

3 Die Schaffung des Drehstroms und Dolivo-Dobrowolskys Anteil

3.1 Stand der Starkstromtechnik in den 1880er-Jahren

In den Jahren, als sich der Student und Assistent Michael Dolivo-Dobrowolsky gründlich mit der Elektrotechnik befassen konnte, war die Starkstromtechnik als neuer Zweig gerade in der Phase des Aufbruchs begriffen. Die neue Energie Elektrizität sollte in der Bedeutung rasch zunehmen. Als eigentlicher Wegbereiter der Starkstromtechnik hatte sich das elektrische Licht erwiesen, denn maschinelle Antriebe in Gewerbe und Industrie erfolgten weiterhin mit Dampf- oder Wasserkraft. Die elektrische Beleuchtung hatte dank der Vakuum-Glühlampe und Dynamomaschine einen regelrechten Siegeszug angetreten. Große Bahnhöfe wurden zunehmend mit „dynamobetriebenen Elektrobirnen belichtet“. Die elektrische Beleuchtung hielt Einzug in dafür wie geschaffenen Gebäuden, als da waren: Theater, Fabriken, Gewerbebetriebe, Geschäfte und Gaststätten. Nach und nach erhielten auch Plätze und Straßen in größeren Städten elektrisches Licht.

Der Strom für die elektrische Beleuchtung wurde anfänglich in hauseigenen Lichtmaschinen selbst erzeugt, zunehmend dann in „Lichtzentralen“, welche als sogenannte „Blockstationen“ kleinere innerstädtische Gebiete mit Elektrizität versorgten. Der Antrieb der Dynamomaschinen erfolgte durch Dampfmaschinen oder Gas- bzw. Petroleummotoren. Solche Stationen mitten in Wohnquartieren waren nicht sonderlich beliebt; sie verursachten Geräusche und Abgase, und die umliegenden Anwohner fühlten sich im Fall von Dampfkraft durch das ständige Heranfahren des Brennstoffs Kohle nicht wenig belästigt. Außerdem schienen die Blockstationen nicht unbedingt als gefahrlos.

Ein grundsätzlicher Nachteil ging vom damals verwendeten Gleichstrom aus: die Reichweite der Versorgung war gering, d. h., größere Entfernungen zwischen Blockstation und Lichanlagen kamen nicht in Frage. Der Grund dafür lag in den hohen Anschluss-Strömen, weil die Glühlampen anfänglich für eine Spannung von nur 65 Volt ausgelegt waren. Allzu große Leiterquerschnitte hätten die Verbindungsleitungen mit den Dynamomaschinen unwirtschaftlich teuer werden lassen. Die Reichweite der elektrischen Versorgung betrug zunächst nur wenige hundert Meter. Sie konnte dann auf 1 bis 2 Kilometer erstreckt werden, als die Lampen-

spannung allmählich auf 100 bis 150 Volt erhöht und das Zweileitersystem zum Dreileitersystem mit z. B. 2×150 V erweitert wurde. Selbst Fünfleiteranlagen aber konnten die engen Begrenzungen beim Versorgungsradius nicht aufheben, wenn man nicht „ganze Kupferbergwerke in die Erde vergraben“ wollte.

Der Gleichstrom aber hatte keinesfalls nur Nachteile, im Gegenteil: Die Belastungsspitzen, welche in derartigen Kleinnetzen hauptsächlich während der Morgen- und Abendstunden auftraten, ließen sich mit Akkumulatorbatterien bequem auffangen, und die Batterien konnten in den Tagesstunden wieder aufgeladen werden. Allmählich kamen auch Elektromotoren in Gewerbebetrieben zum Einsatz, die günstigere Betriebseigenschaften als die Dampfkraft boten und welche zudem am Tag für eine bessere Auslastung der Blockstationen sorgten. Ein großes Plus für den Gleichstrom war auch, dass er in idealer Weise für elektrochemische Zwecke eingesetzt werden konnte.

Die Gründe, welche zur begrenzten Reichweite von Gleichstrom in den Stadtquartieren zuvor dargelegt wurden, galten in anderem Maßstab auch für Übertragungsleitungen, für die sich allerdings höhere Spannungen anboten. Solche Leitungen kamen in Betracht, wenn man die Kraftzentralen außerhalb der Städte zu errichten plante, oder als man gar daran dachte, die aus entlegenen Wasserkraften gewonnene Elektrizität in die Städte zu übertragen. Es gab mutige und auch erfolgreiche Versuche mit höheren Übertragungsspannungen: Anlässlich der Internationalen Elektrischen Ausstellung München 1882 führte der Franzose *Marcel Deprez* die erste Gleichstrom-Übertragung über eine gewöhnliche Telegrafeneileitung vom oberbayerischen Miesbach in den rund 57 km entfernten Münchener Ausstellungspalast vor, wo ein nur wenige PS starker Pumpenmotor gespeist wurde. Die Übertragungsspannung betrug 1500 bis 2000 Volt. Der Wirkungsgrad der Übertragung stellte sich mit rund 22 % zwar als sehr enttäuschend heraus, aber dies war vornehmlich durch die extreme Länge der Telegrafeneileitung und die ungünstigen Eisendrähte zu erklären. Der „Miesbacher Versuch“ wurde in den folgenden Jahren von Marcel Deprez zwischen Creil und Paris wiederholt. Die Übertragungsspannung lag zwischen 5000 und 6000 Volt, die Streckenlänge war 112 km, und es wurde ein Wirkungsgrad von 45 % erzielt.

Im Jahr 1886 gelang es der Maschinenfabrik Oerlikon in der Schweiz, eine Gleichstrom-Kraftübertragung über 8 km von Kriegsstetten nach Solothurn in Dauerbetrieb zu nehmen, wobei ein mittlerer Wirkungsgrad von rund 75 % – bei allerdings recht kurzer Leitung – erreicht wurde. Die hohe Übertragungsspannung von $2\frac{1}{2}$ kV wurde dadurch möglich, dass sowohl am Anfang als auch am Ende der Leitung je zwei in Reihe geschaltete Gleichstrommaschinen zur Verwendung kamen. Eine andersartige Lösung wurde vom Schweizer *René Thury* erdacht, der

gleich mehrere Generatoren und Motoren unter Konstanthaltung der Stromstärke in einer Ringleitung hintereinander schaltete. Bei einer seiner geglückten Ausführungen übertrug er im Jahre 1889 die Gesamtleistung von 630 kW bei einer höchsten Spannung von 14 kV auf einer Ringleitung, die rund 60 km überbrückte.

3.2 Beginn der Wechselstromtechnik

Eine neuartige Lösung für die Kraftübertragung konnte erstmals im Jahr 1884 an der Elektrizitätsausstellung in Turin mit Wechselspannung vorgeführt werden. Der Franzose *Lucien Gaulard* speiste mit einem Wechselstromgenerator versuchsweise die Beleuchtungsanlagen dreier Bahnhöfe über eine 80 km lange Schleifenleitung und verwendete dabei drei in Reihe geschaltete Induktionsspulen. Diese waren nichts anderes als Transformatoren mit offenem magnetischen Kreis. Gaulard hatte mit seiner Erfindung aber wenig Glück.

Mittlerweile hatte sich bei der Firma *Ganz* in Budapest eine Dreiermannschaft, angeführt von *Károly Zipernowsky*, der Parallelschaltung zugewendet und den Transformator mit geschlossenem Eisenkern und beliebiger Übersetzung ausgedacht. Das Transformator-Wechselstromsystem wurde auf der Budapester Industrieausstellung 1885 vorgeführt und anschließend auch in Lizenz vergeben. Damit hatte das Zeitalter der Wechselstromtechnik unwiderruflich begonnen.

Wechselstrom-Generatoren waren einfach zu bauen, indem man z. B. bei der Dynamomaschine den für Gleichstrom benötigten Kommutator durch zwei Schleifringe ersetzte und die Ankerwicklung daran anschloss. Die Generator-Wechselspannung konnte dann durch einen Transformator auf Hochspannung von mehreren tausend Volt für die Fortleitung gewandelt und von dort in Stationen auf die niedrigere Gebrauchsspannung wieder herabgesetzt werden. Damit hatten sich gute Aussichten für die Energieübertragung eröffnet. Was anfangs jedoch noch fehlte, waren Elektromotoren, die sich für dieses neue System eigneten.

3.3 Der Weg zum Drehfeld

Wechselstrommotoren haben gegenüber Gleichstrommotoren den Nachteil, dass sie bei Überlastung „außer Tritt fallen“ und stehen bleiben. Zudem entwickeln sie im Stillstand kein Anzugsmoment, d. h., es fehlt ihnen die Fähigkeit, von sich aus zu starten. Der Grund liegt in der Tatsache, dass das Magnetfeld einer Wechselstromwicklung fest an die Raumachse der Wicklung gebunden bleibt. Zur An-