

Im den Fachaufsätzen [1,2] wurde ein neues Konzept zur Entwicklung von hocheffizienten elektrischen Maschinen mit eisenfreien Luftspulen für die Verwendung als Motor oder Generator, anhand von Konstruktionsformen, mit den entscheidenden Entwicklungssprüngen, vorgestellt.

Eisenfreie Luftspulen werden heute nur in einem sehr begrenzten Anwendungsbereich, hauptsächlich in Glockenmaschinen bis ca. 250W und in Scheibenmaschinen bis 10kW, die als mechanisch- und elektronisch kommutierte Gleichstrommotoren ausgeführt sind, eingesetzt. Im Bereich der elektrischen Maschinen beschäftigen sich die meisten Forscher, Entwickler und Anwender ausschließlich mit Eisenmaschinen, bei denen die Ankerwicklung in Nuten eines Eisenblechpaketes eingelegt ist. Diese Maschinen gelten als fortschrittlich und die unangenehmen Nebenwirkungen des Eisens in den Spulen werden als notwendiges Übel akzeptiert. Die neu entdeckte große Bedeutung des Wirkungsgrades, aber auch die Anforderungen an moderne elektrische Maschinen, machte es notwendig diese Maschinen weiter zu optimieren. Mit dem alten Maschinenkonzept der Eisenmaschinen war nicht mehr viel Entwicklungskapazität vorhanden und man geriet schnell an Grenzen. Wogegen ein Verzicht auf Eisen im Anker ganz neue Welten öffnet.

Über bekannte Luftspulenmaschinen hinaus wurde jetzt das Wesen der Energieumsetzung erkannt und erstmals mit dem Luftspulenprinzip technisch umgesetzt, wodurch sich die Maschineneigenschaften wesentlich verbessern.

Die Herausforderung der heutigen Zeit ist es zum Wesentlichen zurückzukehren und damit ein zukünftiges Leben auf diesem Planeten zu garantieren. Im Bereich der elektrischen Maschinen bietet das Luftspulenprinzip diese Möglichkeit. Aufgrund seiner großen Bedeutung ist es notwendig es zum weiteren Forschungs- und Entwicklungsthema zu machen und deren Maschinen in alle Anwendungsbereiche einzuführen.

Erforschung des Luftspulenprinzips

Das Luftspulenprinzip, die zeitgemäße Antwort auf das beginnende Wassermannzeitalter¹ und die optimale Umsetzung der von M. Faraday erforschten Idealbedingungen der direkten Induktion zwischen freiem Leiter und Magnetfeld

Jörg Bobzin

Der Aufsatz stellt das Ergebnis einer Forschungsarbeit vor, die den folgenden Fragen nachging:

Welche Bedeutung Luftspulenmaschinen in der Entwicklung der Elektrizität spielen, wobei die Versuchsanordnungen Faraday's, mit denen er das motorische und später das generatorische Prinzip erstmals nachwies, Luftspulenmaschinen waren.

Wie es dazu kam, mehr als 150 Jahre in elektrischen Maschinen Eisen relativ gegenüber dem magnetischen Feld zu bewegen, welches aus heutiger Sicht das „Eisenzeitalter“ der elektrischen Maschinen begründete, das nun zu Ende geht.

¹ „Wassermannzeitalter“ bezieht sich auf die Tatsache, dass die Menschheit sich in einem Übergang von einem Entwicklungszeitalter in das nächste befindet. Dieser Übergang wird in allen spirituellen und religiösen Traditionen vorausgesagt und beschrieben. Der Begriff kommt aus der Tradition der Astrologie, wobei der Übergang vom Fischezeitalter in das Wassermannzeitalter jetzt vollzogen wird. Die Ägyptische Tradition bezeichnet das neue Zeitalter als das Zeitalter des Horus, wobei auf der amerikanischen 1\$- Note dieses Wissen übernommen wurde und die dort abgebildete Pyramide mit dem Auge des Horus an ihrer Spitze dieses neue Zeitalter symbolisiert.

Warum diese „Eisenmaschinen“ die Grenzen der Entwicklung nun erreicht haben und sie in eine Spezialisierungssackgasse von nicht mehr zeitgemäßen Maschinen führten, wobei das nun entwickelte optimierte Luftspulenprinzip den Anforderungen der Zeit an elektrische Maschinen gerecht wird und über das nun beginnende „Luftspulenzeitalter“ hinaus den Weg in eine ganz neue Maschinenart ebnet, die „Freie Energie“ (16) nutzt.

Den entscheidenden und umfassenden Beitrag zur Erforschung der Elektrizität und deren Anwendung lieferte Michael Faraday (1791-1867), der bedeutendste Experimentalphysiker des 19ten Jahrhunderts [3], womit er den Grundstein für die weiterführende industrielle Revolution nach Einführung der Dampfmaschine legte. Zudem entwickelte er durch die Erkenntnisse seiner umfangreichen Versuche ein bis heute gültiges Erklärungsmodell über den Elektromagnetismus und deren Erscheinungen in Qualität und in Quantität. Wobei die Erklärung über ein Modell hinaus geht, es ist die Realität.

Faraday, der nur wenig Schulunterricht erhielt, mittellos mit 13 Jahren zunächst als Laufjunge arbeitete und später eine siebenjährige Buchbinderausbildung absolvierte, entdeckte bald seine Liebe für die Naturwissenschaft, durch sein Interesse für den Inhalt der zu bindenden wissenschaftlichen Bücher. Allen voran gingen dabei die neuesten Veröffentlichungen über die damals noch frisch entdeckten Erscheinungen des fließenden elektrischen Stromes, in Verbindung mit denen durch ihn hervorgerufenen chemischen Reaktionen. Bald machte er selbst elektrochemische Versuche, über die er las und besuchte schon während seiner Lehrzeit Vorlesungen des bekannten Londoner Wissenschaftlers Sir Humphery Davy von der Royal Society, bei dem er nach Abschluss seiner Lehre als Laborgehilfe anfang.

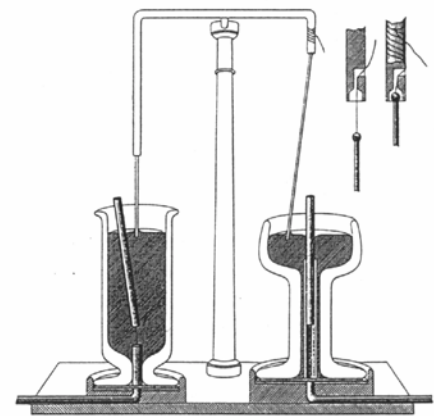


Bild 1: Rotationsapparat von M. Faraday 1821

Die Elektrizität steckte damals noch in den absoluten Anfängen und war in der Öffentlichkeit eher eine Jahrmarktsattraktion, als dass sie eine praktische Anwendung hatte. In der Wissenschaft herrschte der praktische Versuch vor, bei dem das Phänomen Elektrizität unmittelbar erfahren wurde.

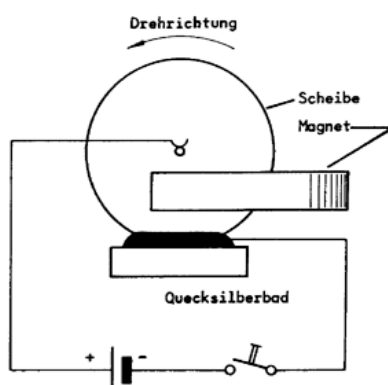


Bild 2: Das Barlow'sche Rad 1823

Acht Jahre nach Beginn seiner Tätigkeit bei Davy, machte Faraday ende 1821 seine erste große Entdeckung. Er stellte einen Versuch vor, mit deren Apparatur (**Bild 1**) erstmals eine kontinuierliche elektromotorische Bewegung erzeugt wurde, also bei der erstmals dauernd (stetig) elektrische Kraft in mechanische Kraft umgewandelt wurde. Faraday lieferte in diesem Zusammenhang auch eine einheitliche Erklärung der vielfältigen elektromagnetischen und elektrodynamischen Erscheinungen, womit auch endlich der Rotationsmagnetismus (ein Magnet oder eine Magnetnadel in der Nähe eines elektrisch leitfähigen Materials, übten eine Kraft aufeinander aus, wenn eines von beiden bewegt wurde) verstanden werden konnte. Das motorische Prinzip war geboren.

1823 führte Barlow mit seiner bekannten nach ihm benannten Versuchsanordnung (**Bild 2**) erstmals eine kontinuierlich rotierende motorische Scheibenbewegung vor.

Als Faraday 1831 nach 10jähriger Suche endlich die langersehnte Umkehrung des motorischen Prinzips entdeckte, die darin bestand Elektrizität durch gewöhnlichen Magnetismus zu erzeugen, war auch das generatorische Prinzip geboren. Faraday machte nun, um das gefundene Induktionsgesetz zu erkennen und zu untermauern, eine Vielzahl von Versuchen mit eisengefüllten Spulen und freien Leitern im Magnetfeld. Er schlug auch andere mögliche Anordnungen vor, die Jahrzehnte später schon vergessen waren, aber von anderen neu entdeckt

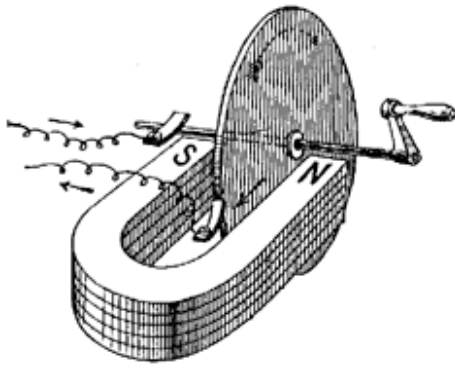


Bild 3: Versuchsanordnung von M. Faraday zur Erforschung des Generatorprinzips 1831

dann zu vielen verschiedenen elektrischen Maschinen führten.

Eine Versuchsanordnung war im Grunde der erste Scheibengenerator (**Bild 3**), bei dem eine Kupferscheibe in einem Magnetfeld gedreht zwischen Achse und Außenumfang einen elektrischen Strom lieferte, von dem Faraday sagte, dass die Scheibe auf eine speichenförmige Leiteranordnung reduziert werden könnte, was erst 44 Jahre später durch Pacinotti 1875 weiter verfolgt werden sollte und weitere 15 Jahre später durch Poleschko in St. Petersburg technisch in einer Luftspulenmaschine umgesetzt wurde.

Faraday ermittelte bei den Versuchen, auch noch in

späteren Jahren bis 1852, in denen er sein Modell (das spezielle und allgemeine Induktionsgesetz in seiner nicht mathematischen Form) stetig vervollkommnete, die Idealbedingungen für die Umsetzung zwischen elektrischer und mechanischer Energie in Qualität und Quantität, die zwischen einem Magnetfeld und einem elektrischen Leiter (Draht) stattfand.

Die erste magnetoelektrische Maschine (Generator) stellte H. Pixii 1832 in Paris vor, die zunächst nur Wechselstrom, den allerdings niemand gebrauchen konnte, lieferte. So erweiterte Pixii die Maschine nach einem Vorschlag von Ampère kurze Zeit später mit einem Kommutator, so dass die Maschine (**Bild 4**) zunächst Wissenschaftlern als Stromquelle diente und die bis dahin einzige Stromquelle, die Volta'schen Batterie, ersetzen konnte.

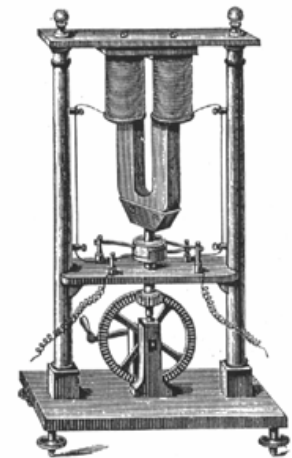


Bild 4: Erster Generator v. H. Pixii 1832

Es dauerte bis 1834 als Moritz Hermann von Jacobi aus Königsberg die erste elektromagnetische Maschine (Motor) vorstellte, der wirklich

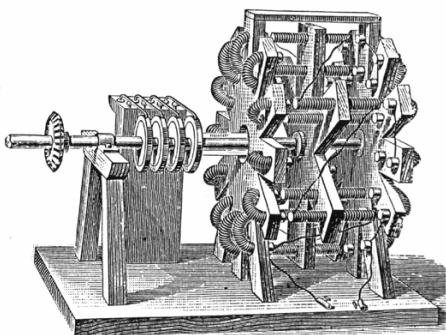


Bild 5: Erster Motor von M.H.v. Jacobi 1834

Arbeitsleistung vollbrachte (**Bild 5**), die bei 300 Umdr./min eine Kraft von einem halben Mann lieferte und 1938 in ein Boot eingebaut auf der Newa in St. Petersburg vierzehn Personen transportierte, was die erste Umsetzung der elektrischen Energie in Fortbewegungskraft war.

Obwohl Motoren als Demonstrationsmodelle gebaut wurden, blieb es auch Jahrzehnte erst einmal dabei. Ihr schlechter Wirkungsgrad, technische Probleme und dass es nur schwache sich schnell entladene Batterien zu deren Versorgung gab, führte dazu, dass sie zur Dampfmaschine keine Alternative darstellten.

So ging die elektrische Maschinenentwicklung und vor allem deren Anwendung die ersten 40 Jahre fast ausschließlich auf dem stromerzeugenden Generatorgebiet weiter. Hier gab es zunächst auch nur die Anwendung in der Galvanoplastik und Elektrolyse. Bei diesen Anwendungen wurde ausschließlich Gleichstrom benötigt, so dass auch nur Gleichstromgeneratoren entwickelt wurden.

Anfang der fünfziger Jahre wurden dann von dem Belgier Nolet die ersten Generatoren größerer Leistung entwickelt bei denen axial verlaufende eisengefüllte Zylinderspulen, durch Dampfmaschinen angetrieben, gegenüber Hufeisen-Stahlmagneten bewegt wurden und in den 50iger Jahren und darüber hinaus als Stromquelle (**Bild 6**) für Beleuchtungszwecke statt Gaslaternen, wie z.B. bei Leuchttürmen, eingesetzt wurden.

Die ersten Generatoren und Versuchsmotoren, die entwickelt wurden waren Axialfeldmaschinen, bei denen sich das Feld axial zur Rotationswelle durch den Luftspalt ausbreitete. Dies waren schon erste Ansätze der Scheibenmaschine des 20igsten Jahrhunderts, die dann in axialer Richtung wesentlich schmaler gebaut wurden.

Der Durchbruch einer weit verbreiteten Anwendung des Generatorprinzips, unter anderem in der noch jungen Telegraphie, gelang erst 1856 mit der Erfindung des Doppel-T-Ankers (**Bild 7**) von Werner von Siemens, der in diesem Zusammenhang den Begriff der Dynamomaschine prägte.



Bild 7: Handskizze eines Doppel-T-Ankers 1856 v. W. v. Siemens

Später wurde dieser Begriff für alle energieumwandelnden Maschinen, die auf der elektromagnetischen Induktion beruhen, verwendet, also sowohl für Generatoren als auch für Motoren, egal ob sie für Gleich- oder für Wechselstrom ausgelegt waren. Im beginnenden 20igsten Jahrhundert wurden immer mehr die Begriffe „Motor“ und „Generator“ verwendet. Der Doppel-T-Anker war die erste trommelförmige Radialfeldmaschine mit Stahlmagneten. Sie nutzte aus heutiger und Faraday'scher Sicht, durch ihren Aufbau der axial sehr langen Trommelform, wesentlich mehr Leiter innerhalb einer Spule, als alle bisherigen Maschinen und bei ihr wurde das Trägheitsmoment des Motors durch den erstmals verwendeten genutzten Ankeraufbau stark dezimiert und es wurden die Verluste im magnetischen Kreis durch den Aufbau herabgesetzt, wodurch die Maschinen kleiner und leistungsfähiger waren.

Die Maschinen wurden bis dahin entweder permanentmagnetisch durch Stahlmagnete erregt oder durch Elektromagnete, die von einer Volta'schen Batterie gespeist wurden. Diese magnetischen Pole bewegten sich relativ zu den Ankerspulen, die mit Volleisen gefüllt waren.

Der nächste Entwicklungsschritt wurde von dem englischen Physiker H. Wilde 1866 vollzogen, der einen Siemens'schen Doppel-T-Anker statt eines Stahlmagneten mit einem Elektromagneten ausstattete und zur Fremderregung einen externen Generator benutzte und damit bei einer Antriebsleistung von 10 Pferdestärken eine Lichtleistung von 1200 Carcelbrennern erreichte. In diesem Zusammenhang wurde von Wilde der Begriff „Generator“ eingeführt.

Die Nachteile der Maschinen bis zu diesem Zeitpunkt, waren neben den großen Luftspaltverlusten, die Erwärmung des Volleisenkerns der Spulen, die große unbewegliche Masse, die

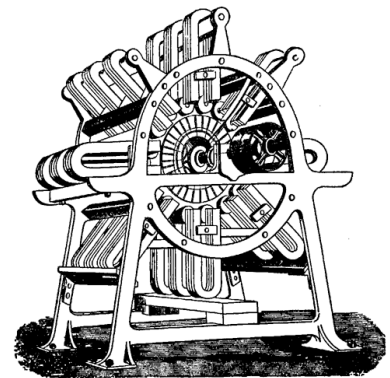


Bild 6: Generator der französischen Allianz Compagnie Ende der 50iger Jahre

vorwiegend zusätzlich benötigten, wenig leistungsfähige Batterie zur Versorgung der Elektromagnete, die Nachteile der damaligen Stahlmagnete, und die schlechte Kupferausnutzung und der schlechte Wirkungsgrad.

Der nächste große Fortschritt, der noch im selben Jahr stattfand, bestand in der von Werner von Siemens im Herbst des Jahres 1866 gemachten Erfindung der elektromagnetischen Selbsterregung, die die Unabhängigkeit der Elektromagnete von einer externen Stromversorgung, und damit die Möglichkeit des mobilen Einsatzes und eine große Leistungssteigerung brachte, so dass die Maschinen daraufhin eine ständige Wasserkühlung benötigten, so groß waren die Wärme-verluste im Volleisenkern. Dies war die Geburt der Starkstromtechnik, wobei auch diese Maschinen zunächst hauptsächlich für Beleuchtungszwecke mit Bogenlichtlampen eingesetzt wurden und sich die elektrische Beleuchtung daraufhin in ganz Europa ausbreitete.

Eine weitere Radialfeldmaschine, neben dem Doppel-T-Anker, wurde 1860 von Antonio Pacinotti entwickelt, die sogenannte Ringankermaschine, die dann 1871 von Zenoble Theophile Gramme unwissentlich wieder entwickelt und u.a. in dem Sinne eine Weiterentwicklung darstellte, dass er den Pacinotti'schen Ringinduktor mit dem Siemens'schen Dynamoelektrischen Prinzip verband, wodurch die Ringmaschine für den größeren Betrieb tauglich wurde. Sie war eine der hauptsächlich verwendeten Maschinenformen, die bis zur Jahrhundertwende in verschiedensten weiterentwickelten Formen, so auch als Axialfeldmaschine mit Scheibenflachring z.B. der Firma Schuckert Ende der 80iger Jahre, zum Einsatz kam.

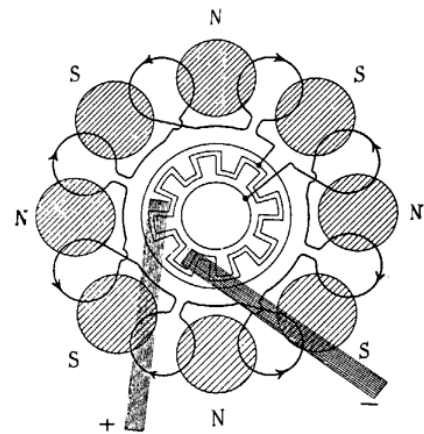


Bild 8: Scheibenanker von H. Wilde 1867

Eisenlose Spulensysteme tauchten erst 1867, also nach mehr als 30 Jahren nach den Faraday'schen und Barlow'schen Demonstrationsmodellen (Bild 2 und 3), zunächst nur als Patentanmeldung einer erstmals mehrpoligen Scheibenwicklung (**Bild 8**), durch Wilde wieder auf. Zu einer praktischen Ausführung einer Luftspulenmaschine kam es erst, weitere 6 Jahre später, 1873.

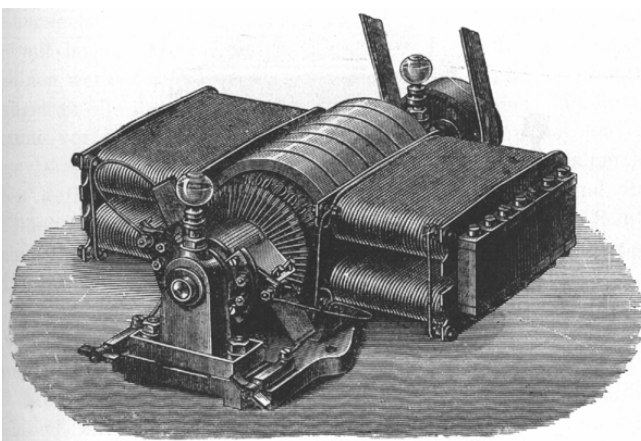


Bild 9: Trommelläufer von Hefner-Alteneck 1872

Zunächst wurde aber 1872, der andere bis zur Jahrhundertwende hauptsächlich verwendete Maschinentyp, die Trommelmaschine, von dem Konstrukteur F.v. Hefner-Alteneck von der Firma Siemens & Halske entwickelt. Diese war eine Radialfeldmaschine, wie auch die Doppel-T-Anker- und die Ringankermaschine. Bei ihr waren die Drahtspulen knäuelartig auf die Trommel aufgewickelt (**Bild 9**), wobei die Maschine im Vergleich zu den Ringanker- und Doppel-T-Ankermaschinen, wesentlich mehr Kupfer innerhalb der zweipoligen Spule nutzte und dieses in den Bereich hoher Geschwindigkeiten gelegt

war, was zu einer größeren Effektivität der Maschinen und zu einem gleichmäßigen Strom führte. Die hohe Leistung dieser Maschine hatte aber eine sehr starke Erwärmung des noch üblichen Volleisenzylinders, auf den die Wicklung aufgebracht war, zur Folge.

Ein Jahr danach, im Jahr 1873, wurde erstmals eine Luftspulenmaschine zur Anwendung gebaut. Sie wurde ebenfalls von F.v. Hefner-Alteneck von Siemens & Halske konstruiert, der mit dieser Maschine schließlich das Wärmeproblem der bisherigen Generatoren löste, in dem er die Luftspulenmaschine, als Trommelmaschine (**Bild 10**) baute, bei der die Leiter im Umfangsbereich zwischen Elektromagneten, also erstmals in einem Luftspalt frei rotierten. Den Strom für die Elektromagneten lieferte ein kleiner externer Gleichstromgenerator. Damit wurde die Wasserkühlung endlich überflüssig und die Maschinen hatten zudem eine bedeutend höhere Leistung und einen erheblich besseren Wirkungsgrad, so dass sie auf der Wiener Ausstellung von 1873 allgemeines Aufsehen erregte. Die Leistung verbesserte sich im Vergleich zur bisherigen Trommelmaschine von einer Lichtausbeute von 1800 NK (Normalkerzen) auf 14000 NK bei einer besseren Ausnutzung der Betriebskraft von 1400 NK gegen 300 NK pro Pferdekraft bei einer zu dem geringeren Tourenzahl (380 gegen 600 respektive 1600).

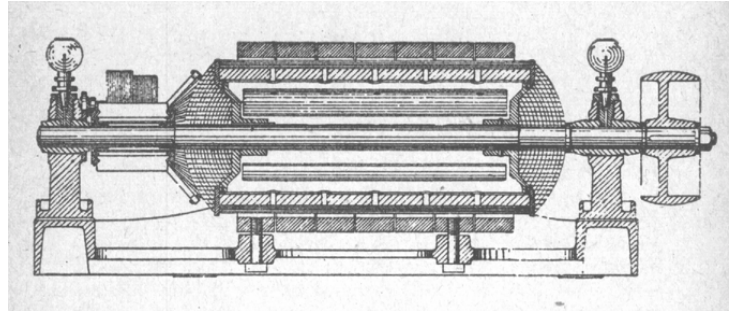


Bild 10: Trommelläufer mit Luftspaltwicklung von Hefner-Alteneck 1873

Trotz der allgemeinen Anerkennung und dieser bestechenden Verbesserungen, kam die Maschine nicht zum Einsatz, da es aufgrund der hohen Leistung mechanische Probleme gab, die Luftspulen mit ausreichender Festigkeit zu versehen, was mit damaligen Mitteln nicht so einfach war, und außerdem schon kurz darauf unterteilte Eisenkerne zunächst aus aufgewickeltem Eisenlackdraht und ab 1875 aus geschichteten Eisenplatten in Maschinen ausgeführt wurden, womit das Wärmeproblem ebenfalls entschärft war, so dass auch auf diese Weise auf die Wasserkühlung verzichtet werden konnte, bei gleichzeitiger großer Robustheit der Maschine.

So war die Zeit für Luftspulenmaschinen noch nicht reif, obwohl Hefner-Alteneck drei wesentliche Entwicklungsschritte getan hatte, in Richtung einer Umsetzung der Idealbedingungen für die direkte Energieumsetzung. Er verzichtete auf Eisen in der Spule, nutzte wesentlich mehr Leiter innerhalb jeder Spule und er legte alle Spulenseiten in den Bereich hoher Umfangsgeschwindigkeit.

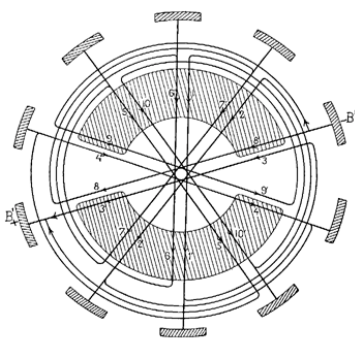


Bild 11: Scheibenwicklung von A. Pacinotti 1875

Zu dieser Zeit gab es laut W.v. Siemens keine Berechnungsgrundlagen. Es wurde einfach ausprobiert.

Bis zur nächsten Patentanmeldung für Scheibenmaschinen vergingen 8 Jahre nach der Wild'schen Patentanmeldung von 1867. Pacinotti meldete 1875 eine Scheibenwicklung mit mehreren geschlossenen, erstmals axial zueinander verdrehten, sich überlappenden Spulen und zwei großflächigen Polen mit einer Polweite von ca. 170° an, wobei der Kollektor im Außenumfang angebracht war (**Bild 11**).

Die zweite für die Anwendung gebaute Luftspulenmaschine in der Geschichte, die dieses Mal auch wirklich und zudem erfolgreich zum Einsatz kam, war wieder aus einer Not heraus geboren. 1878 mit der Erfindung der Lichtbogenlampe von Paul N. Jablotschkow, die nur mit Wechselstrom funktionierte, wurden eigens für diese bedeutende Anwendung, die einen riesigen Markt bietete,

Wechselstromgeneratoren von Siemens & Halske und Gramme entwickelt. Erstmals wurden nun in großen Umfang Maschinen mit mehr als zwei elektromagnetischen Polen gebaut, weil die „Jablotschkow’schen Kerzen“ schnelle und viele Polübergänge pro Zeit und einen zuverlässigen ungestörten Betrieb benötigten. Damit war erstmals eine Anwendung für Wechselstrom geschaffen. Siemens & Halske baute zunächst nur für die Anwendung der Jablotschkow’schen Kerzen eine mehrpolige Wechselstrom-Scheibenmaschine

(Bild 12) mit Luftspulen mit separaten, kreissegmentförmigen, nebeneinanderliegenden Spulen.

Man wählte hier Luftspulen, vor allem, weil man eine unerträglich Erhitzung der Maschine aufgrund der vielen Polübergänge pro Umdrehung in den Spulen mit Eisenkernen befürchtete, weil bisher nur zweipolige Maschinen verwendet wurden, bei denen man schon mit Wärmeproblemen erheblich zu tun hatte. Die Luftspulen und die magnetischen Pole hatten erstmals eine schmale Kreissegmentform (Bild 13). Diese scheibenförmigen Wechselstrom-maschinen waren sehr beliebt, wurden von 1878 bis 1882 gebaut und erreichten Stückzahlen von über 600 Stück schon bis 1881. In diesem Jahr wurde aufgrund der guten Erfahrungen mit diesen Wechselstromgeneratoren auch eine Luftspulen-Dynamomaschine (Gleichstromgenerator) für die Herstellung von kontinuierlichem Strom, was aus heutiger Sicht

gleichgerichtetem Drehstrom entspricht, vorgestellt. Viele Anwendungen, wie die Galvanoplastik, die hüttenmännische Reinigung von Metallen durch Elektrolyse und die Telegraphie konnten nur mit Gleichstrom versorgt werden. Die Neuheit bestand bei diesen

Maschinen auch darin, dass erstmals mehr Magnetpole als Spulen bei einem Umlauf verwendet wurden, so dass sich ein pulsierender Gleichstrom ergab mit einer geringen Welligkeit. Die ersten Ausführungen erreichten eine Lichtstärke von 2800NK bei einem Kraftaufwand von 7 Pferdestärken. Ein Loblied auf die Luftspulenmaschinen und die Vorzüge und Nachteile von Wechselstrom- und Gleichstromgeneratoren in den damaligen Anwendungen ist in einem Aufsatz von F.v. Hefner-Alteneck [4] zu finden.

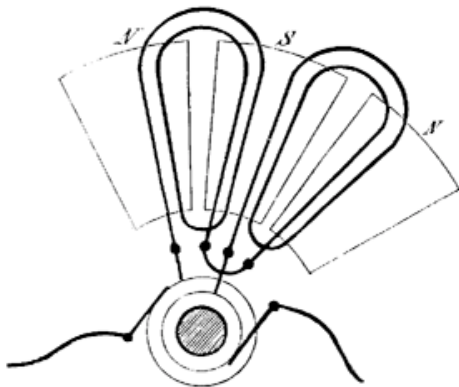


Bild 13: Wicklungsaufbau der Wechselstrommaschine mit Schleifringen von Siemens & Halske aus dem Jahre 1878 (Bild 12)

Obwohl die Luftspulenmaschinen zuverlässig und mit hoher Leistung funktionierten und den Eisenmaschinen in nichts nachstanden, hatte sich die damalige Fachwelt in zwei unterschiedlich große Lager aufgeteilt. Die einen lehnten Luftspulenmaschinen ab und bevorzugten Eisen in der Spule und für die Anderen waren Luftspulenmaschinen die bessere Lösung. Das nicht Verwenden von Eisen in der Ankerspule wurde zwar diskutiert, war aber nicht das vorrangige Thema, weil man gesehen hatte, dass beides funktionierte und zu guten Ergebnissen führte. Der Einsatz von eisenlosen Luftspaltwicklungen war zunächst eine konstruktive Herausforderung, die die meisten Entwickler umgingen und vielleicht war es einfach auch das Eisenzeitalter der elektrischen Maschinen, welches nun in ein Luftspulenzeitalter übergeht.

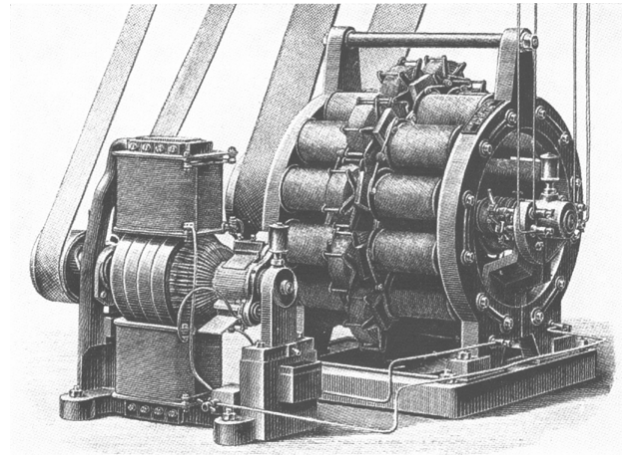


Bild 12: Luftspulenscheibenläufer von Siemens & Halske nach F.v. Hefner-Alteneck 1878 mit externem Gleichstromgenerator zur Felderregung

Trotz deren Vorzüge und guter Ergebnisse stellten Luftspulenmaschinen eher eine Randerscheinung dar, die in Messeberichten oft gar nicht extra, unter der Feststellung der eisenlosen Spulen, erwähnt wurden. Das Gleiche gilt für historische Rückblicke im Bereich der elektrischen Maschinen. Der Blick war auf andere Dinge gerichtet, die damals vorrangig waren, so wie, auf welche Weise Strom überhaupt erzeugt und genutzt werden oder auch Kraftanwendung stattfinden kann und welche Stromart zu bevorzugen sei. In diesem Zusammenhang wurden auch die Maschinen gesehen und bewertet. Es gab keine separate Sparte Luftspulenmaschinen, sie tauchten nur hin und wieder mal auf, so wie es bis heute geblieben ist.

In den 80iger Jahren des 19ten Jahrhunderts wurden sehr viele Wicklungsvorschläge für neue Wicklungen für die drei bekannten Prinzipien Ring-, Trommel- und Scheibenwicklungen zum Patent angemeldet. Es war eine sehr kreative Zeit, in der die Zahl der Anwendungen für die Elektrizität förmlich explodierte. Sehr viele Erfindungen wurden gemacht und es fanden die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen statt, wie elektrische Maschinen optimiert werden können. Auch wurde 1882 der erste Lehrstuhl für Elektrotechnik an der technischen Hochschule in Stuttgart und kurz darauf in Berlin und Darmstadt eingerichtet. Das Interesse der Studierenden richtete sich vor allem auf die expandierende Starkstromtechnik. Die Schwachstromtechnik bestand vor allem aus der Telegraphie und galt zu dem Zeitpunkt als ausgereift und schien keine Problematik mehr zu bieten.

Man wurde sich über die Verlustquellen der Generatoren immer mehr bewusst und stellte gezielte Untersuchungen diesbezüglich an. So wurden z.B. Streufaktoren für das Feld festgelegt und der magnetische Kreis optimiert. Berechnungsmodelle wurden entwickelt, zunächst von ungenauer Art, die aber bald verfeinert wurden. Theoretische Modelle für die verschiedenen elektrischen Maschinenarten und deren Komponenten wurden entwickelt.

1887 boten Siemens & Halske die erste Kombinationsmaschine an, die außer generatorischen Aufgaben auch leichte Kraftübertragungen übernehmen, d.h. als Motor arbeiten konnte, wie z.B. als Lüftermotor.

Die Starkstromtechnik wurde zentralisiert und man benötigte für die großen Leistungen in Verbindung mit einer neuen Generation von Dampfmaschinen neue Dynamomaschinen. So entwickelte Siemens & Halske 1889 erstmals eine Innenpolringmaschine (Eisenmaschine) mit einem Polrad. Sie war für die neue Generation von effektiveren, langsamlaufenden Dampfmaschinen als Vielpolmaschine mit großem Durchmesser und Kollektoren am Außenumfang entwickelt worden. Die für die Elektrizitätswerke gebaute Maschine dieses Typs lieferte ungefähr 250 kW bei 63 Umdrehungen in der Minute und wogen etwa 25 Tonnen.

Erstmals im Jahr 1889 wurden die ersten Motoren für Kraftanwendung, wie von Siemens & Halske ein Motor für Eisenbahnen auf der Berliner Ausstellung vorgestellt, nachdem schon 10 Jahre zuvor 1879 Siemens & Halske mit einer Miniatureisenbahn auf der Gewerbeausstellung von Berlin experimentiert und erste Erfahrungen gesammelt hatten. Die Eisenbahntriebe waren das erste große Anwendungsgebiet für Motoren, die wie die Generatoren zunächst Gleichstrommaschinen (Eisenmaschinen) waren. Bald wurden alle großen Städte mit diesen Bahnen ausgerüstet.

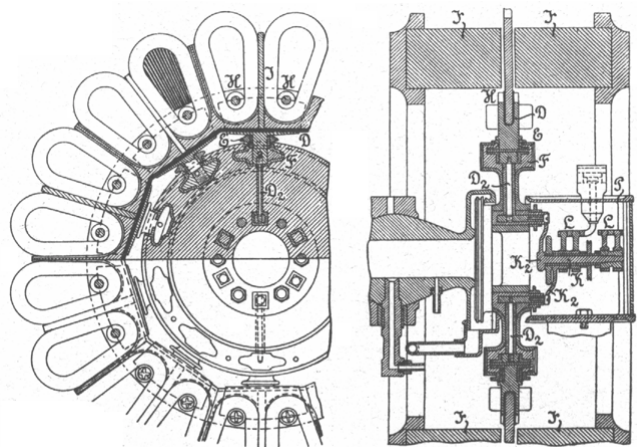


Bild 14: Wechselstrommaschine von Ferranti von 1889 mit einer Leistung von 150kW

Um das Jahr 1889, also 11 Jahre nach der Einführung der ersten Luftspulen-Scheibenmaschine von Siemens und Halske von 1878, wurden die Scheibenmaschinen wiedereingeführt, wie der Maschinenexperte der damaligen Zeit, S.P. Thomson in seinem Lehrbuch [5] von 1899 schreibt. Unter ihnen waren auch einige Luftspulenmaschinen, wie die Wechselstrommaschinen von Ziani de Ferranti (**Bild 14**), W.M. Mordey. Sie waren Weiterentwicklungen der Wechselstrommaschine von Siemens & Halske von 1878. Die Neuerungen bestanden z.B. aus anderen Magnetsystemen oder aus festgestellten Spulen bei drehenden Magneten oder die Segmentspulen wurden durch eine wellenförmige Wicklung ersetzt oder die Maschine funktionierte als Motor. Sie hatten aber auch eine erheblich höhere Leistung. So beschreibt S.P. Thomson

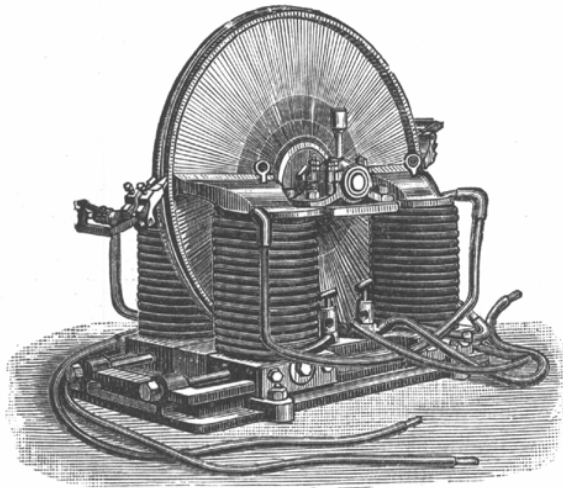


Bild 15: Scheiben- Dynamomaschine von Poleschko von 1890

Luftspulengeneratoren von Ferranti mit einer Leistung von bis zu 1000kW, wobei sie 100A bei 1000V und 120 Umläufen pro Minute lieferten. Ferranti wickelte seine Spulen im Unterschied zu Siemens & Halske auf Messinghülsen, bestehend aus einem Kern aus Messingstreifen, die durch Asbest voneinander isoliert und im achsnächsten Bereich untereinander und mit der Kupferbandwicklung verlötet waren. Siemens & Halske dagegen nutzte 11 Jahre zuvor Holzkerne. Für eine Luftspulenmaschine Morday's ist eine Leistung von 200kW angegeben, die sie bei 100A, 2000V und 96 Umdrehungen pro Minute lieferte, wobei Morday auch größere Maschinen baute.

Die Scheibenmaschinen, die bezügl. der Luftspule einen höheren Neuheitsgrad aufzuweisen hatten, waren die von Poleschko aus St. Petersburg nach Angaben von Lord Kelvin und von Desroziere entwickelten Gleichstrom-Dynamomaschinen. Poleschko's Maschine (**Bild 15**), die er 1889 in Deutschland zum Patent anmeldete und sie 1890 vorstellte, war eine sehr konsequente Umsetzung der von Faraday erforschten Idealbedingungen für eine optimale Energieumsetzung zwischen freiem Leiter und Magnetfeld, mit einer 100%igen Kupfernutzung innerhalb jeder sich im Feld befindlichen Ankerspulen. Dies erreichte er durch die Verwendung von offenen Spulen in Speichenform (**Bild 16**), wobei die Stromabnehmer am

Außenumfang und an der Welle angebracht waren. So sparte er die Verbindungen der Spulenseiten zu geschlossenen Spulen, wobei allerdings durch die nur zweipolige Ausführung nur wenige Speichen gleichzeitig im Feld lagen und im Grunde die Ableitungen vom Kollektor auch zur Spule mitgezählt werden müssen, die aber durch ihre starke Ausführung wenig Spannungs-verluste ergaben. Trotz der geringen Maschinenflächennutzung erreichte er mit dieser Maschine eine Leistung von 50kW bei 25V und 2000 A und 1500 Umläufen pro Minute bei einem Gewicht von 1100kg.

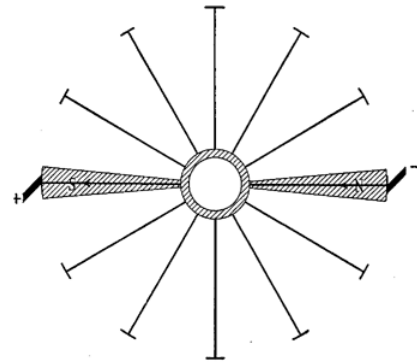


Bild 16: Prinzip der Strahlenankerwicklung der Dynamomaschine von Poleschko (Bild 15)

Einen anderen und bezüglich der Maschinenflächennutzung effektiveren Weg ging Desroziere mit seiner Luftspaltwicklung (**Bild 17**). Er nahm zwar Wickelköpfe in Kauf, konnte aber durch seine sechspolige Ausführung nahezu alle Spulenseiten gleichzeitig nutzen. Seine Scheibenmaschinen hatten eine Wicklung, bei der die Einzelspulen axial zueinander verdreht überlappend als 6 polige Wicklung ausgeführt waren. Die anfänglichen Stabilitätsprobleme des Spulenträgers, die bei diesem Wicklungsaufbau auftauchten, löste Desroziere in dem er die Wicklung erstmals in zwei Ebenen unterteilte, die durch eine schlecht leitende Metallscheibe aus Neusilber und Nicklin in ihrer Mitte stabilisiert wurde. Die Erfindung wurde begründet mit der Vermeidung von Wirbelstromverlusten im Eisenkern, die bei vielen Maschinen durch ihre inzwischen lamentierte Ausführung zwar gemindert waren, aber immer noch störend wirkten, so wie auch die große Ankerrückwirkung, die durch den großen Luftspalt vermindert war. Die Maschine war herstellungsfreundlich, ihr Gewicht war sehr gering und durch die gute Belüftung wurden große Stromdichten erreicht. Eine ausführliche zeitgemäße Beschreibung des Generators (**Bild 18**) hat der unabhängige Experte E. Gerland [6] angegeben, aus der auch das folgende Zitat

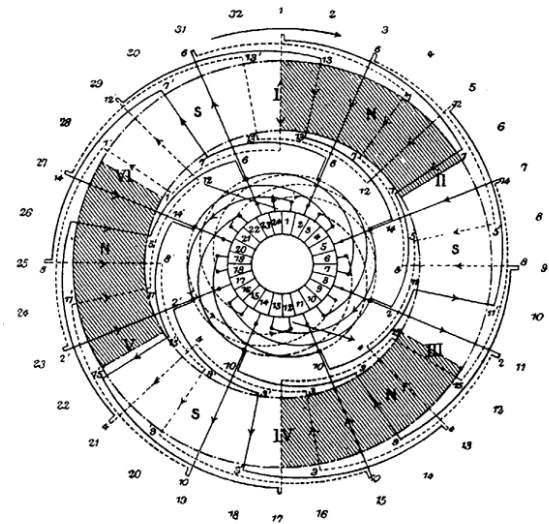


Bild 17: Wicklung des sechspoligen Scheibenankers von Desroziere

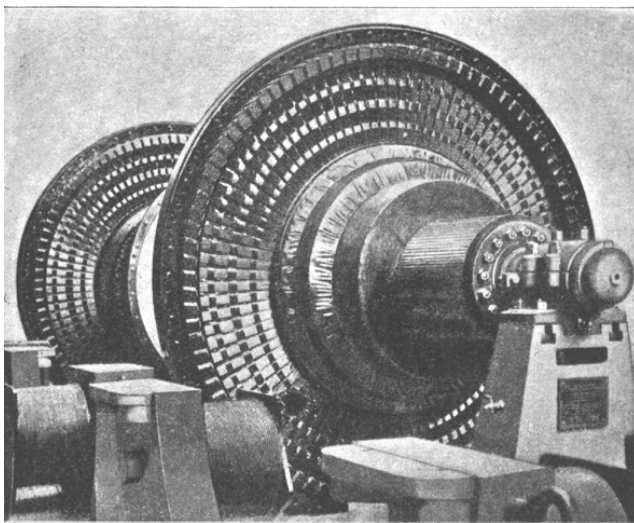


Bild 18: Luftspulen-Scheibenmaschine von Desroziere von 1889

stammt: „Wenn ungeachtet der großen Vorzüge der Scheibenanker doch wenig Eingang fand, so lag dies nicht an prinzipiellen Fehlern, sondern daran, dass es bisher nicht gelingen wollte, den einzelnen Teilen derselben für die Anwendung zweckmäßige Formen und Abmessungen zu geben,...“ (was mit der Erfindung der Desroziere-Maschine geschehen sein sollte). Diese Maschinen wurden bei der französischen Marine auf Kriegsschiffen eingesetzt und hatten sich schon bewährt, bis sich die Allgemeinheit bis hin in die Kolonien dieser Maschine erfreuten. Anfangs lieferten die Maschinen Wirkungsgrade von an die 80 % wie die Eisenmaschinen auch. Später um die Jahrhundertwende erreichten diese Maschinen bei der Nenndrehzahl von 300 Umdr./min und einem Scheibendurchmesser von 1,4m und einer Leistung von 210 KW und einen Wirkungsgrad von 92 %. Diese Maschine hatte auch nur das halbe Gewicht einer Gramme'schen Ringmaschine, so dass der Einsatz auf Schiffen ideal war.

Ende der 80iger und in den 90iger Jahren des 19ten Jahrhunderts war ein riesiger Entwicklungsboom. Es wurde weiter an der Optimierung der Gleich- und Wechselstrommaschinen gearbeitet. So wurde die Kommutierung weiter verbessert, die Ankerrückwirkung und die Streuung wurden untersucht und Magnetberechnungen gemacht. Es wurden nun die Beziehung zwischen Maschinengröße und Leistungsverhältnis untersucht. Die Polverschiebung und alle heute

bekanntesten Verlustquellen wurden aufgedeckt und untersucht. Die Maschinen wurden auch am Wirkungsgrad gemessen. Die Anwendung als Motor wurde endlich praktisch, wenn auch mit noch vielen Unzulänglichkeiten umgesetzt und die Anwendungsmöglichkeiten für elektrische Maschinen stiegen ab 1890 rapide.

Eine neue Generation von Erfindern begeisterte sich für den Wechselstrom und deren Möglichkeit der Kraftübertragung und forschte darüber und entwickelte Drehfeldmaschinen und darauffolgend den Drehstrom. Dieses neue System setzte sich in sehr kurzer Zeit gegen den Widerstand der alten Erfindergeneration und deren großer Firmen, die das Gleichstrom und Wechselstromsystem vehement verteidigten, am Markt durch, so bestechend waren die Vorteile des Drehfeldsystems. Somit waren auch die Probleme beim Anlauf und bei Überlastung der bis dahin bestehenden einphasigen Wechselstrommotoren, wie auch die Probleme, die auftraten wenn Dynamomaschinen als Motoren durch Wechselstrom betrieben wurden, durch den Einsatz von Drehfeldmotoren zunächst überwunden.

So baute in Turin Galileo Ferraris 1885 ein magnetisches Rotationsmodell, das auf einem zweiphasigen Drehfeld basierte, welches in einem Kupferzylinder Ströme induzierte und ihn so in Bewegung setzte. Dies war der erste Induktionsmotor die erste Asynchronmaschine. Die Versuchsergebnisse veröffentlichte er erst 1888, weil er kaum an die Brauchbarkeit der Maschine glaubte.

1887 wurde in den USA von Nikola Tesla der erste technisch reife Drehfeldmotor entwickelt, der bei einer Leistung von 7,5kW 380 kg wog.

Ebenfalls 1887 wurde in Offenburg von F.A. Haselwander die erste dreiphasige Synchronmaschine konzipiert und der Amerikaner Charles Bradley erkannte 1888 das Dreiphasensystem mit um 120° zueinander phasenverschobenen Strömen als das Optimum und ließ es sich patentieren.

Auf der elektrotechnischen Ausstellung von 1891 wurden erstmals Drehfeldgeneratoren und Drehfeldmotoren vorgestellt und die erste Übertragung elektrischer Energie durch Drehstrom über 175 km von Lauffen nach Frankfurt von Michael Dobrowolsky realisiert, was damals eine Sensation war und weltweit für Aufregung sorgte. Die größte Übertragungsleistung dabei betrug 240kW, wofür man eine Spannung von 15000V, die auf 25000V erhöht werden konnte, verwendete.

Von nun an begann der Siegeszug des Drehstromes und der Drehstrommaschinen, die alle anderen Maschinen, zumindest in den neuen Anwendungsfeldern, nahezu zu verdrängen drohten, denn so bestechend waren die Vorteile des neuen Systems, bei denen kein Kollektor mehr benötigt wurde und das Anlaufen der Motoren nun endlich problemlos vonstatten ging. Auch die Kraftfernübertragung konnte nun mittels Hochtransformation verlustarm durchgeführt werden. Dadurch war der Weg zur Elektrifizierung der Welt frei und ein neues wirtschaftliches Zeitalter begann.

Luftspulenmaschinen wurden in diesem System nicht in Erwägung gezogen, mit der Ausnahme von Messwerken. Die Stromversorgung wurde um die Jahrhundertwende zum 20igsten Jahrhundert immer mehr zentralisiert, da die Nutzer die großen Investitionen in das neue Drehstromsystem und deren Maschinen scheuten, da es keine Betriebserfahrung damit gab. So wurden Stromzähler benötigt, für die Ferrarismotoren und zylinderförmige Luftspulenmotoren verwendet wurden. Dies war zunächst die einzige Anwendung von Luftspulen in der Drehstromtechnik.

Erst nach den beiden Weltkriegen, ca.70 Jahre später, mit der Entwicklung der Halbleitertechnologie wurde eine andere Anwendung von Luftspulenmaschinen als Drehfeldmotor mit dem elektronisch kommutierten Glocken- und Scheibenmotoren gefunden.

Zusammenfassend kann bis zu diesem Zeitpunkt aus praktischer Sicht gesagt werden, dass eisengefüllte Ankerspulen von Anbeginn der technischen Umsetzung der Faraday'schen Untersuchungsergebnisse in elektrischen Maschinen eine dominante Rolle spielten. Es waren nur wenige Konstrukteure, die sich mit eisenlosen Luftspulenmaschinen beschäftigten und sich dafür begeisterten, womit sie die konstruktiven Stabilitätsprobleme des freien Leiters im Feld erfolgreich meisterten und damit sehr zuverlässige und wartungsarme Maschinen lieferten, die sich bei ihren Anwendern großer Beliebtheit erfreuten, was auffälliger Weise in zeitgemäßen Schriften für die verschiedene zur Anwendung gekommene Maschinen immer wieder ausdrücklich erwähnt wurde. Auch durch aufkommende Berechnungs- und wissenschaftliche Untersuchungsmethoden wurden diese Maschinen nicht verdrängt, obwohl, wie an späterer Stelle erläutert, die mathematische Form durch die Art ihrer Anwendung gegen Luftspulenmaschinen sprach. Immer wenn besondere Probleme anstanden, bei denen außerordentlich gute Maschineneigenschaften gefordert waren, wurden von einzelnen Konstrukteuren die Lösung in eisenlosen Luftspulenmaschinen erkannt und auch die damit zusammenhängenden konstruktiven Herausforderungen gemeistert. Es war immer eine Sache des Engagements und der Notwendigkeit, aber auch des Zuganges zu den Wurzeln der Elektrizität, zu den von Faraday formulierten Gesetzmäßigkeiten unter Kenntnis der dieser zugrundeliegenden Erfahrungen.

In dem zumindest teilweisen Verlust dieser Wurzeln der Elektrizität, liegt, neben der zeitgemäßen mangelnden Notwendigkeit für Luftspulenmaschinen ein weiterer Grund für die weit verbreitete Unterschätzung und Nichtbeachtung der Möglichkeiten von eisenfreien Luftspulenmaschinen. Hierbei spielte ein für die Wissenschaft bedeutender, aber nicht unproblematischer Schritt eine große Rolle, nämlich die Übersetzung der naturnahen Erfahrungen Faraday's und dem daraus erwachsenen und von Faraday ersonnenen theoretischen Modell in eine von James Clark Maxwell im Jahre 1855 allgemeine, abstrakte mathematische Beschreibungsform dieses Modells.

Faraday war ein erfahrungsorientierter Naturforscher, der anhand unzähliger sehr systematisch durchgeführter und aufgezeichneter Versuche das Feldmodell, das Induktionsgesetz in Qualität und in Quantität und auch die elektromagnetische Lichttheorie [7,S.149], die er als Strahlungsschwingung bezeichnete, was später als elektromagnetische Welle bekannt wurde, erkannte und formulierte. Er war darüber hinaus, in metaphysischen² Begriffen gesprochen, ein Seher³, denn er räumte seiner Vision von einem Kraftfeld, Feldlinien und einem Energiezustand des Raumes am Schluss seiner Forschungsarbeit Realität ein, womit er sich in eine Reihe von großen Sehern, wie Schamanen der Naturreligionen, einreihet, die dieses Feld schon lange vor ihm kannten, es auch zu nutzen wussten, dies aber erst Mitte des 20ten Jahrhunderts veröffentlichten [8]. Faraday war jedoch der erste Seher, der dies in die neuzzeitliche Wissenschaft einbettete. Auch S.P. Thompson beschreibt in seiner Biographie über Faraday über diese seherischen Kräfte Faradays die vielfach nachzuweisen sind [7,S.125-126]. Maxwell huldigte Faradays Arbeit in einem Artikel und erkannte in ihr die Makellosigkeit und Wahrhaftigkeit der von Faraday hervorgebrachten Gesetze [7,S.105-106]. Maxwell war auch Physiker aber in erster Linie ein abstrahierender Theoretiker der Mathematik, der die elektromagnetischen Vorgänge mit anderen analogen Erscheinungen, die wissenschaftlich untersucht wurden, wie der Hydrodynamik, verglich und daraus eine allgemeingültige mathematische Form, die auch viele Phänomene in und außerhalb des Elektromagnetismus beinhaltet, ableitete [9]. Er bemühte sich dabei auf Anraten Faraday's, um

² „Metaphysik“ ist die ganzheitliche Wissenschaft, die Realitäten außerhalb der physischen Realität mit einbezieht.

³ „Seher“ sind Menschen, die Zugang zu anderen Realitätsebenen haben und aufgrund dessen Situationen und Erkenntnisse zeitlich voraussehen können, auch wenn es dafür noch keine logisch nachvollziehbaren Beweise gibt.

eine möglichst anschauliche Form, mit anschaulichen Größen, in der die physikalischen Vorgänge noch erkenntlich sein sollten.

Die mathematische Form entsprach wie Maxwell's sagte ganz dem theoretischen System Faraday's [9,S.6-7], denn Faraday selbst hatte am Schluss seiner Untersuchungen die Abstrahierung seiner Erfahrungen vorgenommen, was für ihn auch keine Gefahr bildete, da er die unmittelbare Erfahrung gemacht hatte und damit über das Wissen verfügte. Das Ergebnis der mathematischen Übersetzung waren letztendlich das allgemeine Induktionsgesetz und die Maxwell'schen Gleichungen, was die Grundlage dafür legte, dem Phänomen Elektrizität auch mathematisch, umfassend begegnen zu können und bald die schnelle Entwicklung und Verbreitung der Elektrizität begründete. Diese abstrakte, mathematische Sichtweise mit neu eingeführten abstrakten Begriffen wurde von Zeitgenossen zunächst und unmittelbar zwar auch nur sehr zögerlich angenommen, aber sehr viel besser als die originale Faraday'sche Theorie, die für Zeitgenossen wohl ein zu großer Entwicklungsschritt war. Maxwell verhalf Faraday's Theorie durch die mathematische Formulierung zur allgemeinen Anerkennung. Diese mathematische Formulierung, weitgehend losgelöst von den unzähligen Versuchen, die Faraday dazu gemacht hatte, prägte aber fortan, immer mehr die Betrachtung der Elektrizität und auch die der Neuentwicklung von elektrischen Maschinen.

Faraday's „Anschauungsmodell“ ist heute überall gegenwärtig, wie z.B. durch die Feldvorstellung, die vor allem in der physikalischen oder technischen Ausbildung herangezogen wird, um alle möglichen elektromagnetischen Phänomene zu veranschaulichen. Geht es aber an die Konstruktion von Elektrischen Maschinen, wurde im Laufe der Zeit immer mehr der Blick auf die abstrakteste physikalische und mathematische Formulierung gerichtet, weil dies am Besten mit Eisenmaschinen korrespondierte und damit deren Zusammenhänge, wenn auch zunächst mathematischer Natur mit vorwiegend abstrakten Größen, sehr schnell gezeigt werden konnten. So kam es, dass dieses mathematische Modell, insbesondere die mathematische Formulierung des allgemeinen Induktionsgesetzes, zunächst und immer mehr als Grundlage für jegliche elektrische Maschinenentwicklung diente. Hier hat also ein Übergang stattgefunden, von relativ konkreten, sichtbaren Größen, wie Feldlinien, deren Verlauf sichtbar gemacht werden konnte, dem Leitungsdraht und dessen offensichtlicher geometrischer Lage im Feld und dessen sichtbaren, relativen Geschwindigkeit dazu und vor allem der zentrale Punkt bei Faraday's praktischen Untersuchungen, dem direkten schneiden der Leiter durch Feldlinien, zu sehr abstrakten mathematischen Größen, wie dem magnetischen Fluss Φ , der magnetischen Durchflutung Θ , der magnetischen Feldstärke H , der magnetischen Induktion B , der Permeabilität μ und letztendlich dem zentralen Punkt der mathematischen Formulierung, der Flussänderung pro Zeitänderung $d\Phi/dt$ innerhalb einer bestimmten Spulenfläche. Die einzig reale Größe ist dabei die Spulenfläche A , die aber dazu verleitet einen verzerrten Blick auf die unmittelbaren Zusammenhänge zu legen, was auf S.16 weiter ausgeführt wird.

Auf dieser Grundlage werden heute die elektrischen Maschinen entwickelt und damit wurde auch entschieden und begründet, ob Maschinen mit eisengefüllten Spulen oder Luftspulen verwendet wurden und werden. Es wurden Berechnungsmodelle für alle bekannten Maschinen erstellt. Wenn heute eine Maschine verändert oder optimiert werden soll, geschieht das auf dieser mathematischen Grundlage und deren Verständnis und Begriffen, was heißt, dass der Entwickler in der Formel Größen verändert und guckt, was dabei zahlenmäßig an Veränderung herauskommt.

Diese mathematische Herangehensweise zwingt einen Entwickler auch förmlich dazu, Eisen in der Spule zu verwenden, weil ihm die mathematische Form deutlich zeigt, wie die Verwendung von Eisen die das Magnetfeld der Spule (bzw. die Maschine) „verstärkt“, was auch der Fall ist, jedenfalls tritt es so in Erscheinung.

Denn was ist passiert?

Das Eisen verstärkt das Magnetfeld nicht in dem Sinne, dass es dem Feld der Spule ein eigenes Feld hinzufügt, sondern es verkürzt nur den verlustreicheren Weg der Feldlinien durch die Luft.

Die magnetischen Feldlinien sind reale Energielinien, die beim Verlauf in der Luft stark an Energie verlieren, je weiter sie sich von der Quelle entfernen. Eisen hat die Eigenschaft den Energiefluss auf diesen Energiebahnen wesentlich besser zu leiten, als das Medium Luft.

Wenn eine eisengefüllte Spule ein starkes Magnetfeld hervorbringt, liegt das daran, dass der Energiequelle der Verlust an Energie beim Verlauf der Feldlinien durch den Spuleninnenbereich (Luftbereich) weitgehend erspart bleibt, weil sie statt dessen durch den Eisenkern verlaufen. Aus diesem Grund bringt die Magnetfeldquelle nun mehr Energie nach außen, die dann als verstärktes Feld erscheint und als solches gemessen werden kann.

Hierin besteht das eigentliche Missverständnis von heutiger Wissenschaft und Technik bezüglich der Rolle des Eisens als Kernmaterial in elektrischen Spulen. So hat man den Eindruck gewonnen, das Eisen das Magnetfeld der Spule um ca. das 1000fache verstärkt. Die mathematischen Formeln des Induktionsgesetzes hat man dementsprechend abgeleitet und umgeformt bis sie diesen Eindruck wiedergaben.

Bei der Annahme, dass eine relative Permeabilität $\mu_r = 1000$ das Magnetfeld um diesen Faktor verstärkt, wäre es natürlich absurd auf Eisen in der Spule zu verzichten.

Paradox scheint allerdings dabei, dass Luftspulenmaschinen nicht das vielfache Volumen oder den vielfachen Durchmesser einer Eisenmaschine gleicher Leistung besitzt.

Das Gegenteil ist sogar der Fall, denn bei optimaler technischer Umsetzung der Essenz der Energieumwandlung [10] sind Luftspulenmaschinen kleiner als Eisenmaschinen. Der Grund dafür ist, dass Luftspulenmaschinen eine höhere Effizienz haben, die z. B. in einer kleinen Bauform und in einem hohen Wirkungsgrad sichtbar wird.

Bei Eisenmaschinen wird das Feld durch Eisen und dabei auch durch die Spule geleitet. Der Luftweg für die Feldlinien wurde auf einen sehr kurzen Luftspalt minimiert. Das Feld schneidet den Leiter, wenn der Anker gegenüber dem Ständer bewegt wird und das Feld bei jedem Polwechsel zusammenbricht.

Der Gewinn dieser Luftspaltverkürzung durch den Einsatz von Eisen in Spulen, die ständig ummagnetisiert werden, brachte zunächst leistungsstarke und kompakte Maschinen hervor. Dies war 180 Jahre (mit wenigen Ausnahmen der Luftspulenmaschinen) bestimmend für die elektrische Maschinenentwicklung und deren Anwendung und entsprach dem technischen Entwicklungsstand und den damaligen Anforderungen an elektrische Maschinen.

Weitgehend übersehen, verdrängt oder vergessen, weil es aus Selbstverständlichkeit hingenommen wurde oder weil sich die Meinung durchgesetzt hat, dass es als notwendiges Übel in Kauf genommen werden muss, und der Gewinn durch das Eisen zunächst beeindruckend war und auch fundiert mathematisch untermauert wurde und wird, ist, dass man sich bei der derartigen Einführung von Eisen in Kontakt mit der Spule, den Gewinn auch gleichzeitig mit Nachteilen und großen Verlusten erkaufte, die in den meisten Fällen heute keine Notwendigkeit mehr besitzen.

Diese Nachteile und Verluste, die hier angesprochen werden, sind sehr vielfältig und entstehen durch die Relativbewegung magnetischer Pole gegenüber Eisen oder durch die Intensitätsänderung des magnetischen Feldes im Eisen, wobei ein schmaler Luftspalt diese noch verstärkt.

Hierzu gehören: Wirbelstromverluste, Hysteresisverluste, erhöhte Wärmeentwicklung, erschwerte Wärmeableitung, Polfühligkeit (Reluktanzmomente), hohe Ankerrückwirkung, großes Maschinengewicht, große rotatorische Masse des Läufers, geringe Dynamik, hoher Aufwand der lamellierten Kerne, großer Herstellungsaufwand, um die Spulen in die Nuten zu legen, hohe Induktivität, geringer Wirkungsgrad, unlineare Kennlinien (z.B. Spannungs/Drehzahlkennlinie), steigender Verlust bei hoher Drehzahl und dadurch erschwerte Regelbarkeit als Motor, die Notwendigkeit von Wendepolen, schlechtes Anlaufverhalten, großes Bürstenfeuer, geringere Bürstenstandzeiten.

Immer wenn ganz spezielle Anforderungen an die Maschinen gestellt wurden, die durch Eisenmaschinen nicht oder nur erschwert gelöst werden konnten, erinnerte man sich der Luftspulenmaschinen. So auch z.B. 1928 als für Sprechmaschinen gewichts- und geräuscharme Maschinen mit geringen Herstellungskosten benötigt wurden und im Zuge dessen, als Weiterentwicklung der Stromzähler, der erste Innenpol-Glockenläufer zumindest als Patent [DE 539486] in die Welt kam (ähnlich wie **Bild 19**, aber mit Elektromagneten).

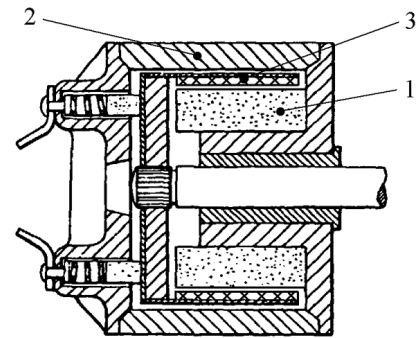


Bild 19: Glockenläufer mit Innenpolen

1948 meldete auch Siemens ein Patent [DE 843441] mit Doppel-T-förmigen Feldmagnetsystem, welches innerhalb der Luftspulenglockenwicklung lag, für die Verwendung als Uhrenaufzug oder als Hilfsmotor für Messgeräte an, wobei hier eingeräumt wurde, dass bis dahin zylinderförmige Luftspulensysteme kaum Verwendung fanden, weil die Stabilitätsprobleme erst vor Kurzem durch geeignete Herstellungsverfahren bewältigt wurden. So wurden in den 40iger und 50iger Jahren einige Abwandlungen dieser Maschinen bzgl. des Spulen- und Magnetfeldaufbaues angemeldet, wie z.B. ein amerikanisches Patent [US 2,860,267] von 1958, bei dem sowohl ein zweipoliger Permanentmagnetkern innerhalb und Permanentmagnete außerhalb einer Trommelspule in einer dynamoelektrischen Trommelmaschine verwendet wurde.

Einen bedeutenden Schritt bildete die Anwendung der Schrägwicklung auf die Glockenläufer durch die Firma Faulhaber, die 1962 in der VDI- Zeitung veröffentlicht wurde. Hier wurde vor allem mit einem hohen Leistungsgewicht geworben. Die Anwendungen wurden einerseits als Stellmotor mit hoher Anlaufempfindlichkeit bei einem hohen Moment für automatisierte Belichtungsmesser, Ballonsondermotoren und u.a. als Messbrückennachläufer und andererseits für den Batteriebetrieb bei dauernder Höchstleistungsabgabe ohne stärkere Erwärmung für meistens bewegliche Geräte, wie Tonbandgeräte, Plattenspieler, elektrische Rechenmaschinen, angegeben. Vorteile dieser Wicklung war und ist die gute selbsttragende Stabilität und der gleichmäßige Wicklungsaufbau, der sich voll im Luftspaltbereich befindet. Eine bessere Kupferausnutzung trifft für diese Maschinen allerdings nicht zu, da nur rautenförmige Polbereiche, die weniger als 50% der Spulenfläche ausmachen, zum Drehmoment beitragen. Der gute Wirkungsgrad kommt deshalb zustande, weil hier Luftspulen verwendet wurden und der Verzicht von Eisen in der Spule hier seine Wirkung zeigt. Eine weitere Steigerung wurde durch bessere Magnetmaterialien erreicht und in letzter Zeit auch dadurch, dass der Spulenausnutzungsgrad ξ_{Sp} [1] innerhalb jeder Spule, durch die Verwendung geringerer Maschinendurchmesser bei gleichzeitig großer axialer Länge, verbessert wurde. Auch an der Heraufsetzung der Umfangsgeschwindigkeiten durch die Verwendung von Getrieben wurde gearbeitet, damit der geringe Durchmesser und damit die gute Kupferausnutzung innerhalb jeder Spule ohne Geschwindigkeitsverlust erreicht werden konnte. Hier ist also eine direkte Anwendung der Idealbedingungen der unmittelbaren Energieumsetzung zwischen Leiter und

Magnetfeld zu sehen, obwohl die zylinderförmige Konstruktion und die Schrägwicklung der Umsetzung der Idealbedingungen hier noch Grenzen setzt.

Der andere Zweig der Luftspulenmaschinen, die Axialfeldmaschine in Scheibenform, hatte einen ähnlichen Werdegang im 20igsten Jahrhundert. Zunächst wurden sie ebenfalls in Stromzählern, wie aus einem Patent [DE 629265] der Firma Siemens von 1936 hervorgeht, verwendet. Die heutige noch gebräuchliche Form vom Scheibenläufer, bei dem eine scheibenförmige Luftspule zwischen zwei Scheiben mit Permanentmagneten angebracht ist, wurde ebenfalls von Siemens 1949 zum Patent [DE839062] angemeldet (ähnlich wie in **Bild 20**, jedoch mit beidseitigen Polen).

Einen weiteren Entwicklungsschub gab es dann Ende der 60iger, Anfang der 70iger bis Mitte der 80iger Jahre des 20igsten Jahrhunderts, in denen die Anwendungen durch die zunehmende Elektronisierung immer zahlreicher wurden und sich immer mehr zu einem Massenprodukt entwickelten. Bald wurden aufgrund der fortschreitenden Automatisierung trägheitsarme Motoren hoher Dynamik und einer guten Regelbarkeit, benötigt, dessen Eigenschaften von Eisenmaschinen nicht erfüllt werden konnten. In diesem Zusammenhang erinnerte man sich wieder der Luftspulenmaschinen, dessen Trommel-, Glocken- und Scheibenform nun intensiv weiter entwickelt und optimiert wurden. Das erste Mal in ihrer Geschichte waren Luftspulenmaschinen für einige Anwendungen das Ideal, zu der es erstmals keine Alternative gab, wenn man von der Anwendung als leichtgewichtiger Generator in Kriegsschiffen absieht. Im Grunde wurden ihre außerordentlich guten Eigenschaften zum Teil erst mit der fortschreitenden Elektronisierung, der Beschleunigung und der Mobilität der Technik zu schätzen gelernt. Viele von den in den 90iger Jahren des 19ten Jahrhunderts gemachten Entwicklungen waren in Vergessenheit geraten und wurden nun wieder erfunden für ein neues Anwendungsgebiet und vor allem für Maschinen kleinerer Leistung.

Auch explodierte geradezu ihr zahlenmäßiger Einsatz als Klein- und Kleinstmotoren in immer mehr mobil werdenden, batteriebetriebenen Geräten, in Geräten der HiFi und Phontechnik, sowie im Computer, wo spezielle Eigenschaften wie geringes Gewicht, Geräuscharmheit, gleichmäßiges Drehmoment, gute Regelbarkeit, hohe EMV, geringe Störabstrahlung, großes Leistungsgewicht, hohes Drehmoment, geringes Anlaufdrehmoment, Verschleißfreiheit und damit Wartungarmut geschätzt wurden.

Gleichzeitig machte auch die Permanentmagnetentwicklung mit der Erfindung der Hochenergiedmagneten, aus einer zunächst Seltenerdmetall-Kobalt-Verbindung und später aus der Neodym Eisen Bor Legierung einen Entwicklungssprung, der für den erfolgreichen Einsatz der Luftspulenmaschinen in vielen Anwendungen, vor allem als mechanisch oder elektronisch kommutierte Gleichstrommotor, von Vorteil war.

Dieser Forschungs- und Entwicklungsboom legte sich dann Mitte der 80iger Jahre des 20igsten Jahrhunderts wieder und das Gebiet schien weitgehend ausgereizt. Die Anwendungsleistungen pendelten sich bei Scheibenmaschinen bei bis 10kW und bei Glockenläufern zunächst bei nur 100W und durch die neuesten Entwicklungen bei nahezu 300W ein.

Es waren immer noch sehr spezielle Anwendungsgebiete für den Einsatz von Luftspulenmaschinen und so hatten sie innerhalb der Maschinentechnik zwar nun ihren festen Platz, waren aber nach wie vor eine Randerscheinung. Diese Hochzeit, in der sich einige, aber immer noch

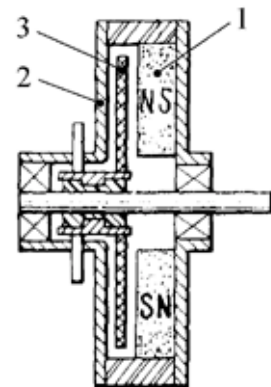


Bild 20 Scheibenmaschine mit einseitig angebrachten Polen

wenige, Entwickler mit diesen Maschinen beschäftigten, ist nun schon 30 Jahre vorbei, und so gilt diese Technik als nicht mehr entwicklungsfähig, ausgereizt, ausentwickelt.

Nun machten diese Maschinen kaum noch von sich reden, von einigen aufgeschlossenen Wissenschaftlern wurde erstaunt der hohe Wirkungsgrad erwähnt, obwohl ja ganz offensichtlich das verstärkende Eisen in der Spule fehlte und ein großer Luftspalt zu überwinden war, denn darauf hatte man bei den bisherigen Einsatzgebieten kein Augenmerk gelegt. Hier wird zudem deutlich, daß das Wissen, daß damalige höchste Wirkungsgrade von 90% schon mit Luftspulenmaschinen des 19ten Jahrhunderts erreicht wurden, doch verloren gegangen war, und auch nicht mehr, aufgrund der immer größer werdenden Spezialisierung und der Fokussierung auf bestimmte Bereiche, aufgearbeitet werden konnte und auch die Verwendung von Eisen vielfach als unabdingbar galt.

Die Forschung suchte vielfach nach neuen Maschinen, weil die Anforderungen und der Zeitgeist zeigte, dass es etwas Neues zu entwickeln galt, aber sie versteifte sich immer wieder auf die herkömmlichen Eisenmaschinen. Selbst, wenn Luftspulenmaschinen in Betracht gezogen wurden, wie in dem Forschungsvorhaben WE 274/75, welches 1985 abgeschlossen wurde [11], in dem ein eisenloser Gleichstromscheibenläufermotor mit Permanentmagneterregung von 30kW Leistung, der für den Einsatz in Elektroautos gedacht war, gebaut und getestet wurde. Das Projekt musste mit sehr geringen Mitteln auskommen, so dass der magnetische Kreis nicht optimiert werden konnte und so aneinandergestückelte (sogar innerhalb einer Polfläche), gebrauchte Magneten, die am Institut schon vorhanden waren, verwendet werden mussten. Zudem belegten die Magnete nur weniger als 50% der möglichen wirksamen Fläche aus Sicht des Luftspulenprinzips. Hier wäre also ein erhebliches Verbesserungspotential. Trotz dieser widrigen Umstände wurde eine Anwendbarkeit so einer Maschine bestätigt, aber leider nie im Autoantrieb umgesetzt. Der tatsächlich wirksame Außendurchmesser der Leiter lag bei dieser Maschine bei 40 cm, aber aufgrund der nötigen aber ungenutzten evolventen Leiter im Umfangsbereich lag der Spulendurchmesser bei 57cm. Eine Scheibenmaschine nach dem neuen Maschinenkonzept Bild 21 des Aufsatzes [1] erreicht bei einem Durchmesser von 57cm ca. die 11fache Leistung und bei einem Durchmesser von 40cm die ca. 3fache Leistung bei gleichen Drehzahlen. Bei dem Forschungsvorhaben wurde immerhin ersichtlich, dass es den Luftspulenmaschinen auch nicht bei geringerem Durchmesser von 57cm an der Leistung mangeln würde, wie vielleicht einige Entwickler befürchteten, wobei die Maschinen von Hefner-Alteneck schon 1873, 1878, 1881 und die Scheibenmaschine von Feranti, Mordey, Dezroviere von 1889 mit ihren hohen Leistungen bis 1.5MW das nicht erwarten ließen.

Die Zeit für die breite praktische Anwendung dieser Luftspulenmaschinen war noch nicht reif. Historisch gesehen musste zunächst die Drehstromtechnik etabliert und damit die Elektrisierung der Welt vorgenommen werden. Dann mussten Anwendungen erfunden werden, die nur durch Luftspulenmaschinen erfüllt werden konnten und in denen sie einen Teil ihrer Qualitäten offenbarten. Heute musste die Welt erst an den Rand ihrer Existenz geraten, damit die Luftspulenmaschinen im vollen Umfang ihrer Möglichkeiten entdeckt und angewendet werden.

Eine weitere Verhinderung der historischen Maschinenentwicklung in Richtung der Luftspulenmaschinen verursachte eine andere durch das physikalische Modell und dessen mathematischen Form bedingte Vorprägung in der Sichtweise des heutigen Maschinenentwicklers. Es ist die Vorstellung des sogenannten „Flusses“ durch die Fläche der Spule. Dies ist zwar die halbwegs reale Betrachtungsweise, die dieses Modell zulässt, die aber darauf fixiert ist, eine Flussänderung pro Zeit $d\Phi/dt$ durch eine vom Leiter umrandete Fläche A zu optimieren, wodurch der einzelne Leiter im Bezug auf die Feldlinien nicht mehr betrachtet wird. Aber gerade diese Sichtweise des einzelnen Leiters im Feld ist die Voraussetzung für die Dezimierung der Kupferverluste innerhalb jeder Spule. Wenn man nur die Fläche der Spule

betrachtet, macht es den Eindruck, dass ihre Form egal ist, ob sie rund ist oder eckig, Hauptsache der Fluss durch die Fläche stimmt. So findet man auch oft die Formulierung im Zusammenhang von Luftspulenmaschinen, dass es darum geht, dass die Spule den Fluss umfasst, womit nur die Innenfläche der Spule gemeint ist, wobei es korrekt wäre, dass Feldlinien nicht nur die Innenfläche der Spule durchdringen, sondern auch die Leiter selbst, die quer zur Bewegungsrichtung liegen. Diese verzerrte Sichtweise des Umfassens des Flusses taucht bis zur heutigen Zeit immer wieder auf. Dieses Missverständnis würde nicht passieren, wenn man sich auf den zentralen Punkt der Induktion konzentriert, nämlich dem direkten Schneiden der Leiter durch die Feldlinien. Auf diesen Punkt hatte Faraday selbst immer wieder hingewiesen, aber die von ihm vorgenommene Abstrahierung und dann Mathematisierung zeigt hier ihren Preis. Durch Konzentration auf das Schneiden der Leiter durch Feldlinien kommt man zur optimalen Polfläche, die sich in Abhängigkeit von der Leiterführung und der Wickelvorschrift ergibt. Diese Polflächen zusammengesetzt können dann Mantelflächen unterschiedlichster Körper annehmen.

Diese Fixierung auf den Fluss und die Fläche mag erklären, dass kaum Anstrengungen getan wurden, die Kupferverluste innerhalb einer Spule zu dezimieren, obwohl die Spulen, der Trommel-, Ring-, Scheiben- und Glockenmaschinen nur zu maximal 60% genutzt wurden und werden.

Die Schwierigkeit hier etwas zu unternehmen, liegt auch daran, dass nach dieser Vorstellung nun mal eine Fläche vollkommen vom Leiter umschlossen werden muss, damit eine Verkettung mit dem Fluss stattfinden kann und dann um Kupferlänge zu sparen, folgerichtig die maximale Fläche, bei kürzestem Umfang dieser, die Kreisform ist, die auch sehr lange bis in die jüngste Zeit für Pole vielfach verwendet wurde. Wenn man es in der Vergangenheit nun schaffte von der ausschließlichen Betrachtung der Fläche Abstand zu nehmen und stattdessen die Leiter Beachtung fanden, erschien es trotzdem unmöglich, die nun mal nötigen verbindenden Leiter der Spulenseiten zu kürzen, ohne gleichzeitig dadurch auch kleinere Spulen- und Polweiten (kleine Polflächen) und damit vielerlei Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. In letzter Zeit wird zwar die Chance der besseren Kupferausnutzung erkannt und immer mehr hochpolige Maschinen favorisiert, dies zwar ein Schritt in die richtige Richtung, erübrigt sich jedoch durch die Anwendung des Luftspulenprinzips weitgehend [1].

Abschließend zur historischen Rückschau kann man sagen, dass die zunehmende Spezialisierung in der Wissenschaft und Technik und das explosionsartig vermehrte Wissen dazu beiträgt, dass das Phänomen Elektrizität nicht mehr unvoreingenommen erfahren wird, sondern anstelle dieser Erfahrung die abstrakte physikalische Theorie und vor allem deren mathematische Form getreten ist, was den Entwickler in eine bestimmte Denkrichtung zwingt, die immer wieder die gleichen Lösungen hervorbringt, und sie als Optimum erscheinen lassen. Deshalb ist es wichtig für die Entwicklung neuer Maschinen, sich wieder von diesem abstraktem Modell zu lösen, ihm weniger Macht einzuräumen und wieder das Naturphänomen Elektrizität selbst zu betrachten und zu erfahren oder zumindest Faraday's Anschauungsmodell inklusive der Erfahrung seiner Versuchsreihen als Bezugsrahmen zu nehmen, und dieses zu verknüpfen, mit den heutigen Möglichkeiten und unter den heutigen Anforderungen an die elektrische Maschinen.

Denn diese Anforderungen haben sich in den letzten Jahren stark verändert, so dass die Verluste und Einschränkungen, die durch das Einbringen von Eisen in die Spule entstanden sind, ein viel größeres Gewicht haben als früher. So ist es sogar in den meisten Fällen zwingend notwendig, wieder darauf zu verzichten, um die Maschinen an die heutigen Anforderungen anzupassen. Das Gleiche gilt für die Kupferverluste innerhalb jeder Spule, die heute ein größeres Gewicht haben als jemals zuvor.

Die Zeiten gehen vorbei, in denen es darum ging Maschinen möglichst preiswert herzustellen und das magnetische Feld aus Kostengründen vorwiegend durch Elektromagneten

hervorzurufen, wobei die Effizienz der Energieumwandlung durch die Maschine nur eine geringe Priorität besaß.

Heute bestimmt immer mehr der Wirkungsgrad die Maschinenentwicklung und nicht die Herstellungskosten [12,13]. Deshalb muss auch ein Umdenken bzgl. des Einsatzes von Eisen in den Spulen und bzgl. des Ausnutzungsgrades des Kupfers innerhalb der Spulen stattfinden. Mit der heutigen Generation der Hochenergiemagneten ist es in einem hohen Maß möglich, den Intensitätsverlust des Feldes, beim Fortlassen von Eisen in der Spule, auszugleichen. Aber auch bei selbst- und fremderregten Maschinen sind durch Anwendung des Luftspulenprinzips höhere Wirkungsgrade zu erreichen. Darüber hinaus werden die Verluste, durch das neue Konzept der Biegung oder Faltung der Luftspule quer zur Bewegungsrichtung, weiter dezimiert, was eine, den Idealbedingungen der direkten Energieumsetzung entsprechende, optimale Nutzung des Leitungskupfers und damit auch des Magnetmaterials bzw. der Polflächen innerhalb jeder Luftspule ermöglicht, sowie sehr kompakte und anpassungsfähige Maschinen und eine Vielzahl von weiteren Vorteilen, wie in [1] vorgestellt wurde, nach sich zieht, wodurch der Leistungsverlust durch den Verzicht auf Eisen in der Spule mehr als ausgeglichen wird.

Nicht nur die Politik, die Betriebswirtschaft und Umwelt verlangt heute nach hocheffizienten Maschinen, sondern auch die Technik selbst in Verbindung mit dem Zeitgeist. Für die Fahrzeuge der zukünftigen Autogeneration, die mit Elektromotoren und Brennstoffzellen betrieben werden, sind hocheffektive, leichte und platzsparende Motoren von Nöten, die mit der herkömmlichen Technik nicht mehr geleistet werden können. Es reicht dabei nicht, die herkömmlichen schweren Eisenmotoren hier und da noch zu optimieren, wobei die Nachteile dieser Technik grundsätzlich bestehen bleiben und die Optimierung schnell Grenzen erfährt. Auch durch die immer schneller werdende Welt, die allorts automatisiert wird, sind leichtgewichtige, schnelle, kompakte Antriebe mit hoher Dynamik gefragt. Schwerfälligkeit und Gewicht haben hier nur noch Platz, wo es einen Vorteil darstellt. Lautlosigkeit, Wartungsarmut, hohe magnetische Verträglichkeit, geringe Störabstrahlung, Hocheffizienz, großes Leistungsgewicht, Verwendung als Sensoren zur Meldung von Systemfehlern, das sind die Anforderungen an Antriebe und Generatoren von Heute und Morgen.

Insgesamt gewinnt man den Eindruck, dass Luftspulenmaschinen nur sehr unzureichend erforscht sind. Bei Luftspulenmaschinen denkt man leicht an bestimmte Maschinenformen, weil sie heutzutage nur bei Gleichstrommaschinen eingesetzt werden, aber es geht hier um ein eigenständiges Prinzip. Bei Luftspulenmaschinen wurden den Anforderungen der Zeit entsprechend Grenzbereiche für bestimmte Anwendungen unter einem bestimmten Blickwinkel, ausgelotet. Luftspulenmaschinen wurden nicht in ihren Möglichkeiten erkannt und infolgedessen auch nicht erforscht. Nun ist es an der Zeit dies zu tun, da das nun entdeckte Luftspulenprinzip die höchsten Wirkungsgrade liefert und viele andere heute dringend erforderlichen Eigenschaften bietet.

Das Luftspulenprinzip ist die optimale technische Umsetzung der direkten Energieumwandlung zwischen freiem Leiter und Magnetfeld und beinhaltet die Optimierung des Zusammenspiels aller Vektoren $\vec{B}, \vec{l}, \vec{v}$, was bedeutet, dass das Leitungskupfer optimal ins Feld gelegt wird unter Berücksichtigung der Größe der Geschwindigkeit und unter Minimierung von Kupferverlusten, wobei insgesamt zumindest auf Eisen, welches dauernd umgepolt werden würde, verzichtet wird.

Wobei sich das Luftspulenprinzip, welches international zum Patent [14,15,16] angemeldet wurde, nicht nur auf Synchronmaschinen oder gar Gleichstrommaschinen beschränkt, sondern auf alle Maschinenformen anwendbar ist. So ist vor allem bei Asynchronmaschinen, die 60% der verwendeten Maschinen ausmachen ein hohes Energieeinsparungspotential vorhanden. Wobei

sich die Energieeinsparung nicht nur auf die einzelne Maschine beschränkt, sondern der induktive Leistungsanteil erheblich herabgesetzt wird, so dass Kraftwerke nur noch auf ca. die halbe Spitzenleistung ausgelegt werden müssen, wenn alle Asynchronmaschinen dementsprechend modifiziert werden [3]. So hat das Luftspulenprinzip eine erhebliche betriebswirtschaftliche, volkswirtschaftliche und umweltschützende Bedeutung.

Ein neues Zeitalter der Maschinenteknik ist angebrochen, und der neue Weg hat zeitgemäße Schwerpunkte, der ein Umdenken in der Betrachtung der elektrischen Maschinen und in deren Einsatz erforderlich macht und sich an die elementarsten Erkenntnisse der Anfangszeit der Elektrizität anschließt, unter Anwendung der heutigen technischen Möglichkeiten.

Aussicht

Faraday war Naturforscher, der die Natur unmittelbar, weitgehend nach heutigem Maßstab ohne ein vorgefertigtes Denkmodell und abstrakte Begriffe, im Experiment erfahren hat. Seine Experimentaluntersuchungen lesen sich wie ein spannender Abenteuerroman, wobei Faraday die Welt immer als Ganzes begriff und davon ausging, dass den Naturphänomenen eine gemeinsame Ursache zugrunde liegt, dessen Gesetzmäßigkeit er suchte.

Nicht die physikalische Theorie und schon gar nicht deren mathematische Form sind diese Gesetzmäßigkeit, sie sind nur das Hilfsmittel das Naturgesetz zu beschreiben, welches noch in vollem Umfang zu entdecken ist.

Wenn wir zu neuen, umfassenderen Erkenntnissen und damit auch zu neuen Maschinen kommen wollen, müssen wir wieder die Natur selbst betrachten und erfahren, unter dem Wissen einer gemeinsamen Ursache aller Erscheinungen.

Es gab immer wieder Naturforscher und Wissenschaftler, die dies getan haben. Dazu gehören Victor Schaumberger (1885-1958) [17] und Nicola Tesla (1856-1943) [18] und auch Michael Faraday. Sie arbeiteten daran eine Energie nutzbar zu machen, die in der heutigen Wissenschaft erst langsam Aufmerksamkeit und Anerkennung findet. Es ist die freie Energie des Raumes. Auch in diesem Zusammenhang wird die direkte Anwendung der Idealbedingungen für die direkte Energieumsetzung eine wichtige Rolle spielen, weil sie die zentralen Energieverknüpfungs- und Energiewandlungsbedingungen sind.

Die hier vorgestellte optimale technische Umsetzung dieser Idealbedingungen, die nun zur Anwendung kommt, bildet einen wichtigen Schritt in diese Richtung und ist u.U. Teil oder sogar zentrales Element so einer Maschine.

Literaturhinweise:

- [1] Bobzin, Jörg; Neue eisenfreie Luftspulenmaschinen mit größter Dynamik und höchsten Wirkungsgraden, 20 Seiten (Aus : J. Bobzin, Das Luftspulenprinzip, siehe [2])
- [2] Bobzin, Jörg; Das Luftspulenprinzip ist das Maschinenprinzip von morgen, 11 Seiten (Aus dem Buch: Jörg Bobzin, Das Luftspulenprinzip, Verlag Sternen-Wissen, Kiel, 2005)
- [3] Faraday, M; Experimental-Untersuchungen über Elektrizität, Reihe I bis XXX insbesondere Reihe I,II,XXVIII,XXIX, Ostwalds Klassiker, Herausgeber: Arthur Joachim von Oettinger, Verlag Engelmann, Leipzig 1897-1903

- [4] F.v.Hefner-Alteneck, Über eine dynamoelektrische Maschine für kontinuierlichen Strom, Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ), Mai 1881
- [5] Thompson Silvanus P., Dynamoelektrische Maschinen Bd.I,II, Verlag Wilhelm Knapp 1901
- [6] Gerland E., Die Scheibenmaschine von Desroziers, Elektrotechnische Zeitschrift, April 1889, S.199-201
- [7] Thompson Silvanus P., Dynamoelektrische Maschinen Bd.I, Verlag Wilhelm Knapp 1901
- [8] Castaneda Carlos, (u.a. in) Reise nach Ixtlan, Die Lehre des Don Juan, Fischer Verlag 1972, z.B. S.193
- [9] Maxwell, James Clerk, Über Faraday's Kraftlinien, Ostwalds Klassiker, Herausgeber: Arthur Joachim von Oettinger, Verlag Engelmann, Leipzig 18
- [10] Chr. Leymann, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben WE 274/75, eisenloser Gleichstrom-Scheibenläufermotor mit Permanentmagneterregung, Technische Universität Braunschweig 1985
- [11] - Dr. techn. Herbert Auinger, Dipl.-Betriebswirtin (FH) Sabine Stengel, Nach Wirkungsgrad klassifiziert, EU- Einteilung von Elektromotoren in drei Klassen erleichtert die Auswahl, drive, switch & control 4/99 (Siemenszeitschrift)
 - Dipl.-Betriebswirtin (FH) Sabine Stengel, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Mölter, Energiesparpotential ausloten, Energiesparprogramm bietet Entscheidungshilfe beim Elektromotorenkauf, drive, switch & control 3/99 (Siemenszeitschrift)
 - Dipl.-Betriebswirtin (FH) Sabine Stengel, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Mölter, Die clevere Art zu sparen, Energiesparmotoren von Siemens, drive, switch & control 1/99 (Siemenszeitschrift)
- [12] Heinze, R.; Ökologie und Ökonomie in Symbiose; etz Elektrotech. + Autom. Heft 11-12/2000, S.6-8
- [13] Patentanmeldung PCT/EP99/08683
- [14] Deutsche Patentanmeldung Nr.10137201.9
- [15] Deutsche Patentanmeldung Nr.10137192.6
- [16] Engert Ronald, Die Lebenskurve - Victor Schaumbergers Entdeckung der Levitationskraft, Tatra Viveka- Forum für Wissenschaft, Philosophie und spirituelle Kultur, Nr.5 1996
- [17] Cheney Magaret, Nicola Tesla - Über ein außergewöhnliches Genie und seine revolutionären Entdeckungen, Omega-Verlag

Bildnachweis:

- Bild 1 Kloss Alfred, Geschichte des Magnetismus, VDE-Verlag Berlin, 1994, S.173
- Bild 2 Bruchmann K., Trägheitsarme Gleichstromscheibenläufermotoren mit elektronischer Ansteuerung, F&M 84, 1976, S.178
- Bild 3 Arnold E., Ankerwicklungen und Ankerkonstruktionen der Gleichstromdynamomaschinen, Springer Verlag München, dritte Auflage 1899, S.146
- Bild 4 wie Bild 1, S.186
- Bild 5 wie Bild 1, S.189
- Bild 6 Dominitz Hans, Geballte Kraft, Werner von Siemens Dynamomaschine leitet ein neues Zeitalter ein, Wien/Berlin 1942, S.29
- Bild 7 wie Bild 6, S.37
- Bild 8 wie Bild 1, S.221
- Bild 9 wie Bild 3, S.230
- Bild 10 wie Bild 6, S.74

- Bild 11 wie Bild 3, S.148
Bild 12 Siemens Georg, Der Weg der Elektrotechnik Bd.I, Verlag Karl Alber, Freiburg/München, 1961, S.112
Bild 13 F.v.Hefner-Alteneck, Über eine dynamoelektrische Maschine für kontinuierlichen Strom, Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ), Mai 1881, S.147
Bild 14 Gerland E., Neue Verbesserungen an Dynamomaschinen, ETZ 28.März 1890, Heft 13, S.189
Bild 15 Thompson Silvanus P., Dynamoelektrische Maschinen Bd.II, Verlag Wilhelm Knapp 1901, S.454
Bild 17 Thompson Silvanus P., Dynamoelektrische Maschinen Bd.I, Verlag Wilhelm Knapp 1901, S.262
Bild 18 wie Bild 3, S.367
Bild 19 Bobzin, Jörg; Neue eisenfreie Luftspulenmaschinen mit größter Dynamik und höchsten Wirkungsgraden, 20 Seiten (unveröffentlicht), S.3
Bild 20 wie Bild 19, S.3

Autor des Beitrages:

Dipl.-Ing. Jörg Bobzin ist freiberuflicher Ingenieur und arbeitet an der Erforschung, Entwicklung und Verwertung neuartiger hocheffizienter elektrischer Maschinen und Wege der ganzheitlich angewandten Forschung und Technik.

Anschrift: Dipl. Ing. Jörg Bobzin
Projensdorferstr. 8

D-24106 Kiel

Internet: www.sternen-motoren.de/kontakt.htm
