

Nikola Tesla als Wegbereiter der drahtlosen Telegraphie

Es gereicht mir zur hohen Ehre, in Nikola Teslas Vaterland einige Ausführungen über seine Bedeutung für die drahtlose Telegraphie machen zu dürfen. Ich habe als Student die damals neuen Entdeckungen Teslas kennen gelernt, und später habe ich als Beamter der Deutschen Reichspost Jahrzehnte lang Gelegenheit gehabt, auf dem Gebiet der Hochfrequenztechnik zu arbeiten.

Nikola Teslas Verdienste waren eine Zeitlang nur noch denen bekannt, die in den neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts den Weltruhm dieses genialen Forschers hatten aufblühen sehen; denn später wurde sein Name immer seltener genannt, wenigstens in der breiten Öffentlichkeit.

Die drahtlose Telegraphie hat in den vier Jahrzehnten ihrer Entwicklung zahlreiche Wandlungen durchgemacht. Das ursprüngliche System der Schwingungserregung mit langsamer Funkenfolge ist heute verschwunden; ihm folgte das System der tönenden Löschfunken, das ungefähr zehn Jahre lang die Radiotechnik beherrscht hat; daneben wurden die Flammenbogensender und die Hochfrequenzmaschinen durchgebildet; und alle diese Systeme der Erregung hochfrequenter Wechselströme hat Tesla schon im vorigen Jahrhundert gekannt und beschrieben. Erst die Elektronenröhre ist unabhängig von Teslas Forschungen entstanden.

Mit diesen Wandlungen, die die Hochfrequenztechnik im Laufe ihrer Entwicklung durchgemacht hat, haben sich naturgemäss auch die Anschauungen und viele Bezeichnungen geändert. Aus Problemen, die früher umstritten waren, sind Selbstverständlichkeiten geworden, und manche Ausdrücke sind veraltet. Unter diesen Umständen bereitet es der jungen Generation vielleicht einige Schwierigkeiten, den Geist Teslas in der heutigen Technik zu erkennen. Doch ist in den letzten



Prof. Dr. F. Kiebitz

Jahren viel geschehen, um die Erinnerung an Teslas wissenschaftliche und technische Grosstaten wieder aufleben zu lassen; im besondern is durch Herrn Bokschans Bücher ein so umfangreiches Material über Teslas Werk vor aller Öffentlichkeit gleichsam von neuem beurkundet worden, dass es überflüssig erscheinen könnte, wenn ich heute das Wort nehme, um Teslas Verdienste um die drahtlose Telegraphie von neuem zu betonen. Ich stelle mir darum nicht die Aufgabe, aus seinen Büchern und aus der Fülle seiner Patentschriften neue Beweise für Teslas umfassende Prioritäten zu bringen; vielmehr hoffe ich, einiges Interesse für den Versuch zu finden, die Gedankengänge, die experimentellen Mittel und die wissenschaftlichen Methoden in Erinnerung zu bringen, die in den neunziger Jahren im Vordergrund des Interesses standen. Denn wenn Teslas Werk, selbst an modernen Masstäben gemessen, als mächtiger Beitrag zu der heutigen Kultur vor unsern Augen steht, so können wir das persönliche Verdienst des Schöpfers doch nur dann voll würdigen, wenn wir die Vorstellungen der Zeit wieder aufleben lassen, aus der es geboren wurde.

Die Entdeckung der Teslaströme wurde in den Jahren 1891 bis 1893 bekannt, also kurz nach der Entdeckung der elektrischen Wellen durch Heinrich Hertz. Die Hertzschen Versuche brachten eine ungeahnte Bestätigung der Maxwellschen Lehre, insbesondere seiner Theorie vom elektromagnetischen Charakter des Lichtes. Doch war noch jahrelange Arbeit erforderlich, bis es gelang, alle elektromagnetischen Vorgänge der Maxwellschen Lehre entsprechend als Nahewirkungen aufzufassen, d. h. als Wirkungen, die sich von Ort zu Ort fortpflanzen und dazu Zeit gebrauchen. Die Schwierigkeiten, die es bereitete, dieses von Maxwell in seinen Feldgleichungen formulierte Grundgesetz des Elektromagnetismus zur Geltung zu bringen, nahmen die Physiker in grossem Umfang in Anspruch. Sie waren von zweierlei Art: Einmal ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Felder so gross, dass sich fast alle Vorgänge die vor Hertz bekannt waren, unter irdischen Verhältnissen in unmessbar kleinen Zeiten einstellen; nur in der Kabeltelegraphie spielte der Zeitbedarf der elektrischen Vorgänge eine Rolle. Zweitens konnten im Zusammenhang damit alle Vorgänge, die vor Hertz bekannt waren, mit den Fernwirkungsgesetzen als elektrische und magnetische Inductionerscheinungen genügend genau beschrieben werden, also auf Grund der Gesetze von Coulomb und von Biot und Savart; das sind die elementaren Fernwirkungsgesetze, die das zeitliche Zustandekommen der beobachteten Felder nicht berücksichtigen.

Heinrich Hertz hat elektromagnetische Felder verwirklicht, die sich nicht durch Induktionsgesetze beschreiben lassen; sie sind nach Amplitude und Phase von den induzierten Feldern verschieden; sie

haben ein anderes Entfernungsgesetz; sie sind nicht an Leiter gebunden, sondern können sich frei im Raume ausbreiten. Diese wellenförmigen Strahlungsfelder können nicht mit den Fernwirkungsgesetzen berechnet werden. Ihre strenge Beschreibung ist Heinrich Hertz für den Fall gelungen, dass sie von einer punktförmig schwingenden Ladung erregt werden, also von einem Dipol, und diese Beschreibung besteht in einer Integration der Maxwellschen Feldgleichungen, beruht also auf der Vorstellung, dass die elektromagnetischen Erscheinungen Nahwirkungen sind.

Einige Jahre nach den Entdeckungen von Heinrich Hertz ist Maxwells Lehre zur allgemeinen Anerkennung gelangt durch die Werke von Boltzmann, Poincaré, J. J. Thomson und Drude. Seitdem sehen wir in den Gesetzen von Coulomb und Biot-Savart Näherungsgesetze, die in der Hertzschen Lösung als spezielle Fälle enthalten sind und diejenigen elektromagnetischen Erscheinungen beschreiben, bei denen in grösserer Ferne keine elektromagnetischen Felder mehr nachweisbar sind.

In die Jahre, als dieser Wandel der Grundanschauungen sich vollzog, fällt Teslas Entdeckung der Hochfrequenzströme; sie schloss sich an die epochemachende Erfindung der Mehrphasenströme und der Kraftübertragung an. Die Teslaströme sind wesensverwandt mit den Schwingungen, die der Funke im Hertzschen Sender auslöst; andererseits haben sie Vorgänger in den oszillatorischen Kondensatorentladungen, mit denen z. B. Feddersen und Lodge gearbeitet hatten. Vollkommen neu ist bei Tesla die Transformation auf hohe Spannungen und im Zusammenhang damit die Beherrschung grosser elektrischer Leistungen. Seiner erstaunlichen Experimentierkunst gelang es, eine Fülle bisher unbekannter Erscheinungen zu entdecken, die unübersehbare technische Möglichkeiten erschlossen.

Es tut der Grösse Teslas keinen Abbruch, dass er sich nicht sofort als einziges Ziel eine Entwicklung der drahtlosen Telegraphie gesetzt hat, also desjenigen Zweiges seiner Hochfrequenztechnik, der heute zu besonderer Blüte gelangt ist. Er hat daneben viele andere Anwendungsmöglichkeiten ins Auge gefasst, die noch heute Bedeutung haben. Vor allem hat er das gesammte experimentelle Rüstzeug für die technische Durchbildung der Hochfrequenztechnik bereits im vorigen Jahrhundert in einem Umfang beherrscht und zum grössten Teil selbst geschaffen, der leider in der breiten Öffentlichkeit lange Zeit vergessen war. Seit seinem 75. Geburtstag haben seine Freunde und Verehrer das reiche Material ans Tageslicht gezogen, das Teslas Prioritäten enthält. Wir wissen heute, dass nur wenige Fortschritte in der Geschichte der drahtlosen Telegraphie vorgekommen sind, die nicht durch die genialen Intuitionen Teslas

und durch seine experimentelle Kunst zum mindesten angebahnt worden sind.

Diese experimentelle Erschliessung eines technischen Neulandes ist neben der weiteren Entwicklung der von Heinrich Hertz entdeckten elektrischen Wellen fast zehn Jahre lang hergegangen, ohne dass ihr Zusammenhang erkennbar wurde. Die Hertz'schen Wellen wurden unter ganz anderen Gesichtspunkten erforscht; die Frage, ob der Hertz'sche Sender ein Spektrum von Wellen aussendet, oder ob seine Strahlung als ein gedämpfter Wellenzug aufzufassen ist, spielte eine grosse Rolle; der erste Standpunkt wurde von Sarasin und De la Rive vertreten, der Zweite von Poincaré und Bjerknes. Die Aktivität der Funken wurde gesteigert. Lecher entdeckte die stehenden Hertz'schen Wellen an Drähten. Die Mittel zum Nachweis der Wellen wurden verfeinert; ich erinnere an die Leuchttröhen mit Hilfsspannung, die Zehnder angegeben hat, und an die Righi'schen Streifen. Daneben wurden die Hertz'schen Wellen von Righi und von Lebedew verkürzt mit dem Ziele, den Zusammenhang mit den Wärmestrahlen enger zu gestalten und die Verwandtschaft zwischen Hertz'schen Wellen und optischen Wellen fester zu begründen.

Auf der andern Seite erzeugte Tesla hochgespannte Wechselströme, mit denen er Blitze nachahmen konnte. Mit Funken- und Flammenbogensendern und mit Hochfrequenzmaschinen erregte er hochfrequente Wechselströme, die er starkstrommässig am Fuss eines sonst isolierten Luftleiters der Erde zuführte; und im Jahre 1897 war Teslas drahtlose Telegraphie vollendete Tatsache; wenige Jahre später benutzte er die Ausbreitung hochfrequenter Wellen, um in Entfernungen von mehreren Kilometern Glühlampen zum Leuchten zu bringen und Kohärer auf Entfernungen von 1000 km zu erregen.

So verschieden war in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts die Arbeitsweise und die Zielsetzung bei Tesla von der Erforschung Hertz'scher Wellen. Es lag darum bestimmt nicht auf der Hand, die Wellen, die Tesla mit seinen Hochfrequenzströmen darstellte, mit den Hertz'schen Wellen zu identifizieren; zudem war bekannt, dass Hertz selbst die Möglichkeit, mit seinen Wellen auf drahtlosem Wege zu telegraphieren, sehr vorsichtig beurteilt hatte.

Erst Marconi, der als Righi's Schüler zunächst die eigentlichen Hertz'schen Wellen ins Auge gefasst hatte, hat die Fernwirkungen, die von hochfrequent erregten Luftleitern ausgehen, als Hertz'sche Wellen angesprochen. Und im Jahre 1898 erbrachte Max Abraham den strengen Nachweis dafür, dass bei der drahtlosen Telegraphie die Wellen in der Atmosphäre mit der Hertz'schen Lösung vollkommen beschrieben werden können, sofern die Erde als ein vollkommener und ebener Leiter und die Atmosphäre als ein vollkommener

und homogener Isolator wirkt. Damit war die Möglichkeit geschaffen, die Fernwirkung der Antennen mit einiger Annäherung zu berechnen, und zugleich ein günstiger Resonanzboden für das wissenschaftliche Interesse an der Entwicklung der drahtlosen Telegraphie gefunden. Wir haben uns seitdem gewöhnt, in der drahtlosen Telegraphie eine Anwendung der Hertz'schen Wellen zu sehen, und niemand kann die Berechtigung dieser Auffassung bestreiten. Andererseits ist aber in sehrlosem Zusammenhang mit den Arbeiten von Hertz die Technik der Hochfrequenzströme und die Ausbreitung elektrischer Wellen durch Antennen von Nikola Tesla so vollkommen offenbart worden, dass es nahe liegt, die Frage zu erörtern, ob sich ohne die Entdeckung von Heinrich Hertz die drahtlose Telegraphie viel anders entwickelt haben würde, als es tatsächlich geschehen ist.

Diese Frage ist zum Teil wirtschaftlicher Art; und zu dieser Seite der Angelegenheit kann man nur Vermutungen anstellen, die keine Ueberzeugungskraft haben. In physikalisch-technischer Hinsicht muss man aber zu Nikola Teslas Gunsten als geschichtliche Tatsachen die folgenden Erfindungen buchen, die er bestimmt ohne Zusammenhang mit den Arbeiten von Heinrich Hertz gemacht hat: Den Luftleiter in Verbindung mit einem Erdanschluss auf der Sender- und Empfängerseite sowie die starkstrommässige Erregung der Sendeanenne mit hochfrequentem Wechselstrom. Dabei waren die Mittel, die er zur Erregung der hochfrequenten Wechselströme benutzte, in der Hauptsache Eunkenmethoden und Hochfrequenzmaschinen, also Mittel, die Jahrzehnte lang nicht übertroffen worden sind und noch heute eine Rolle spielen. Im besondern hat er den geschlossenen Erregerkreis mit dem offenen Antennenkreis gekoppelt und damit die Wirkung des Teslatransformators für die drahtlose Telegraphie nutzbar gemacht. Auf der Empfangseite benutzte er umgekehrt den Antennenkreis, den er mit einem abgestimmten Indikatorkreis koppelte. Seine Indikatoren waren lose Kontakte und hatten in der Branly'schen Röhre einen Vorgänger.

Die Schwierigkeiten, die das experimentelle Arbeiten auf dem Gebiet der Hochfrequenztechnik damals bot, als es von Tesla erschlossen wurde, können wir ermessen, wenn wir uns vergegenwärtigen, dass die instrumentellen Hilfsmittel, die heute jedem Amateur in reicher Auswahl zur Verfügung stehen, damals fehlten und erst geschaffen werden mussten; so waren noch keine Abstimmittel konstruktiv durchgebildet, sondern die Abstimmung musste in der Hauptsache durch richtige Bemessung der Stromkreise herbeigeführt werden.

Doch kehren wir zu dem Gedankenspiel zurück, wie die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie ohne die Entdeckung der Hertz-

schen Wellen ausgesehen hätte. Sender und Empfänger hätten wir bauen können, und die Vervollkommnung der Sender und Empfänger, die wir erlebt haben, wäre auch möglich gewesen. Aber der Vorgang der Wellenausbreitung und der Antennenstrahlung wäre zunächst nicht rechnerisch zu erfassen gewesen. Dass die ausgestrahlten Felder viel grösser sind als die in derselben grossen Entfernung induzierten Felder, wusste Tesla und dass sowohl in der Erde wie in der Atmosphäre eine Wellenausbreitung stattfindet, erörtert er schon in dem Buche, das Thomas Commerford Martin 1893 herausgegeben hat; er hat es sogar für möglich gehalten, dass man die ausgestrahlten Felder soweit steigern kann, dass eine drahtlose Kraftübertragung gelingt. Die Berechnung der Strahlungsfelder der Atmosphäre wäre aber ohne die Kenntnis der Hertzschen Lösung der Maxwell'schen Feldgleichungen nicht ohne weiteres möglich gewesen. Es ist jedoch durchaus denkbar, dass sie auf anderm Wege gelungen wäre; die Messung der Antennendämpfung und der Ströme, die sich vom Antennenfuss aus flächenförmig ausbreiten, hätte man in gutem Einklang mit der bei flächenförmiger Stromausbreitung einzig möglichen Vorstellung gefunden, dass die Dichte der Ströme, die man im Antennenfusspunkt der Erde zuführt, in einigem Abstand umgekehrt proportional mit der Entfernung abnimmt; und daraus hätte sich ergeben, dass auch die Stärke der elektromagnetischen Felder in der Atmosphäre, von denen diese Ströme Begleitet sein müssen, linear mit der Entfernung abnehmen und nicht wie induzierte oder influenzierte Felder nach einer höheren Potenz der Entfernung. Damit wäre aber das Entfernungsgesetz, das wir als ein Ergebnis der Theorie von Hertz kennen, auf anderm Wege gefunden, und nur die Abschätzung der Strahlungsfelder von den induzierten Feldern wäre problematisch geblieben.

Der Begriff der Wellenlänge als Mass für die Periode hätte sich ohne die Kenntnis der Lecherschen Drahtwellen kaum einbürgern können, was aber kein Hindernis für die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie gewesen wäre. Die ersten stehenden Wellen im Raum hätte man wahrscheinlich in dem Interferenzgebiet gefunden, das zwischen zwei Sendern auftritt, die auf gleicher Frequenz betrieben werden.

Im ganzen sehen wir, dass ohne die Kenntnis der Hertz'schen Wellen die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie mit langen Wellen allein auf Grund von Teslas Werk auch möglich gewesen wäre. Anders sieht es erst auf dem Gebiet der Kurzwellentechnik aus, im besondern der Richtungs-telegraphie mit kurzen Wellen; hier liegen Aufgaben vor, deren Lösung auf den Entdeckungen von Hertz beruht.

Nikola Tesla hat der Elektrotechnik viel Neuland erschlossen. Das Gebiet der Hochfrequenztechnik ist seine unbestrittene Schöp-

fung. Er hat dieses Gebiet mit klaren Vorstellungen erforscht und mit überragender experimenteller Kunst zu einem wichtigen Erscheinungsgebiet ausgebaut. Darüber hinaus hat er dieses fruchtbare Neuland auch bestellt, d. h. er hat eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten geschaffen und entwickelt; ich erinnere daran, dass er der Lichttechnik neue Möglichkeiten erschlossen hat, dass ihm das Fernlenken von Booten gelungen ist, dass er Energieübertragungen auf drahtlosem Wege versucht hat, und der therapeutischen Wirkung der Teslaströme seine Aufmerksamkeit gewidmet hat. Die reichste Frucht hat das von ihm bestellte Feld der drahtlosen Telegraphie getragen.

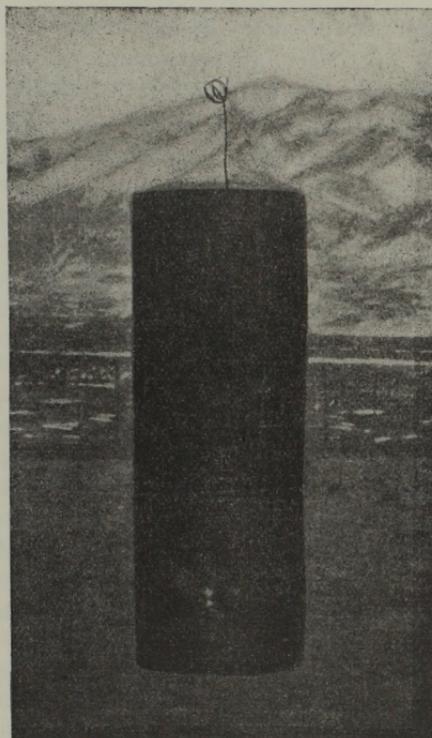
Gestatten Sie mir, zum Schluss als Bekräftigung meiner Darlegungen die Worte zu wiederholen mit denen Tesla im Jahre 1893 die Möglichkeit einer drahtlosen Telegraphie erörtert hat; ich habe diese Stelle aus dem Buch von Martin bereits vor sieben Jahren in einem Beitrag zum Jahrbuch der Universität Zagreb angeführt und glaube, dass sie auch bei der heutigen Feier am Platze sind. Vor 43 Jahren sagte Nikola Tesla:

„Man nehme an, dass eine Wechselstromquelle mit einem ihrer Pole an die Erde und mit dem andern an einen Körper von grosser Oberfläche angeschlossen sei. Wenn eine elektrische Welle erzeugt wird, so wird innerhalb und ausserhalb dieses Körpers eine Elektrizitätsbewegung stattfinden, und es werden Wechselströme durch die Erde gehen. Bis zu welcher Entfernung eine solche Schwingung wahrnehmbar gemacht werden könnte, lässt sich nur vermuten. Theoretisch würde kein grosser Energiebetrag erforderlich sein, um eine auf grosse Entfernung oder selbst über die ganze Oberfläche der Erdkugel wahrnehmbare Störung zu erzeugen. Nun ist es ganz sicher, dass an jedem Punkt innerhalb eines gewissen Radius von der Stromquelle ein Apparat mit zweckmässig regulierter Selbstinduktion und Kapazität durch Resonanz in Tätigkeit gesetzt werden kann. Ich halte es für unzweifelhaft möglich, elektrische Apparate in einer Stadt mittelst der Erde oder des Rohrnetzes durch Resonanz von einem an einem zentralen Punkte aufgestellten Oszillator zu betreiben. Die praktische Lösung dieses Problems aber würde für die Menschheit von unvergleichlich viel geringeren Nutzen sein, als die Verwirklichung des Problems der Gedanken—oder vielleicht auch Kraftübertragung auf irgend eine Entfernung mittelst der Erde oder des umgebenden Mediums. Wenn dies überhaupt möglich ist, so hat das Wort Entfernung jede Bedeutung verloren. Zunächst müssen geeignete Apparate geschaffen werden, mittelst derer das Problem in Angriff genommen werden kann, und diesem Gegenstande habe ich viel Nachdenken gewidmet. Ich bin

fest überzeugt, dass es möglich sein wird, und ich hoffe, dass wir die Ausführung desselben noch erleben werden“.

M. H. Diese Worte Teslas sind keine überschwänglichen Phrasen, sondern sie sind der Ausdruck nüchterner sachlicher Überlegungen, die auf tiefen Erkenntnissen und auf schöpferischen Leistungen beruhen. Sie ergreifen uns heute ganz besonders, weil die Hoffnung des jungen Tesla, die Ausführung seiner Ideen zu erleben dem ehrwürdigen Greise in vollem Umfang in Erfüllung gegangen ist.

Prof. Dr. *F. Kiebitz*.



**Experimenteller Nachweis der drahtlosen Energieübertragung
Teslas Experiment in Kolorado (1899)**

Die grosse Spule ist an ihrem unteren Ende mit der Erde verbunden und ist mit dem 15 Meilen entfernten Sender auf Resonanz abgestimmt. Die leuchtende Glühlampe befindet sich in einer Drahtwindung, die von der Spule induktiv erregt wird. Der Oszillator der Sendestation arbeitete dabei mit 5 Prozent seiner Leistung.

(Aus S. Bokšan: Nikola Tesla und sein Werk, Wien; Deutscher Verlag, 1932, Seite 262).