

Fünfzig Jahre Drehstrom

Das Jahr 1887 bedeutet für die Elektrotechnik ein Datum. Mit Recht sagt der bekannte amerikanische Gelehrte Dr. B. A. Behrend



Dipl. Ing. M. Rakitch

dass in diesem Jahr nicht nur „der grosse Schlag“ der Entdeckung der elektromagnetischen Wellen gelungen wäre, wie sich Oliver Heaviside so geistreich ausdrückte, sondern dass auch „der grosse Schlag“ der Entdeckung des Drehstroms in demselben Jahre gelang. Nach Behrend ist der Induktionsmotor „ein gewaltiger Schlag“ nur sind, leider, zu wenige die es begreifen und einsehen können.

Die Herausgabe des Tesla-Gedenkbuches fällt gerade in ein Jubiläums-Jahr, in welchem wir 50 Jahre zurückblicken können auf eine unvergleichliche Entwicklung, welche sich sowohl in der Industrie, als auch in der

Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Anwendung der elektrischen Energie durch die Entdeckung des Drehstroms und durch die Erfindung des Induktionsmotors vollzogen hat.

Gerade vor 50 Jahren — im Frühjahr 1887 — gelang es Tesla in eigener Werkstatt einige Drehstromgeneratoren und Motoren zu bauen, und in eigenem Laboratorium zu prüfen und nachzuweisen, dass sein System der Drehstromkraftübertragung technisch ein vollkommenes und praktisch ein anwendungsreiches Werk darstellt. Diese experimentellen Resultate führten bekanntlich zur Anmeldung von Teslas Grundpatenten noch in demselben und zu weiteren zahlreichen Patenten im nächsten Jahre. Es ist überflüssig darauf hinzuweisen, dass Tesla zur Entdeckung des Drehstroms bereits 1882 gekommen ist. Sein ganzer Lebenslauf beweist es. Für uns

Techniker ist aber der Nutzeffekt einer Maschine entscheidend. Tesla hat eben erst 1887 praktisch nachgewiesen, dass sein Motor einen dem Gleichstrommotor gleichwertigen Nutzeffekt zeigt, und das berechtigt uns heute von fünfzig Jahren des Drehstroms zu sprechen.

Zu einer Zeit, als die Anwendung der elektrischen Energie solche Ausmasse genommen hat, dass man in den meisten civilisierten Staaten wohl kaum ein Dorf noch finden könnte, in welchem elektrisches Licht und elektrische Kraft fehlen würden, und wo der elektrische Strom für landwirtschaftliche Zwecke — für Be- und Entwässerung, verschiedene Maschinen und Apparate für Viehutterzubereitung etc. — und selbst für Koch — und Heizzwecke ausgenutzt wird, — um von Millionen von Motoren für alle denkbaren Antriebe gar nicht zu reden, — haben wir die Pflicht einen Blick auf die Zeit der ersten Anfänge des Drehstroms zu werfen. Diese Zeit charakterisiert sehr treffend der berufenste auf diesem Gebiete, der berühmte Assistent Teslas Prof. C. F. Scott von der Yale-Universität und ich zitiere deshalb folgende seine Worte:

„Wenn man alle bedeutenden Faktoren der Zivilisation des neunzehnten Jahrhunderts betrachtet, in welchem die Lokomotive und das Dampfschiff aus der Welt eine kompakte Einheit gemacht haben und in welchem die industrielle Revolution die produzierende Kraft stark vergrößert und unsere Lebensweise transformiert hat, so müssen wir bis zur Dampfmaschine zurückgehen. Die Dampfkraft als Ergänzung der animalischen war die Antriebskraft welche die Veränderungen in der Zivilisation des letzten Jahrhunderts hervorgebracht hat.

In dem neuen Jahrhundert ist eine neue Beschleunigung oder eben eine neue industrielle Revolution gekommen. Und wieder ist es Kraft, wieder Kraft, eine neue Art von Kraft, bewegliche, geschmeidige Universalkraft - Elektrische Kraft, welche unsere Zivilisation wieder transformiert.

Zu unserer heutigen Methode der Verwendung der elektrischen Kraft hat Nikola Tesla den grundlegenden Beitrag geliefert. Der Induktionsmotor welcher im allgemeinen Gebrauch ist und das Mehrphasensystem, durch welches praktisch die ganze elektrische Kraft heute erzeugt und übertragen wird, sind in den Tesla am 1. Mai 1888 erteilten amerikanischen Patenten offenbart worden. Um die Bedeutung dieser Erfindungen in ihren wesentlichen Merkmalen zu würdigen ist es notwendig den Stand der Technik zu der damaligen Zeit zu betrachten und ihre nachträgliche Entwicklung zu Kennzeichnen. Vor der Einführung der Teslaschen Methoden war der elektrische Dienst in sehr geringem Grade vertreten. Die Bogenlampenbeleuchtung erforderte einen eigenen Generator und

Stromkreis für jede Gruppe von 50 bis 100 Lampen. Die Glühlampenstromkreise waren am Anfang mit Gleichstrom gespeist, und das Dreileitersystem war damals in seinem Radius so begrenzt, dass viele unabhängige Zentralen erforderlich waren um eine grosse Stadt zu beleuchten. Elektrische Bahnen forderten eine andere Maschinentype für Stromerzeugung. Wenige Motoren wurden mitunter von Lichtstromkreisen und mitunter von ihren eigenen Spezialstromkreisen und Generatoren betrieben. . .

Tesla brachte den Induktionsmotor hervor, welcher für den Wechselstrom verwendet wurde der in seiner Konstruktion und im Betrieb von wunderbarer Einfachkeit war. Seine Patente wurden unmittelbar von George Westinghouse, dem bedeutenden Verfechter des Wechselstroms, erworben. Zuerst bestand Hoffnung, dass der neue Motor in gewisser Weise für zufriedenstellende Arbeit in den bestehenden Einphasenlichtstromkreisen ausgebildet werden könnte. Der Motor erforderte aber Mehrphasenstromkreise und niedrigere Frequenz. Die elektrischen Lichtgesellschaften zögerten ihre Generatorstationen vollständig umzubilden um sie für Stromlieferung für Motoren zu befähigen und so konnte der Motor seine breite Bestimmung als Ergänzung des Beleuchtungsdienstes nicht vollführen, sondern musste in seinem eigenen neuen Felde verwendet werden.

Früh in den neunziger Jahren war die bedeutendste elektrische Entwicklung in der Welt das Kraftwerk an den Niagara Fällen. In der Entwicklung eines Unternehmens, welches weit mehr Kraft zu erzeugen beabsichtigte, als an einem einzelnen Platz gebraucht wurde, wurde es für wesentlich betrachtet, dass die Kraft durch grosse Wasserturbinen ununterbrochen erzeugt und auf bedeutende Flächen verteilt wird. Eine internationale Niagarakommission mit Experten aus verschiedenen Ländern suchte Vorschläge für Methoden für diese Kraftverteilung. Die empfangenen Projekte hatten hydraulische Übertragung, Übertragung mit komprimierter Luft, und mit Elektrizität in Vorschlag gebracht, einige schlugen den Gleichstrom vor und ein Vorschlag bezog sich auf den Mehrphasenwechselstrom. Lord Kelvin, der Vorsitzende der Kommission, und der berühmte Erfinder Edison verlangten energisch den Gleichstrom. Westinghouse nahm nicht Anteil an dieser Bewerbung, empfahl aber später energisch den Mehrphasenwechselstrom, welchen seine Gesellschaft ausnutzte. Das Niagara Unternehmen entschied sich, nachdem es vergeblich in der ganzen Welt für ein hochwertiges Kraftsystem gesucht hatte, für den Mehrphasenwechselstrom, also für das Tesla=System.

Die Niagara Zentrale inaugurierte 1895 die grosse Epoche des Ueberganges von der mechanischen Kraft in der Industrie des neunzehnten Jahrhunderts auf die allgemeine elektrische Kraft von heute. Eine neue Kraftmethode war somit inauguriert. Früher wurde die Kraft in jeder Fabrik durch eigene Wasserräder oder Turbinen lokal erzeugt. Jetzt sollte in einer Zentralstation Kraft erzeugt und verteilt werden, die für hundert und mehr Fabriken genügte. Diese sollte elektrisch auf grosse Entfernungen übertragen und verteilt werden. Die elektrischen Generatoren von je 5000 PS waren viele Male grösser als die jemals vorher gebauten.

Das neue Mehrphasensystem ermöglichte weiter, dass Elektrizitäts Verbraucher aller Art von einer Quelle gespeist wurden, anstatt dass viele kleine Maschinen verschiedener Typen arbeiteten, wie das damals in der Praxis allgemein üblich war. Diese verschiedenen Systeme und Stromkreise wurden durch ein umfassendes System für den Universaldienst ersetzt. Der Pionierzentrale die an der Niagara inauguriert wurde, folgten andere. Die heutigen Kraftsysteme in der ganzen Welt und jene, die für die Zukunft projektiert werden, verwenden den Mehrphasenwechselstrom, das System, welches Tesla 1888 vorgeschlagen hat. Der Induktionsmotor der in seinem Grundprinzip so schön und in seiner mechanischen Konstruktion so einfach ist, wurde in der ersten Zeit als die grosse Leistung von Tesla angesehen, während das Mehrphasensystem als ein einfaches Mittel für die Stromspeisung des Motors betrachtet wurde. In der Entwicklung der elektrischen Kraft hat aber gerade das Mehrphasensystem als das Universalsystem für Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Ausnutzung der Elektrizität in jeder Form die grosse Kraftentwicklung von heute ermöglicht. Es ist keine andere Methode bekannt, die das erfüllen könnte, was heute mit dieser Methode erfüllt wird....“

Vorstehende Ausführungen sind aus zwei Gründen interessant.

Zunächst die Feststellung dass noch Anfang der neunziger Jahre sowohl der grosse Physiker Lord Kelvin, als auch der berühmte Erfinder Edison der Meinung waren, dass die Kraftübertragung an der Niagara durch Gleichstrom zu erfolgen hat, obwohl damals das Drehstromsystem von Tesla bereits allgemein bekannt war. Lord Kelvin ist nicht nur ein grosser Theoretiker gewesen, sondern galt auf dem Gebiete der Kabel für Telegraphie u. zw. für Transoceanikabel als eine Autorität. Er hat auch auf dem Gebiete der Kraftübertragung eine massgebende Rolle gespielt. Edison indessen hatte bekanntlich ein ganzes System der Gleichstromverteilung entwickelt, und mit seiner Glühlampe bereits eine ansehnliche elektrische Industrie geschaffen.

Dass solche Kapazitäten den Gleichstrom dem Tesladrehstrom für überlegen fanden, beweist wie sehr man damals an massgebenden Stellen überzeugt war, dass der Gleichstrom die einzige Stromart wäre, welche für die allgemeine Elektrifizierung und für die Kraftübertragung in Frage käme. Umsomehr sind Tesla's Verdienste anzuerkennen und umso höher einzuschätzen. Tesla fühlte bereits zehn Jahre vorher dass man mit Gleichstrom keine nennenswerten Entfernungen bewältigen kann. Seine Entdeckung des Drehstroms schuf bei ihm die Überzeugung dass er ein neues System und eine neue Stromart entdeckt hätte, welche imstande wären das Problem der Kraftübertragung vollständig zu lösen. In seinen grundlegenden Patenten steht das ausführlich beschrieben. Hinsichtlich des Dreiphasenstroms steht sogar dass derselbe gegenüber dem Zweiphasenstrom besondere Vorteile aufzuweisen habe, denn durch diese Anordnung erhalte man ein konzentrierteres und stärkeres Feld. In weiteren grundlegenden Patenten haben wir die Sternschaltung, Verwendung von nur drei Verbindungsleitungen zwischen der Erzeugung und der Verbrauchsanlage, die Parallel — und Hintereinanderschaltung bei der Drehstromverteilung etc, mit einem Worte alle Grundlagen der heutigen Drehstromverteilung, und Übertragung. Alles das war Lord Kelvin und Edison Anfang der neunziger Jahre sehr wohl bekannt. Dass solche Wissenschaftler aber trotzdem beim Gleichstrom verblieben, zeigt nur wie sehr man damals gegen Wechselstrom voreingenommen war. Umsomehr muss das Verdienst Tesla's für die Durchsetzung des Drehstromsystems bewertet werden.

Damit kommen wir zur zweiten wichtigen Feststellung, nämlich zu der, dass in der ersten Zeit der Induktionsmotor als die grosse Leistung von Tesla angesehen wurde, während sein System als ein einfaches Mittel für die Stromspeisung des Motors betrachtet wurde. Tesla hat jedoch bereits vom Jahre 1887 angefangen das System selbst in den Vordergrund gestellt, denn sein grundlegendes Patent 382.280 vom 12. Oktober desselben Jahres hat den Titel „Elektrische Kraftübertragung“. In ihm ist auseinandergesetzt worden dass das Drehstromsystem als solches nicht nur für die Kraftübertragung, sondern auch für die Stromverteilung in Betracht kommt. In Patent 390.413 vom 10. April 1888 ist sogar gezeigt worden, wie dieses System sowohl für die Antriebe von Motoren als auch für die Speisung von Glühlampen durch Vermittlung der Transformatoren ausgenutzt werden kann.

Daraus geht klar hervor, dass Tesla das ganze Problem der heutigen Energieversorgung klar vorausgeschaut und dass er uns vor 50 Jahren ein System gegeben hatte, welches genau nach seinen Voraussetzungen den Weg der Elektrotechnik gezeichnet hatte. Wir haben in den letzten 50 Jahren seinen Weg beschrritten und sind

heute an einem Punkt angelagt, an dem wir mit Sicherheit behaupten können, dass das Werk Tesla's vor 50 Jahren das Werk eines genialen Bahnbrechers war, welches sich seine Stellung in der Technik trotz grösster Widerstände erobern musste, weil dasselbe die einzige brauchbare Lösung der Kraftübertragung und der Energieverteilung bedeutete.

In diesem Zusammenhang müssen wir noch eine Leistung Tesla's erwähnen. Das Drehstromsystem hat deshalb so schnell die ganze Welt erobert, weil Tesla die Mittel angab wie man sehr hohe Spannungen für Kraftübertragungszwecke erzeugen konnte. Für Tesla war es von Anfang an klar, dass für die Kraftübertragung auf sehr grossen Entfernungen sehr hohe Spannungen in Betracht kamen. Er stellte deshalb bereits 1890 grosse Untersuchungen an, um mit gut ausgekochtem Öl die Isolierung der Transformatoren und anderer Apparate zu verwirklichen und schon Anfang 1891 zeigte er dass mit Ölisolierung Spannungen von mehreren 100.000 Volt erreichbar wären.

In seinem Vortrage in London (1892) sagt er nämlich ausdrücklich folgendes:

„Bei der Verwendung von sehr hochgespannten Wechselströmen kann man nicht genug Vorsichtsmassregel treffen, um die Büschelentladungen zu verhindern. In einer solche Ströme führenden Leitung, in einer Induktionsspule oder einem Transformator oder in einem Kondensator ist die Büschelentladung eine grosse Gefahr für die Isolation... Und da es beinahe unmöglich erscheint solche kleine Unvollkommenheiten zu vermeiden, so bin ich zu der Ansicht gekommen, dass bei der elektrischen Energieverteilung mittels Strömen von sehr hoher Spannung in Zukunft flüssige Isolation Verwendung finden soll. Die Kosten sind allerdings ein grosses Hindernis; wenn wir aber Öl als Isolator verwenden, wird die Verteilung der elektrischen Energie von etwa 100.000 Volt oder mehr, so leicht, dass man sie kaum ein technisches Kunststück nennen kann. Mit Ölisolation und Wechselströmen können Kraftübertragungen mit Sicherheit und auf industrieller Grundlage auf Entfernungen bis zu etwa anderthalbtausend Kilometer ausgeführt werden.“

Wir sehen hier dass Tesla von hunderttausend und mehr Volt spricht und dass er Kraftübertragungen auf Entfernungen bis zu anderthalbtausend Kilometer ins Auge fasst. Das ist ungefähr dasjenige was wir heute beinahe verwirklicht haben. Seine Voraussage vor bald 50 Jahren war demnach ganz reell, denn sie beruhte auf experimentellen Resultaten, da er bereits in der damaligen Zeit so hohe Spannungen erzeugte. Daher seine Behauptung dass mit so hohen Spannungen grosse Energien praktisch auf sicherer Grundlage

auf sehr grossen Entfernungen ausnutzbar wären. Tesla's Hochspannungsexperimente haben Anfang der neunziger Jahre die ganze technische Welt so impressioniert, dass man sich diesen neuen Forschungen unmittelbar hingegeben hatte. Wenn man die Fachzeitschriften der damaligen Zeit durchblättert, kann man leicht die Tatsache feststellen, dass die führenden Elektriker, unter dem gewaltigen Einfluss von Tesla angefangen hatten sich mit dem Problem der Verwendung von hohen Spannungen für Kraftübertragungszwecke zu beschäftigen, was zur Ausbildung der Transformatoren und Apparate für Spannungen von mehreren hunderttausend Volt für Kraftverteilungszwecke führte. (Siehe Bokšan Seite 71 u. 150, u. Bulletin de la Société Internationale des Electriciens № 89, 1892).

Ich will hier noch auf das Patent 611719 von Tesla (vom 10-XII-1897) aufmerksam machen, in welchem Tesla über Stromunterbrechungen bei sehr hohen Spannungen spricht, die in komprimierten Gasen erfolgen.

Tesla sagt darin u. a. folgendes:

„Ich habe einige ideale Bedingungen für das Medium gefunden, in welchem das Schliessen und Unterbrechen stattfinden soll u. zw.:

1.) Das Medium, welches die Kontaktstellen umgibt, muss möglichst hohe Isolierfähigkeit haben, so dass die Pole auf eine ausserordentlich kurze Entfernung zu einander gebracht werden können, bevor der Strom den Zwischenraum durchschlägt.

2.) Die Wiederherstellung des beschädigten Dielektrikums, d. h. seiner Isolierfähigkeit muss momentan sein damit die Zeit während welcher die Verluste in erster Linie vorkommen auf das Minimum reduziert wird.

3.) Das Medium muss chemisch inert sein, damit die Zerstörung der Elektroden, so weit es irgend möglich ist, verringert wird und damit chemische Prozesse welche die Wärme entwickeln und die Verluste erhöhen, ausgeschaltet werden.

4.) Das Nachgeben des Mediums unter dem Druck der elektrischen Spannung darf nicht langsam, sondern muss sehr plötzlich erfolgen, unter Krach, wie wenn ein Stück Glas in einem Schraubstock zerdrückt wird.

5.) Das Medium muss so sein, und das ist das Wichtigste, dass der Lichtbogen sofort nach seinem Entstehen auf geringste mögliche lineare Dimensionen beschränkt wird und dass er an Ausbreitung und Ausdehnung verhindert wird.

Als ein Schritt zur Realisation dieser theoretischen Forderungen war bei einigen meiner Oszillatoren, die Anwendung von hoch isolierenden Flüssigkeiten, wie Hydrocarbon, welche sich mit grosser Geschwindigkeit durch den Raum der Elektroden

bewegten. Hierdurch waren grosse Vorteile erreicht. Auf diese Weise wurden einige obiger Bedingungen erfüllt, es blieb aber der Nachteil, welcher auch dem Vacuum anhaftet, dass der Lichtbogen in Länge und Breite zunahm, wodurch grosse Verluste vorkamen. Um diese Nachteile auszuschalten und um alle obiger Bedingungen zu erfüllen, benutze ich ein unter *Druck stehendes gasförmiges hochisolierendes Medium* . . . *Ich habe praktisch beobachtet dass der Lichtbogen in einer solchen unter Druck stehenden Gasatmosphäre in seinem Querschnitt im Verhältnis zum Druck reduziert wird, wodurch eine grosse Ökonomie der Energie erzielt wird.* Ein weiterer grosser praktischer Vorteil ist, dass die Isolierfähigkeit eines solchen komprimierten Mediums auch bei sehr grosser Erhöhung der Temperatur nicht leidet und auch bei grosser Variation des Druckes arbeitet der Oszillator ohne Nachteile . . .“

Die hier entwickelten Ideen scheinen in den modernen Druckluftschaltern ein breites Anwendungsgebiet gefunden zu haben.

Es ist nicht meine Absicht einen langen Artikel über Tesla's diesbezügliche Arbeiten zu schreiben, ich wollte nur daran erinnern, dass sich im Jahre 1937 das fünfzigste Jahr wiederholt seit Tesla sein Drehstromsystem als fertiges Werk der Welt gegeben hatte und dass die Welt allen Grund hat dieses Jubiläumsjahr gebührend zu würdigen.

Dipl. Ing. M. Rakitch
Dozent an der Universität in
Beograd