

**Die geschichtliche Entwicklung der
elektrischen Kraftübertragung auf
weite Entfernungen ***

Von O. v. Miller, München

Kopie aus:
Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin
52(1931)40. - S. 1241-1245
Hartmut Dressel
Gera 2020

* Vortrag der XXXV. Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker in Frankfurt a. M.; unveränderte Wiedergabe nach Stenogramm.

Übersicht. Wiedergabe persönlicher Erinnerungen an die Kraftübertragung Miesbach—München und Lauffen—Frankfurt sowie geschichtlicher Überblick über die Entwicklung der Kraftübertragung und Kraftverteilung von den ersten städtischen Zentralen bis zu einer einheitlichen deutschen Reichs-Elektrizitätsversorgung.

Ich wurde aufgefordert, Ihnen über die elektrische Kraftübertragung auf weite Entfernung einen Bericht zu erstatten. Am morgigen Tage werden zwei vorzügliche Redner in ausgezeichneten Darlegungen und in erschöpfender Weise über die technische und wirtschaftliche Seite der elektrischen Kraftübertragung sprechen, so daß ich mich darauf beschränken kann, Ihnen nur einiges aus meiner Erinnerung über die Geschichte der Kraftübertragung zu erzählen.

Die erste elektrische Kraftübertragung auf weite Entfernung fand zwischen Miesbach und München statt. Aus Anlaß der vor 50 Jahren in Paris stattgefundenen elektrischen Ausstellung berief die französische Société des Ingénieurs Civiles einen Internationalen Ingenieur-Kongreß, und auf diesem Kongreß hielt Marcel Deprez einen Vortrag, in dem er erklärte: es ist möglich, eine beliebig große Kraft auf beliebig weite Entfernung mit hohem Nutzeffekt mit ganz schwachen Leitungen zu übertragen. Dieser Ausspruch rief keineswegs freundliche Worte hervor, im Gegenteil, man war empört, daß eine solche Utopie in Kreisen ernster Ingenieure vorgetragen wurde. Auf mich machte die Erklärung einen großen Eindruck, denn ein Vergleich mit den hydraulischen Gesetzen brachte mich zu der Überzeugung, daß der Ausspruch von Marcel Deprez berechtigt sein müsse.

Als ich ein Jahr darauf — 1882 — in München die erste elektrische Ausstellung Deutschlands organisierte, da schrieb ich an Marcel Deprez, ob er seine Theorien durch eine Übertragung auf etwa 50 km nicht praktisch beweisen wollte. Ich erhielt seine Zustimmung, Alfons Rothschild erklärte sich bereit, die Kosten zu tragen, und so wurde die erste Kraftübertragung auf weite Entfernung in Szene gesetzt.

Im Kohlenbergwerk zu Miesbach wurde von einer kleinen Dampfmaschine eine Dynamomaschine von etwa 2 PS Leistung mit einer Wicklung von seidenisolierten Drähten angetrieben, die einen Strom mit einer Spannung von 1500 ... 2000 V erzeugte. Dieser Strom wurde mittels zweier gewöhnlicher Telegraphendrähte auf 57 km nach dem Ausstellungspalast in München geleitet. Dort war ein Motor gleicher Art wie die Dynamomaschine aufgestellt,

der mittels einer Zentrifugalpumpe einen 2 m hohen Wasserfall betrieb. Die erste Inbetriebsetzung erfolgte nachts 11 Uhr, nachdem die Ausstellungsbesucher die Halle verlassen hatten, damit ein Mißerfolg nicht allzu großes Aufsehen erregen würde.

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. In echt französischer Art umarmte mich Marcel Deprez, wir gingen in die Restauration, ließen Champagner kommen und sandten ein Glückwunschtelegramm an die Akademie der Wissenschaften.

Damals erklärte ich, in dieser Stunde sei die Anregung gegeben, nunmehr den elektrischen Strom auf ganze Provinzen und Länder zu übertragen, wenn auch der Versuch vorläufig noch recht große technische Mängel aufweisen sollte.

Technische und wirtschaftliche Mängel stellten sich bald ein. Die ungenügende Isolierung der Maschinen, insbesondere des Kommutators, verursachte zahlreiche Störungen. Während der 12 Tage, während derer die Kraftübertragung lief, waren vielleicht vier Betriebstage und acht Tage Stillstand. Die Prüfungskommission, die ich zur Beurteilung der Ausstellungsobjekte berufen hatte, stellte einen Nutzeffekt von nur 22 % fest.

Aber die Schwierigkeiten haben die Fortsetzung der Versuche nicht verhindert. Der Miesbacher Versuch wurde in den folgenden Jahren von Marcel Deprez zwischen Creil und Paris mit größeren Maschinen wiederholt. Zwei auf Böcken aufgestellte Lokomotiven, von welchen je ein Rad als Riemenscheibe ausgebildet war, trieben eine Dynamomaschine. Der Strom von 5000 ... 6000 V wurde über Paris nach Creil, d. i. über eine Strecke von 112 km, zurückgeleitet, und dort stand neben der Dynamomaschine auch der Motor, um das Ergebnis der Versuche genau übersehen und messen zu können. Als Marcel Deprez einen Bericht über diesen zweiten Versuch, welcher einen Wirkungsgrad von 45 % ergab, in der Akademie der Wissenschaften erstattete, wurde ich erfreut durch eine Ansprache des Vorsitzenden, der darauf hinwies, daß der erste und bedeutungsvollste Versuch nicht in Frankreich, sondern in Deutschland, u. zw. in München gemacht worden sei. Es sei beschämend,

daß man Deprez nicht die Möglichkeit gegeben hätte, in seinem eigenen Lande den Beweis für die Richtigkeit seiner Theorie zu führen, aber das Gefühl der Beschämung würde noch übertroffen durch das der Dankbarkeit für die großzügige Unterstützung, die Marcel Deprez in Deutschland gefunden habe.

Auch die Versuche in Creil erbrachten keinen Beweis für die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Kraftübertragung. Es war zu schwierig, Gleichstrommaschinen mit einer Spannung herzustellen, die für eine Übertragung auf weite Entfernung genügte.

Man mußte sich daher auch bei praktischen Anwendungen der Gleichstromübertragung mit geringen Entfernungen begnügen, wie dies die im Jahre 1886 errichtete Übertragung von Kriegstetten nach Solothurn, welche eine Strecke von 8 km mit 2000 V überbrückte, zeigt.

Von großer Bedeutung waren daher damals die Ideen Thurys, welche er, wenn ich nicht irre, erstmals auf der Wiener Ausstellung — 1883 — bekanntgab und nach welchen er mehrere Gleichstrommaschinen von je 2000 V in Serie hintereinander schaltete und dadurch eine hohe Fortleitungsspannung erzielte, die durch mehrere hintereinander geschaltete Motoren abgenommen wurde. Nach diesem System erbaute er im Jahre 1887 eine Kraftübertragung bei Genua, mit welcher eine Wasserkraft von etwa 700 PS mittels einer Spannung von 12 000 V über 30 km geleitet wurde. Eine Reihe bedeutender Kraftübertragungen wurde von Thury in der Schweiz, in Italien, Ungarn und Frankreich errichtet, von welchen die im Jahre 1906 in Betrieb genommene Übertragung von Moutiers nach Lyon mit 50 000 ... 60 000 V Spannung eine Entfernung von 180 km überbrückte. Diese Anlage ist heute noch mit wesentlich erweiterter Leistungsfähigkeit und mit einer Spannung von 125 000 V im Betrieb.

Ein neues Hilfsmittel für die Leitung von elektrischen Strömen auf weite Entfernung brachten die von Goulard erfundenen Wechselstromtransformatoren, welche gestatteten, beliebig hohe Spannungen zu erzielen und den Strom über große Strecken zu leiten. Nach diesem System wurde im Jahre 1884 auf der Ausstellung in Turin eine Kraftübertragung von 40 km bei 2000 V Spannung betrieben. Wesentliche Verbesserungen dieses Systems brachten Zipernowsky mit seinen Kollegen Déri und Blathy, welche

im Jahre 1890 eine Kraftübertragung mittels 5000 V Wechselstrom von Tivoli nach Rom über 27 km projektierten und dieselbe im Jahre 1892 in Betrieb brachten.

Ein Nachteil des Wechselstroms lag allerdings darin, daß man mit ihm anfangs keine Motoren betreiben konnte. Da wurde durch Ferraris das Mehrphasensystem erfunden, das in seiner weiteren Vervollkommnung die Konstruktion einfachster Motoren ermöglichte, wobei Dobrowolski, Tesla, Haselwander, Brown sich die größten Verdienste erwarben, und damit waren neue Grundlagen für die Kraftübertragung auf weite Entfernungen geschaffen.

Es entstand daraufhin die erste Drehstrom-Kraftübertragung zwischen Lauffen a. N. und Heilbronn auf eine Entfernung von 12 km bei 5000 V Spannung.

Als ich im April 1890 auf Veranlassung Leopold Sonnemanns, dieses hochverdienten und wirklich so außerordentlich tatkräftigen Mannes, die technische Leitung der Frankfurter Ausstellung übernahm, führte ich in meinem ersten Bericht in der Elektrotechnischen Gesellschaft zu Frankfurt a. M. aus, daß es die Hauptaufgabe dieser Ausstellung sei, das Problem der elektrischen Kraftübertragung und Kraftverteilung auf weite Entfernung einer Klärung zuzuführen.

Eine Gelegenheit hierzu bot sich durch die vorhin erwähnte Drehstromzentrale in Lauffen, in welcher mehrere 100 PS an Neckar-Wasserkräften zur Verfügung standen. Ich berechnete, daß eine Spannung von etwa 20 000 V nötig sein würde, um in wirtschaftlicher Weise etwa 300 PS auf 180 km Entfernung nach Frankfurt zu übertragen.

Vorversuche, die Ingenieur Charles Brown der Firma Oerlikon anstellte, ließen die Möglichkeit der technischen Ausführung erhoffen, so daß ich im Juni die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft sowie die Firma Oerlikon auffordern konnte, diese wichtige Kraftübertragung durchzuführen. Im Juli erhielt ich die Zusagen der Firmen bzw. ihrer Leiter Emil Rathenau und Oberst Huber, doch zogen sich die Detailverhandlungen bis zum 6. Dezember des Jahres 1890 hin, an welchem Tage in einer 16stündigen ununterbrochenen Sitzung in München nachts um $\frac{1}{2}$ ein Protokoll zustande kam, in welchem festgestellt war, daß die Zementwerke Lauffen eine Turbine von

200 Pferdestärken, die Maschinen-Fabrik Oerlikon die Dynamomaschinen, die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft den Motor in Frankfurt, und daß beide Gesellschaften die Transformatoren für die Primärstation in Lauffen und die Sekundärstation in Frankfurt liefern sollten. Schomburg sollte die Isolatoren machen und hat sie gemacht, und die Firma Hesse in Heddernheim erklärte sich bereit, den Kupferdraht von 4 mm Durchmesser für die Leitung von Lauffen bis Frankfurt leihweise zur Verfügung zu stellen. So waren die Lieferungen verteilt. Mir blieb die Aufgabe, die Genehmigung der Länder herbeizuführen und namentlich auch die Post zu überreden, daß sie die Leitung ausführte. Das — meint man heute vielleicht — sei sehr leicht gewesen; das war es nicht. Zuerst fürchteten sehr viele, daß man sich mit dieser Kraftübertragung blamieren würde. In technischen Zeitschriften war ausgerechnet, daß nur 5 % des Stromes nach Frankfurt kommen würden. Von der Prüfungskommission wurde sogar vor dem Tage der Messung die Erklärung abgegeben, man dürfe aus ihrer Bereitwilligkeit, sich an der Messung zu beteiligen, nicht etwa den Schluß ziehen, daß man glaube, die Kraftübertragung wäre überhaupt möglich.

Nicht nur diese wissenschaftlichen Bedenken waren vorhanden; noch schlimmer waren die Befürchtungen der Gefahren der Kraftübertragung. Auf jedem Mast mußte ein Totenkopf angebracht werden, und in bestimmten Intervallen war es in Baden sogar Vorschrift, eigene Häuschen zu bauen, die wir allerdings Narrenhäuser nannten.

Nun, ich mußte die Genehmigung bekommen. Die Sache wurde erschwert durch verschiedene Ursachen, nicht nur durch die Geringschätzung, nicht nur wegen der Gefahren — in Baden waren es auch persönliche Rücksichten, die der Kraftübertragung entgegenstanden. Bei der Postverwaltung hatte man ganz mit Recht Bedenken, ob die Telegraphie, die Telephonie nicht sehr gestört werden würden, wenn man Wechselströme von 20 000 V durch das ganze Land ziehen würde. Ich schlug dann vor, alle Vertreter der Regierungen und der Post nach Oerlikon einzuladen und ihnen dort im großen Versuche vorzuführen. Das geschah im Januar 1891, und nach diesen Versuchen, während deren noch sehr viele und sehr heftige Bedenken geäußert wurden, war man schließlich vollständig überzeugt, und die Genehmigung der Postverwaltung und der

Länder wurde nunmehr erteilt. Gleichzeitig überwies der deutsche Kaiser 10 000 RM in Würdigung „der an die Versuche sich knüpfenden national-wirtschaftlichen Interessen“.

Nun begannen die Bauten. Es war namentlich der Oberpostrat Ebert, der mit außerordentlichem Fleiß, mit außerordentlicher Tüchtigkeit die Leitung legte. Vor dem Städte-Kongreß sollte dann die erste Übertragung erfolgen. Nach Lauffen wurde eine Kommission entsandt, durch welche die Abnahme erfolgen sollte. Dieser Kommission gehörten an: Prof. Weber, ferner Herr Dr. Strecker — den jetzigen Titel weiß ich nicht, der Name ist auch bekannter als sein Titel —, Herr Dobrowolski und natürlich Herr Oberpostrat Ebert und noch ein oder zwei andere Herren.

Da bekam ich zu meiner Überraschung ein Telegramm: die badische Regierung verweigert absolut den Zusammenschluß der Leitung an der badischen Grenze! Nachts noch fuhr ich hin, ging den ganzen Tag mit dem badischen Vertreter die Leitung ab, jede Kleinigkeit, die er beanstandete, wurde sofort behoben, aber als ich abends mit der Kommission nach Eberbach kam, wollte er den Zusammenschluß wiederum verhindern, so daß ich noch nachts zum Minister nach Karlsruhe fahren wollte. Ich war so aufgeregt, daß ich wegen Beamtenebeleidigung fast einen dreiwöchigen Urlaub im Gefängnis bekommen hätte.

Trotz des Widerstandes erfolgte dennoch abends der Zusammenschluß, und als Dobrowolski von der Stange herunterrief: der Strom ist in Frankfurt, war in der Volksmenge, die sich am Bahnhof versammelt hatte, eine ganz ungeheure Begeisterung, die allerdings wieder in einem Fäßchen Wein zum Ausdruck kam.

Die Leitung wurde erstmals am 24. August, abends 8 Uhr, eingeschaltet und am 12. September in Vollbetrieb genommen.

Die nach Schluß der Ausstellung durch die Prüfungskommission vorgenommenen Versuche ergaben, daß 235 Pferdestärken mit einer Spannung von 25 000 V auf eine Länge von 178 km mit einem Nutzeffekt von rd. 75 % übertragen wurden.

Dieses günstige Ergebnis war sofort von praktischen Erfolgen begleitet. Eine Kommission aus Siebenbürgen kam nach Frankfurt, um über die Ausnutzung der reichen Karpathen-Wasserkräfte zu verhandeln, woraus in den

Jahren 1895/96 die Errichtung der Kraftübertragung von Zoodt nach Hermannstadt entstand.

Auch die Bürgermeister von Bozen und Meran besuchten Frankfurt, und die spätere Errichtung der Etschwerke, welche den Strom mit 10 000 V Spannung über nahezu 40 km bis Bozen übertragen, ist eine Folge der in Frankfurt gemachten Erfahrungen.

14 Tage nach der Eröffnung des Betriebes der Kraftübertragung kam nachts 11 Uhr ein Amerikaner auf mein Büro. Es war der Manager von der Chicagoer Weltausstellung, die, glaube ich, 1893 stattfand, und sagte, er müsse mich in einer sehr wichtigen Frage sprechen und meine Ansicht hören. Die Chicagoer Ausstellung wollte einen Clou machen, und man hätte deshalb zuerst beschlossen, einen Turm hinzustellen, der noch um 50 m höher sein sollte als der Eiffelturm. Jetzt aber möchte man statt dieses Eiffelturmes eine Kraftübertragung machen, die nochmal so lang sei als die von Lauffen nach Frankfurt, und ich sollte sagen, was ich dazu dächte. Nun, ich erklärte ihm, eigentlich sei ja das Problem der Kraftübertragung mit hohen Spannungen bereits zu einem gewissen Abschluß gekommen. Aber es gäbe andere große Probleme, die noch nicht abgeschlossen seien und die für Amerika sehr gut passen würden. Ich schlug ihm daher vor, zwischen Chicago und St. Louis eine elektrische Schnellbahn zu bauen, die erste elektrische Schnellbahn und Vollbahn, die existieren würde. Er war davon begeistert, und die Vorbereitungen hierzu konnten gleich am nächsten Tage in Frankfurt getroffen werden, denn es waren damals Werner Siemens, Emil Rathenau, dann Villard, der Erbauer der Northern Pacific-Bahn, der Manager und ich da, und in der großen Restauration hatten wir bereits ausgemacht, wie diese erste große elektrische Fernbahn gebaut und betrieben werden sollte. Sehr unangenehme mißliche Erscheinungen haben dann die Ausführung dieses Versuches verhindert.

Aber die Amerikaner waren von der Kraftübertragung so begeistert, daß sie bald Versuche mit 50 000 V machten. Diese Versuche wurden weiter fortgesetzt, und es gelang ihnen auch, in neuerer Zeit die Spannung bis auf 100 000 und 220 000 V zu steigern.

In Deutschland erfolgte die erste Übertragung mit 50 000 V Drehstrom im Jahre 1905 vom Uppenbornwerk nach München über 53 km Entfernung.

Dann kam im Jahre 1912 die erste 100 000 V-Leitung in Deutschland, die zwischen dem Eisenwerk Lauchhammer und den Fabriken in Gröditz und Riesa über eine Entfernung von 50 km durch Fischinger und Krumbiegel ausgeführt wurde. 100 000 V-Leitungen wurden auch benutzt zu der von den Elektrizitätswerken im Jahre 1918 errichteten Kraftübertragung von den Braunkohlezentralen in Bitterfeld nach Berlin zur Ausnutzung der dortigen Braunkohlevorkommen.

Dann wurden sie auch benutzt für die Bayernwerk-Ringleitung. Dabei darf man sich nun nicht vorstellen, daß man nur einen 100 000 V-Transformator und Isolatoren, die 100 000 V aushalten, gebraucht hätte, und damit wäre die Sache geschafft gewesen. Als wir die Bayernwerk-Leitung ziehen wollten, stiegen große Bedenken über die Sicherheit der Leitung, über die Regelung des Stromes auf. Wir hatten die ersten Sachverständigen eingeladen, um uns über diese schwierige Frage zu beraten. Da war es namentlich Ihr Vorsitzender, Prof. Petersen, der uns durch seine Spulen, durch seine Reguliermethoden unterstützt hat, damit das Bayernwerk auch wirklich funktionierte. Versuche mit noch höheren Spannungen wurden von dem Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk unter der Leitung von Köpchen angestellt. Sie führten in den 20er Jahren, um 1922 herum, Übertragungen mit Spannungen von 220 000 V zwischen Ronsdorf und Letmathe aus, und in der letzten Zeit haben sie von Vorarlberg bis Köln eine Leitung verlegt, die künftig mit 380 000 V betrieben werden kann, um die Vorarlberger Wasserkräfte über eine Strecke von etwa 700 km mit einer Leistung bis zu 1 000 000 kW zu übertragen.

Nicht nur mit Freileitungen ist es gelungen, höchste Spannungen zu beherrschen, sondern auch im Bau von Leitungskabeln, welche man sich bis zur Jahrhundertwende nicht über 10 000 V zu betreiben getraute, sind gewaltige Fortschritte erzielt worden, so daß zur Zeit Kabel mit Spannungen bis zu 130 000 V in dauerndem Betriebe sind, darunter in Deutschland ein 100 kV-Kabel

triebe sind, darunter in Deutschland ein 100 kV-Kabel in Nürnberg, mit welchem die an einem Ende der Stadt anfallende Energiemenge nach den am anderen Ende der Stadt konzentrierten Fabriken geleitet wird.

Damit ist die Frage der Kraftübertragung auf weite Entfernungen gelöst. Das, was in Miesbach, was in Lauffen noch ein Problem war, ist jetzt kein Problem mehr. Es ist jedem Techniker eine selbstverständliche Tatsache, daß es möglich ist, praktisch unbegrenzte Energiemengen über weite Entfernungen zu übertragen. Es ist Sache einer technischen Berechnung, und Dr. Oliven hat recht, wenn er behauptet, daß elektrische Energie über ganz Europa auf Leitungen von 380 000 V Spannung von Oslo bis Rom und von Lissabon bis Rostow am Don, vom äußersten Norden bis zum äußersten Süden, vom äußersten Osten bis zum äußersten Westen Europas übertragen werden kann, wenn auch noch manche technischen Schwierigkeiten und noch größere politische und wirtschaftliche Schwierigkeiten zu überwinden sind.

Ebenso wie die Kraftübertragung war auch die Energieverteilung, die ja auch von der Höhe der Elektrizitätsspannung sehr abhängig ist, sehr wichtig. Die ersten Energieverteilungs-Anlagen waren die Leitungsnetze städtischer Elektrizitätswerke, z. B. in der Pearl Street in New York und in der Markgrafenstraße in Berlin. Ihre Spannung war abhängig von den Verbrauchsvorrichtungen, das waren in erster Linie die Glühlampen. Da diese nur eine Spannung von 100 V vertragen konnten, die Glühlampenbeleuchtung aber der Hauptkonsument war, waren die ersten Leitungsnetze, z. B. in Berlin, auf diese Spannung für die Verteilung von Elektrizitätswerken beschränkt. Der Aktionsradius betrug hierbei nur einige hundert Meter, so daß neben der ersten Zentrale in der Markgrafenstraße nur 600 m entfernt in der Mauerstraße eine zweite errichtet werden mußte. Einen ersten Fortschritt brachte die Erfindung des Dreileitersystems durch Hopkinson in der Weise, daß man immer zwei Lampen und zwei Maschinen hintereinander schaltete und eine Ausgleichsleitung dazwischen anordnete. Das gab die Möglichkeit, mit den gleichen Kosten eine doppelt so lange Leitung zu machen, so daß die dritte Station Berlins in der Spandauer Straße bereits in 1200 m Entfernung zu stehen kam, und das war damals immerhin schon

viel. In Königsberg versuchte man dann das Fünfleitersystem, indem man vier Lampengruppen und vier Maschinen hintereinander schaltete. Aber die Stromleitung, die Regelung, die Kabelverbindungen und die Aufteilung der Lampen auf die einzelnen Stromkreise waren schließlich so schwierig und umständlich, daß dieses System nicht mehr weiter zur Geltung kam.

Es war sehr mißlich, daß man die Elektrizitätswerke, die Dampfstationen, in der Stadt gerade da aufstellen mußte, wo infolge der stärksten Bebauungsdichte der geringste Platz für sie vorhanden war, wie z. B. in der Spandauer Straße. Man mußte die Maschinen hinunter in den Keller stellen, über den Maschinen stellte man die Kessel auf usw. Denken Sie nur an die Umständlichkeit der Kohleanfuhr an diese zahlreichen Stationen, die Schwierigkeiten der Kondensationswasser-Beschaffung.

Man ist dann auf den Ausweg verfallen, die Aktionsradien der Elektrizitätswerke durch die Anordnung von Unterstationen mit Umformern und Akkumulatoren zu vergrößern, wie sie z. B. in Berlin, in Kassel usw. bestanden und in manchen großen Gleichstromwerken, wie z. B. in München, zum Teil heute noch verwendet werden. Einen wesentlichen Fortschritt bedeutete auch für die Kraftverteilung die Erfindung des Wechselstromsystems mit Transformatoren, welche den in der Zentralstation erzeugten Strom auf eine genügend hohe Verteilungsspannung brachten und an den Abnahmestellen auf die niedrige Verbrauchsspannung herabtransformierten. Dieses System gestattete die Versorgung mancher Städte von einer Zentrale aus, die nunmehr an einem besonders günstigen Platz mit ausreichend großem Grundstück, bequemer Wasser- und Kohlenbeschaffung errichtet werden konnte. Damit schien die Stromverteilung innerhalb größerer Städte gelöst. Die Firma Ganz & Cie. baute Wechselstromzentralen in Mailand, dann in Rom und in Köln.

Die Städte, die ein Elektrizitätswerk bauen wollten, mußten nun wählen zwischen dem Gleichstromsystem und dem Wechselstromsystem. Die Kostenberechnungen fielen sehr verschieden aus, je nachdem die Berechnung von einem Vertreter des Gleichstroms oder Wechselstroms aufgestellt war. Es bildete sich, bedingt durch Fabrikationsinteressen der verschiedenen Firmen, eine Gleichstrom- und eine

Wechselstrompartei, die sich gegenseitig heftig bekämpften. Die Gleichstrompartei erklärte es als einen Nachteil des Wechselstroms, daß das Bogenlicht bewegte Gegenstände in Einzelbilder auflöse. Uppenborn pflegte als Beweis unterhalb einer Wechselstrombogenlampe einen Spazierstock rasch hin und her zu schwingen und die Beobachter merkten erstaunt, daß sich das Bild einer Reihe von Stöcken ergab. Worin der Nachteil liegen sollte, habe ich meinerseits nie herausgebracht. Die Wechselstromleute erkannten diesen Nachteil nicht an, indem sie behaupteten, daß man künftig Wechselstrombogenlampen überhaupt nur auf Straßen haben werde, daß man aber die Innenräume, auch wenn es Säle seien, mit Glühlicht beleuchten würde, und da wäre der Wechselstrom so gut wie der Gleichstrom.

Wichtiger waren ja die Einwände, daß man mit Wechselstrom damals zunächst keine Motoren betreiben konnte, und daß auch die Wechselstrommotoren später nach Überwindung der verschiedenen Schwierigkeiten den Gleichstrommotoren erheblich nachstanden. Die Wechselstromverfechter halfen sich damit, daß sie sagten: Elektromotoren sind ja überhaupt nicht nötig. In den großen Städten hat man Gasmotoren, die sind ja viel billiger als Elektromotoren, und in kleinen Orten brauche man ja keine Motoren. Eingewendet wurde auch, daß in jedem Hause ein Transformator aufgestellt werden mußte, dessen Geräusch störend empfunden wurde, und daß man keine Akkumulatoren zur Aufspeicherung der Energie verwenden konnte.

Demgegenüber behauptete die Wechselstrompartei, daß man bei Verwendung von Gleichstrom für eine Stadt wie Berlin Hunderte von Zentralen brauche, die auf teuren und engsten Plätzen, die Kessel über den Maschinen, errichtet werden müßten, und daß die als Ersatz dienenden Unterstationen keinen Wert hätten, weil der Betrieb mit Akkumulatoren zu kompliziert und ihre Lebensdauer zu kurz sei. Die Vorteile der Gleichstrommotoren wurden nicht als ausschlaggebend anerkannt. Als ich in Fürstentfeldbruck für eine Schreinerei einen fünfpferdigen Motor aufstellte, wurde ich verhöhnt mit der Bemerkung: der Herr von Miller empfiehlt Handwerkern, die kaum genug Arbeit für zwei Gesellen haben, einen Motor mit fünf Pferdestärken, damit sie noch weniger zu tun haben. In

Wirklichkeit wurde dieser Schreinererbetrieb so verbilligt, daß der Fürstenfeldbrucker Schreiner auch Bestellungen von München erhielt.

Einen anderen Einwand der Wechselstromleute habe ich schon erwähnt: Wie wollen Sie denn eine Stadt wie Berlin mit Elektrizität versorgen? Da brauchen Sie ja einige hundert Elektrizitätswerke oder Unterstationen. Die Berliner Gleichstrompartei erklärte darauf: „Es wird doch niemand die Vororte einer Großstadt mit Elektrizität versorgen, dort hat ja die Elektrizität gar keinen Wert. Sie ist doch nur wertvoll in den Teilen der Stadt, wo reiche Läden, wo Restaurationen u. dgl. sind; die Wohnungsinhaber nehmen doch keine Elektrizität ab. Wenn es Sie heute wundert, daß man noch damals ein solches Argument anführen konnte, so möchte ich Ihnen nur erzählen, daß noch im Jahre 1893, als ich das Elektrizitätswerk Wiesbaden baute, mir von allen Leuten gesagt wurde: ein Hotel wird sich niemals an ein Elektrizitätswerk anschließen, denn die Kerzen sind ja die ergiebigste Einnahmequelle der Hotels, für die sie das so gefürchtete Bougie verrechnen konnten; darauf können die Hotels nicht verzichten. Nichtsdestoweniger folgten den ersten Wechselstromzentralen in Mailand und Rom alsbald auch verschiedene Werke in Deutschland, darunter als eines der bedeutendsten die Zentrale in Köln, woselbst die damalige Vertreterin des Systems, die Firma Helios, ihren Sitz hatte.

Sehr große Kämpfe entwickelten sich auch um die Errichtung der Frankfurter Zentrale. Da kam Leopold Sonnemann auf die Idee, den Streit der Systeme durch praktische Vorführungen auf der Frankfurter Elektrizitäts-Ausstellung zu entscheiden. Die Ausstellung brachte die gewünschte Klärung. Die Schwierigkeit der Wechselstrommotoren wurde gelöst durch die Erfindung des Drehstroms, der sich zum Antrieb von Maschinen zum Teil sogar besser als der Gleichstrom eignete. Eine Belästigung durch den Lärm der Transformatoren kam nicht mehr in Frage, seitdem ich die erste Drehstromzentrale in Heilbronn dem Betrieb übergab, bei welcher an Stelle der vielen kleinen bei den Konsumenten in den Häusern untergebrachten Transformatoren wenige größere Transformatoren in den Anschlagssäulen der Straßen aufgestellt und durch ein geschlossenes Niederspannungsnetz miteinander verbunden

wurden. An die Stelle erbitterter Gegnerschaft trat nunmehr sachliche Überlegung. Die Vorteile beider Systeme wurden anerkannt, die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden in unparteiischer Weise aufgestellt, für Frankfurt hatte ich zusammen mit Lindley verschiedene Projekte auf gleicher Grundlage durchgerechnet und auf Grund dieser Berechnungen den Bau einer Wechselstromzentrale empfohlen. Andere Werke folgten, darunter Nürnberg, Dresden usw. mit Wechselstrom; Straßburg, Magdeburg und viele andere mit Drehstrom.

Mit der Verwendung des Wechsel- und Drehstroms mit höherer Spannung war nun aber nicht nur die Frage gelöst, wie man große Städte von einer Zentrale aus mit Elektrizität versorgt, sondern man erkannte sehr bald, daß man auch imstande sei, eine Anzahl kleinerer Städte und Gemeinden, deren Einzelversorgung unrentabel gewesen wäre, zusammenzuschließen und für die hierdurch geschaffenen größeren Konsumgebiete wirtschaftlich arbeitende Elektrizitätswerke zu errichten. So entstanden die sogenannten Überlandwerke. Das erste Überlandwerk wurde in Rheinfeldern gebaut, dann kamen größere Überlandwerkgruppen, in Oberschlesien, in Pommern, in Bayern, in Baden usw.

Die Überlandwerke litten allerdings unter der Schwierigkeit, daß für ihre Errichtung sehr häufig nicht technische Gesichtspunkte maßgeblich waren. Ihr Gebietsumfang bestimmte sich nicht so sehr nach der Leistungsfähigkeit der Kraftwerke als vielmehr nach den zufällig gegebenen politischen Grenzen eines Kreises oder einer Provinz, deren Behörde über die Konzessionserteilung zu bestimmen hatte. Die benutzten Stromquellen mußten fast ausnahmslos innerhalb des Versorgungsgebietes liegen, weil die Nachbarbezirke die Durchleitung von Strom verweherten, zum Teil sogar auf Grund fehlerhafter Konzessionsbestimmungen verwehren mußten. Diese Schwierigkeiten zu beseitigen war sehr schwer. So entstanden vielfach Überlandwerke, die nicht nach günstigsten technischen und wirtschaftlichen Bedingungen errichtet waren, und die in ihren Ausdehnungsbestrebungen nicht selten miteinander in Konflikt kamen. Man war sich dessen bewußt, daß durch Zusammenschlüsse Vorteile erzielt werden müßten, doch verhinderten häufig die bestehenden Organisationen

eine richtige Lösung, und die Vorteile mußten schon sehr bedeutend sein, wenn trotz der bestehenden Sonderinteressen ein Gesamtunternehmen entstehen sollte. Man mußte den Unternehmungen immer wieder besondere Vorteile bieten.

Ich versuchte nun, eine der besten Wasserkräfte, die es gibt, die Walchensee-Wasserkraft, durch die Schaffung einer Ringleitung durch ganz Bayern auszunutzen. Es bestanden in Bayern etwa 12 größere Überlandwerke, als ich den Versuch eines Zusammenschlusses durch das Bayernwerk machte. Der große Vorteil, der damals geboten werden konnte, war eben die Ausnutzung der außergewöhnlich günstigen Walchenseekraft, deren Strom so billig war, daß dessen Verteilung über das gesamte rechtsrheinische Bayern allen Beteiligten Vorteile bieten konnte. Ein weiterer Vorteil bestand in dem Ausgleich der im Süden gelegenen Wasserkräfte mit den im Norden Bayerns befindlichen Dampfzentralen sowie in der Möglichkeit, Überschußströme in die gemeinsame Sammelschiene abzugeben. Die Ausführung des Bayernwerkes wurde auch dadurch erleichtert, daß die bereits bestehenden Kraftwerke und Überlandzentralen als solche erhalten blieben und gegenüber der Landessammelschiene lediglich als Stromlieferant und Stromabnehmer auftreten konnten. Sie hatten nur ihren Strombedarf aus der Ringleitung zu entnehmen oder ihren Überschußstrom in die Ringleitung zu senden. Das war den Direktoren der Elektrizitätswerke erwünscht, und so entstand der Zusammenschluß im Bayernwerk.

Ähnliche Zusammenschlüsse erfolgten auch in anderen Teilen Deutschlands, wie in Sachsen, in Thüringen, in Baden, in Württemberg sowie in verschiedenen preußischen Provinzen. Die großartigsten Zusammenschlüsse bewerkstelligte das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk, indem es im Rheinland allmählich, teils durch einfache Stromlieferung, teils durch Verschmelzung eine einheitliche Stromversorgung für eine Zentralenleistung von etwa $1\frac{1}{2}$ Millionen Kilowatt mit einer Jahresstrommenge von jetzt nahezu 4 Milliarden Kilowattstunden zustande brachte.

Zusammenschluß war immer das Bestreben der Elektrotechniker. Die wirtschaftlichen Erfolge dieser Zusammenschlüsse waren so klar erkennbar, daß allgemach der Wunsch entstand, sie nach Möglichkeit zu fördern. So

wurde der Nationalversammlung in Weimar ein vom Reichsschatzministerium ausgearbeiteter Gesetzentwurf unterbreitet, nach dem eine Sozialisierung der Elektrizitätswirtschaft angestrebt wurde. Die Elektrizitätswerke sollten alle expropriert und in eine Nationalversorgung umgewandelt werden, wovon auch die Provinzen und Länder nicht frei geblieben wären. Bei den Beratungen dieses Entwurfes in der Nationalversammlung zu Weimar habe ich mich bemüht, die Härten des Gesetzes wesentlich zu mildern. Es ist bekannt, daß das Gesetz mit einigen Erleichterungen zwar erlassen, aber niemals in Wirksamkeit getreten ist. Die einzige Folge dieses Gesetzes war die Einsetzung eines Elektrizitätsbeirates, der bei der Gesetzgebung zugezogen werden sollte und die Ausführungsbestimmungen zu dem Rahmengesetz beraten sollte. Auch diesem Beirat gelang es nicht, ein Gesetz zu schaffen, das allgemeinen Beifall fand, denn es zeigte sich, daß die Ansichten über die etwa erforderlichen Bestimmungen weit auseinander gingen. Ich wies deshalb darauf hin, daß alle Beratungen nutzlos sein würden, bevor man nicht einen Plan für die zukünftige Organisation der Reichselektrizitätsversorgung habe. Man kann eben kein Gesetz schaffen, wenn man nicht weiß, was es denn eigentlich bezwecken soll.

Vom Reichswirtschaftsministerium wurde ich dann mit der Aufstellung eines Gutachtens betraut, das ich auch erstattet habe. Ich habe zunächst versucht, die wichtigste Grundlage, die Größe und Verteilung des künftigen Strombedarfes festzustellen.

Das Verfahren der früheren Schätzung, einfach von dem gegenwärtigen Konsum auszugehen und für die Zukunft das Dreifache oder Zweieinhalbfache in Rechnung zu stellen, ist ja nicht haltbar, denn die Zunahme ist ja in den verschiedenen Teilen des Reiches eine ganz verschiedene; da gibt es keine einheitlichen Prozentsätze. Und die Zunahme ist auch ganz verschieden, je nach dem Zweck, dem die Elektrizität dient: ob sie für Zwecke der Beleuchtung, des Hauswesens, der Industrie, der Landwirtschaft oder der Reichsbahn verwendet wird. Ich habe deshalb für jede einzelne Aufgabe: für die Beleuchtung, für das Hauswesen, für die Landwirtschaft, für die Industrie — und hier wieder je nach der Art der Industrie und je nach der

Zahl der Arbeiter getrennt — Konsumberechnungen aufgestellt.

Wenn die fertig waren, dann galt es, nun ohne Rücksicht auf irgendwelche Sonderinteressen Energiequellen dafür zu finden, entweder bei unseren großen Wasserkraften oder bei unseren Kohlevorkommen. Das war nicht sehr schwierig, denn Gott sei Dank verfügen wir im Deutschen Reich über so viele Energiequellen, daß wir auch den größten Bedarf an Elektrizität noch decken können. Es wurden dann die Leitungen gezogen, die Spannungen bestimmt. Das ist natürlich die weitaus leichteste Aufgabe gewesen und auch eine Aufgabe, deren Resultat man immer recht leicht noch ändern kann, je nachdem die lokalen Verhältnisse eine andere Leitungsverlegung oder eine andere Spannung erfordern.

Die Schwierigkeit einer solchen großen Elektrizitätsversorgung besteht hauptsächlich darin, daß es Gebiete gibt, die wirtschaftlich sehr vorteilhaft sind, weil sie einen sehr dichten, einen sehr großen Konsum haben, und daß es andererseits Gebiete gibt, für die zwar der elektrische Strom für die Bevölkerung sehr nötig ist, die aber keinen so starken Konsum haben können; hier Industriegebiete, hier landwirtschaftliche Gebiete. Das war die größte und schwierigste Aufgabe auch bei der Errichtung des Bayernwerkes.

In den Industriekreisen Nürnbergs wollte man und hat dafür gekämpft, daß die Walchenseekraft direkt nach Nürnberg geführt wird, was sicherlich die rentabelste Lösung gewesen wäre, aber in Oberbayern, in Oberfranken usw. da sitzt die Landwirtschaft und das Kleingewerbe, die sich selbst keine Elektrizitätswerke bauen konnten, die aber Strom brauchten und ihn auch bekommen mußten, selbst wenn ein kleiner Verlust dabei entstand oder ein geringerer Profit für die Stromunternehmungen verblieb, und wir haben es durchgesetzt. In Bayern ist die Leitung nach allen Provinzen hin verlegt worden.

Es ist nicht zu befürchten, daß ähnliche Schwierigkeiten auch bei der künftigen Zusammenfassung der deutschen Elektrizitätswirtschaft auftreten werden, denn was vor 10 Jahren durch gesetzliche Maßnahmen erreicht und

durch mein Gutachten vorbereitet und begünstigt werden sollte, der Zusammenschluß der verschiedenen Elektrizitäts-Unternehmungen im Deutschen Reich, ist bereits erfolgt.

Die großen Gesellschaften, die sich im Westen und Osten, im Norden und Süden des Reiches gebildet hatten, haben sich zu einer Aktiengesellschaft für Deutsche Elektrizitätswirtschaft vereinigt, und für diese Gesellschaft werden die technischen und organisatorischen Aufgaben der künftigen Stromversorgung kein Hindernis mehr bilden. Eine Schwierigkeit bildet nur, wie auf allen Gebieten, auch auf dem der Elektrizitätsversorgung die allgemeine Wirtschaftslage der Welt.

Die Frage, wie man den Überschuß der Landwirtschaft zu den hungrigen Menschen bringen kann, wie man die kostbarste Kraft, die unbeschäftigte Menschenkraft, verwendet, um Produkte herzustellen, um Bauten zu errichten, die die Menschheit so nötig braucht, ist die gleiche Frage wie in der Elektrizitätswirtschaft, nämlich wie man den auf der einen Seite überschüssigen Strom an die Stellen bringt, wo Bedarf an elektrischer Energie vorhanden ist. Diese allgemein schwierige Frage muß gelöst werden und wird gelöst werden. Ist sie gelöst, dann werden auch die Ziele erreicht sein, die ich im Auge hatte, als ich bei der Durchführung der Frankfurter Kraftübertragung darauf hinwies, daß nunmehr die Mittel gegeben seien, von großen günstigen Energiequellen den elektrischen Strom über ganze Länder zu verteilen, damit im ganzen Deutschen Reich alle Städte und Gemeinden, alle Fabriken und Werkstätten, jedes Haus und jede Hütte mit billigem elektrischen Strom versorgt werden können.