerungen [19]:

Die Bogenlampen von Brush [und anderen Herstellern] verbreiteten ein bis dahin unbekannt starkes Licht. Alles dies erschien wunderbar und märchenhaft. Das allergrößte Aufsehen aber erregten doch die Glühlampen von Edison, die man mit einem Schalter „anzünden und auslöschen“ konnte, an welchem die Menschen zu Hunderten anstanden, um selbst diesen Schalter einmal bedienen zu können.

1.3 Die Entwicklung in Deutschland

1.3.1 Die Zeit der Pioniere

Für die Verbreitung und Akzeptanz der Elektrizität in Europa brachte die 1881 in Paris durchgeführte Elektrizitätsausstellung einen Wendepunkt. Ihr Erfolg beruhte darauf, dass die dort gezeigten Experimente und Produkte auf bis dahin in Europa bei solchen Veranstaltungen noch nie gekannte Weise publikumsorientiert präsentiert wurden. Als phantastisch und sensationell wurden von den Besuchern die Übertragungen aus der Oper per Telefon empfunden; es bildeten sich lange Schlangen, um einmal am Telefon die Musik, die Sänger und den Beifall der Opernbesucher zu hören. Einen großen Raum nahmen die elektrischen Maschinen ein. Edison, Gramme, Siemens&Halske¹² und Schuckert¹³ zeigten ihre neuesten Maschinen.

¹⁰ Ende des 19. Jahrhunderts gab es mehrere Hersteller von Gleichstrom-Generatoren, führend waren in den USA Edison und Brush und in Europa Siemens&Halske, Gramme und Schuckert.

¹¹ Oskar von Miller (1855–1934) war zunächst als Eisenbahningenieur für die Bayrische Staatsregierung tätig. Er wurde der Pionier für die Einrichtung der Stromversorgung in Deutschland. Er war ein erfolgreicher Unternehmer und Initiator für die Gründung des Deutschen Museums in München.

¹² Werner von Siemens (1816–1892), Erfinder und Begründer der elektrotechnischen Industrie in Deutschland; er erfand u. a. den Zeigertelegraphen und war Mitentdecker des dynamoelektrischen Prinzips [22].

Johann Georg Halske (1814–1890), deutscher Unternehmer. Er gründete 1847 zusammen mit Werner Siemens die Telegraphenbauanstalt Siemens&Halske.

Auf der Pariser Ausstellung demonstrierte die Firma Siemens&Halske den Nutzen der Elektrizität für den Verkehr mit einer elektrischen Trambahn zwischen dem Place de la Concorde und dem dortigen Palais de la Industrie.

¹³ Johann Sigmund Schuckert (1846–1895), Elektrotechniker und Gründer der Firma Schuckert in Nürnberg.

Mit Begeisterung wurde besonders das Glühlicht aufgenommen, das von Edison selbst präsentiert wurde. Er trat dabei nicht nur als Erfinder, sondern auch als Geschäftsmann auf, der seine Produkte in Europa einführen wollte. Er zeigte dazu erstmals seine Pläne für eine öffentliche Elektrizitätsversorgung, wie sie in der New Yorker Pearl Street gerade aufgebaut wurde.

Paul Reisser, ein Pionier der Elektrotechnik aus Stuttgart, kaufte auf der Pariser Ausstellung das erforderliche Material für die Herstellung einer Beleuchtungseinrichtung und installierte diese in seinem Haus, [7], S. 93. Der Dynamo zur Erzeugung des Gleichstroms wurde von einem Gasmotor angetrieben. Das so eingerichtete Beleuchtungssystem wurde im Februar 1882 in Betrieb genommen. Weil auch seine Nachbarn Strom beziehen wollten und die Stadt Stuttgart eine Konzession für die Verlegung von Stromleitungen in einigen Straßen erteilte, entstand aus der Reisserschen Anlage im Herbst 1882 das wohl erste öffentliche Blockkraftwerk Deutschlands. Nach Installation einer Dampfmaschine und einer Akkumulatorenbatterie waren 1884 bereits 700 Glühlampen, vier Bogenlampen und zwei Elektromotoren an das System angeschlossen.

Emil Rathenau¹⁴, der ebenfalls die Pariser Ausstellung besucht hatte, erwarb 1882 die Rechte zur wirtschaftlichen Auswertung der Edisonschen Patente für eine von ihm gegründete Gelegenheitsgesellschaft, [7], S. 92. Rathenau hatte früh die Zukunftschancen der Elektrizität als Energielieferant erkannt, so begleitete er sein Werben für das Edisonsche Beleuchtungssystem mit dem prophetischen Hinweis, dass *„Zentralstellen als Kraftquellen für tausende von Pferdekräften entstehen würden, die, in elektrische Energie umgewandelt, den Menschen Licht, Kraft und Wärme bringen werden“*, [2], S. 3. Nur ein kleiner Kreis von Technikern dürfte damals dieser Voraussage Glauben geschenkt haben, denn die Elektrizität war bei dem damaligen Stand der Entwicklung nur als Lichtquelle in Erscheinung getreten.

Auch für Oskar von Miller war die Pariser Elektrizitätsausstellung entscheidend für seine weitere Berufstätigkeit. Er hörte einen Vortrag von Marcel Deprez, in dem dieser die These formulierte, dass man einen beliebig starken elektrischen Strom auf beliebig weite Entfernung mit beliebig dünnem Draht und großem Nutzeffekt übertragen könne, sofern

¹⁴ Emil Rathenau (1838–1915), einer der markantesten deutschen Unternehmer im 19. Jahrhundert, u. a. Gründer der AEG. Nach einer Lehre im Handwerksbetrieb eines Onkels bezog er das Polytechnikum Hannover, um Maschinenbau zu studieren. Bei einer Differenz zwischen Studenten und Professoren über Fragen der akademischen Freiheit setzte er sich aktiv für die Interessen der Studenten ein und musste in der Folge die Hochschule verlassen. Er ging nach Zürich und beendete sein Studium am dortigen Polytechnikum, der heutigen ETH Zürich, mit dem Ingenieurexamen [21]. Nach Wanderjahren bei Borsig in Berlin und Firmen in England assoziierte er sich mit einem Jugendfreund. Gemeinschaftlich übernahmen sie 1867 eine kleine Maschinenfabrik und führten dort den typisierten Bau von Dampfmaschinen ein. Noch vor dem Gründerkrach 1873, dem Platzen der Finanzblase am Ende der Gründerjahre, wurde die geschäftlich erfolgreiche Firma in eine Aktiengesellschaft mit dem Namen „Berliner Union“ umgewandelt und an Banken verkauft. Rathenau beteiligte sich nicht an dem Unternehmen und ließ sich seinen Anteil mit rund 3/4 Million Goldmark bar auszahlen, er blieb aber leitender Direktor der Gesellschaft. Als nach der Scheinblüte der Gründerjahre die Krise folgte, musste die Firma in Liquidation treten, [1], S. 10 ff.

die elektrische Spannung hoch genug wäre. Obwohl diese Aussage von den anwesenden Fachleuten kritisiert wurde, war Miller von diesem Gedanken angezogen. Zurück aus Paris hielt Miller Vorträge über das Gesehene und betrieb die Einrichtung einer Ausstellung über Elektrizität, die 1882 als „Internationale Elektrizitätsausstellung“ in München verwirklicht wurde. Es war die erste Ausstellung dieser Art in Deutschland und sollte Fachleuten wie Laien eine Vorstellung über den Stand und die Möglichkeiten der Elektrizität vermitteln. Miller fand für die Ausstellung das Entgegenkommen der Bayrischen Behörden, aber wenig Interesse bei der Industrie. Insbesondere verhielt sich Siemens&Halske, die damals in Deutschland dominierende Gesellschaft auf dem Gebiet der Elektrotechnik, zurückhaltend. Dies gab Rathenau, den Miller während der Pariser Ausstellung kennen gelernt hatte, die Möglichkeit, sich mit seiner Gelegenheitsgesellschaft im großen Stil zu beteiligen. Er beleuchtete repräsentative Räume im Ausstellungspalast und installierte eine Glühlampenbeleuchtung für die Arcisstraße.

Ein Glanzpunkt der Münchner Ausstellung war die Einrichtung einer elektrischen Kraftübertragung über etwa 50 km zwischen Miesbach und München, für deren Durchführung Miller Marcel Deprez gewinnen konnte. Die Kosten für diesen ersten ernsthaften Versuch einer Kraftübertragung über eine weite Entfernung wurden von Baron Alfons Rothschild übernommen. Im Kohlenbergwerk Miesbach wurde von einer kleinen Dampfmaschine ein Generator mit rund 2 PS Leistung angetrieben, der Gleichstrom mit einer Spannung von 1 500 bis 2 000 V erzeugte. Dieser Strom wurde mittels zweier Telegraphendrähte über 57 km zum Ausstellungsgelände nach München geleitet. Dort war ein Motor aufgestellt, der mittels einer Zentrifugalpumpe einen 2 m hohen Wasserfall antrieb. Die erste Inbetriebsetzung erfolgte 11 Uhr nachts, nachdem die Besucher die Ausstellungshalle bereits verlassen hatten, damit ein Misserfolg kein allzu großes Aufsehen erregen sollte. Miller schreibt:

Als ich das Zeichen gab, als der Motor sich zu drehen anfang, als die Zentrifugalpumpe wirkte und der Wasserfall zu rauschen begann, entstand eine Begeisterung, von der man sich heute keinen Begriff mehr macht. ... (Wir) ließen Champagner kommen und sandten ein Glückwunschtelegramm an die Akademie der Wissenschaften in Paris. [16]

Wegen der damals ungewöhnlich hohen Spannung und der ungenügenden Isolierung der Maschinen gab es viele Störungen. Von den 12 Tagen, an denen die Übertragung laufen sollte, waren 4 Betriebstage und 8 Tage Stillstand. Die von Miller eingesetzte Prüfungskommission stellte einen Nutzeffekt von 22 % fest. Obwohl die Ansichten über die Zukunft der elektrischen Kraftübertragung sehr weit auseinander gingen, erklärte Miller:

In dieser Stunde sei die Anregung gegeben, nunmehr den elektrischen Strom auf ganze Provinzen und Länder zu übertragen.

Der gelungene Versuch der Kraftübertragung über 57 km war wegen des geringen Nutzeffekts von 22 % kein Beweis für die Wirtschaftlichkeit. Mit den damaligen Gleichstrommaschinen war es nicht möglich Spannungen zu erzeugen, die eine Übertragung über weite

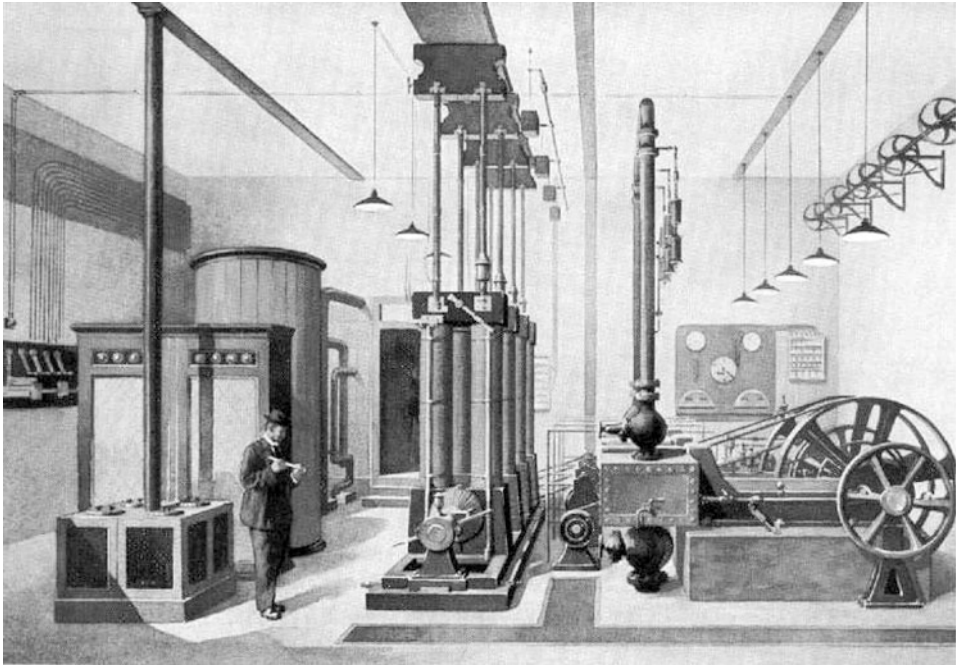


Abb. 1.3 Maschinenraum der Blockstation Friedrichstraße, Berlin 1884. Links im Bild das Oberteil des vom Keller aus gefeuerten Kessels, rechts die Dampf- und Dynamomaschinen (AEG: Forschen und Schaffen [2])

Strecken ermöglicht hätten. Abhilfe schaffte erst die Einführung des Drehstroms und die Erfindung des Transformators.

Erst nach langwierigem Werben um Geldgeber konnte Rathenau 1883 die Deutsche Edison-Gesellschaft für angewandte Elektrizität (DEG) als Aktiengesellschaft gründen. Auf Drängen und durch Vermittlung der geldgebenden Banken kam es zwischen der DEG und Siemens&Halske zu einer Vereinbarung über eine Zusammenarbeit und zu einer Abgrenzung der Interessen. Die DEG verzichtete auf die Fabrikation von Dynamomaschinen, Motoren, Kabeln und Drähten. Im Gegenzug war Siemens&Halske verpflichtet, die DEG zu meist begünstigten Preisen zu beliefern. Die DEG erhielt das Recht zur Fertigung von Lampen, Schaltern, Porzellanisolatoren und Dampfmaschinen. Zusammen mit Rathenau wurde Oskar von Miller zum Direktor der DEG bestellt.

Bereits 1883 lieferte die DEG 27 Beleuchtungsanlagen für Fabriken, Geschäftshäuser und Restaurants. Das erste große Projekt der DEG war das Elektrizitätswerk in der Berliner Markgrafenstraße. Die 1885 in Betrieb genommene Anlage wurde von der DEG im Auftrag der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke errichtet, an deren Gründung und Finanzierung die DEG mitgewirkt hatte. Die Anlage Markgrafenstraße bestand aus sechs Maschinen mit jeweils 180 PS Leistung, von denen jede mittels Treibriemen zwei Gleich-