

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

**Die Wendepolstreuung und ihre Berechnung auf Grund
experimenteller Untersuchung**

Schimrigk, F.

Berlin, 1909

1. Meßverfahren und Versuchsanordnung

[urn:nbn:de:bsz:31-274856](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274856)

$$\sigma = 1 + \frac{\sum \lambda_{sx} AW_{wx}}{\sum \lambda_{ax} (AW_w - AW_{gx})} \dots \dots \dots (1)$$

Aus dieser Gleichung ist ohne weiteres ersichtlich, daß der Streukoeffizient in hohem Maße von dem Verhältnis der Amperewindungen $\frac{AW_w}{AW_a}$ abhängig ist und sich dem Werte unendlich nähert,

wenn $\frac{AW_w}{AW_a}$ der Einheit nahe kommt. In diesem Falle ist der aus dem Wendepol in den Anker tretende Kraftfluß Null, da zwischen Anker und Wendepol die Potentialdifferenz 0 herrscht. Der Streufluß bleibt jedoch $= \Phi_s = \sum \lambda_{sx} AW_{wx}$ bestehen, ebenso bildet sich der Ankerquerfluß Φ_q gemäß seiner Leitfähigkeit aus und schließt sich durch die Luft und die Hauptpole. Es ist

$$\Phi_q = \sum \lambda_{qx} \cdot AW_{gx}.$$

Die Kraftflüsse Φ_s und Φ_q sind von der Größe der Potentialdifferenz zwischen Wendepol und Anker nahezu unabhängig¹⁾. Lediglich die Leitfähigkeit ihres Weges wird in geringem Maße von derselben beeinflusst.

Wie aus obigen Erörterungen hervorgeht, ist der Streukoeffizient des Wendepolkreises nicht als eine allein vom magnetischen Aufbau der Maschine abhängige Konstante zu betrachten, wie es für die Hauptpole annähernd zutrifft. Er ist vielmehr ein Wert, der beträchtlichen Schwankungen unterworfen ist.

Seine Größe und Abhängigkeit wollen wir im Nachstehenden experimentell und rechnerisch zu bestimmen suchen.

Experimenteller Teil.

1. Meßverfahren und Versuchsanordnung.

Die Streuung einer Maschine bestimmt man gewöhnlich derart, daß man sekundäre Spulen um die zu vergleichenden Teile des magnetischen Kreises wickelt, und die bei Änderung der Felderregung in diesen Spulen auftretenden Induktionen vergleicht.

In nahezu jeder Abhandlung, die sich mit Streuungsmessungen befaßt, wird auf die Bedenken hingewiesen, welche der Benutzung

¹⁾ S. Defris, Zeitschr. f. Elektrot. 1905, S. 337.

dieses Verfahrens für Messungen an Dynamomaschinen usw. entgegenstehen¹⁾).

Um seine Verwerfung für die vorliegenden Untersuchungen zu begründen, sei auf die Erwägungen hingewiesen, die sie veranlaßten. Die Selbstinduktion der Erregerspulen und die magnetische Trägheit so großer Eisenmassen, wie sie eine Dynamomaschine aufweist, ist so beträchtlich, daß die Zeit, welche für eine Änderung des magnetischen Zustandes gebraucht wird, nicht als klein gegen die Schwingungsdauer des ballistischen Galvanometers anzusehen ist.

Der Ausschlag desselben ist daher nicht unabhängig von dem Verlauf der Kraftflußänderung nach der Zeit. Außerdem hat der remanente Magnetismus einen störenden Einfluß auf die Messungen.

Da eine Meßspule um den Schenkel, die andere im Luftspalt oder im Anker angebracht ist, so umschließen die Spulen Materialien von gänzlich verschiedenem magnetischen Verhalten.

Solange beide Spulen, als von einem gemeinsamen Kraftfluß durchsetzt angesehen werden können, wird durch die Verschiedenheit des zeitlichen Verlaufs des in den Prüfspulen induzierten Stromintegrals die Messung wenig beeinflußt. Bei Wendepolen trifft diese Voraussetzung jedoch nicht zu; denn der nur mit einer Spule verkettete Streufluß ist häufig ein Mehrfaches des beiden Spulen gemeinsamen Induktionsflusses. Dieser wiederum ist ebenso von der Ankererregung als von der des Wendepoles abhängig. Es werden daher nicht nur Änderungen der Induktion in beiden Spulen einen verschiedenen Verlauf nehmen, sondern es wird auch bei Belastungsänderungen der magnetische Zustand der von den beiden Meßspulen umgebenen Materialien sich nach verschiedenen Gesetzen verändern.

Infolgedessen geben derartige Messungen weder nach Größe noch Abhängigkeit von der Belastung einwandfreie Ergebnisse. Durch eine Anzahl von Vorversuchen, bei welchen die Induktionen sowohl durch kleine Änderungen als durch Kommutation der Erregung verursacht wurden, wurde Vorstehendes bestätigt. Die Messungen ergaben Resultate, welche bei beiden Methoden gegeneinander und gegen die nachstehend mitgeteilten Werte erheblich abwichen.

Als Erfordernis für eine zuverlässige Messung der Wendepolstreuung wurde daher der Verzicht auf eine Änderung des Kraftflusses zu seiner Bestimmung angesehen.

¹⁾ W. Wedding, ETZ 1892, S. 67; A. Rotth, ETZ 1902, S. 654; Kohlrausch, Leitf. d. praktischen Physik, Leipzig 1907; Ewing, Magnetische Induktion, Berlin 1892; Du Bois, Magnetische Kreise, Berlin 1894.

Um dieses zu ermöglichen, brachte Verfasser das nachstehend beschriebene Meßverfahren in Anwendung:

Eine den Pol umschließende, bewegliche Meßspule wurde radial vom Joch nach dem Anker geführt.

Bei dieser Bewegung schneidet die Spule den gesamten, aus dem Wendepol austretenden Streufluß. Zieht man dieselbe oder eine andere Meßspule von passender Dimension axial zwischen Wendepol und Anker heraus, so schneidet sie den in den Anker eintretenden Nutzkraftfluß. Genau trifft dies jedoch nur dann zu, wenn die Spulenweite exakt mit dem Abstand der Nullzonen übereinstimmt, welche das Wendefeld scharf gegen das Ankerfeld abgrenzen.

Für eine einzelne Streuungsmessung würde es genügen, die Lage der Nullzonen festzustellen und die Meßspule demgemäß zu bemessen.

Da jedoch bei Änderung der magnetischen Verhältnisse sich auch die Ausbreitung des Wendekraftflusses ändert, so wurden die Messungen in der Weise ausgeführt, daß der in den Anker eintretende Kraftfluß durch Aufnahme der Feldkurve bestimmt wurde.

Die zur Messung der Wendepolstreuung angewandte Versuchsanordnung stellt sich somit, wie folgt, dar:

Der Anker der Maschine wurde festgebremst und die Wendepole nach Bedarf erregt. Da die Dimension der Prüfspule der Ausbreitung des Wendefeldes einigermaßen angepaßt werden mußte, so wurde es erforderlich, die Erregerspule des untersuchten Wendepoles auf die halbe Windungszahl abzuwickeln. Dieser wurde demgemäß mit der doppelten Stromstärke erregt.

Um eine glatte und schnelle radiale Bewegung der Meßspule zu ermöglichen, wurde der Pol mit Führungsschienen aus Rundmessing versehen und die Spule auf einen Rahmen aus Kupferblech gewickelt. Seine Dimensionen sind aus Fig. 1 ersichtlich, ebenso die auf den Rahmen gewickelte Spule, welche aus 10 Windungen sehr dünnen Kupferdrahtes bestand.

Zur Aufnahme der Feldkurve¹⁾ diente eine 25 Windungen enthaltende Prüfspule von nachstehenden Dimensionen (Fig. 2).

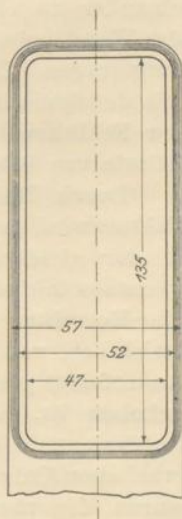


Fig. 1. Große Prüfspule zur Messung des Streuflusses.

¹⁾ E. Arnold, Gleichstrommaschine, 2. Aufl., Bd. I., S. 769.

Auf dem Umfang des Ankers war eine Millimereinteilung angebracht, auf welcher eine verschiebbare Führung angeordnet war. An dieser wurde die Spule in Abständen von 1 bis 2 mm herausgezogen und die Induktionen gemessen.



Fig. 2. Kleine Prüfspule zur Aufnahme der Feldkurven.

Die Messungen wurden ausgeführt mit einem ballistischen Galvanometer der Firma Hartmann & Braun von 15 Sekunden Schwingungsdauer.

Der Widerstand des Instrumentes beträgt 500Ω . Gewöhnlich wurde mit einem Vorschaltwiderstand von 2000Ω gearbeitet. Nur bei einigen wenigen Messungen reichte dieser nicht aus und wurde auf 5000Ω erhöht.

Infolge der ungleichen Windungszahl der beiden Spulen konnte mit beiden bei gleichem Widerstand des Galvanometerkreises und unter gleich günstigen Schwingungsweiten und Dämpfungsverhältnissen gemessen werden.

Mit Hilfe einer im Instrument vorhandenen Dämpferwicklung von 5Ω , die nach jeder Ablesung kurz geschlossen wurde, wurde eine schnelle Nulleinstellung erreicht. Um die Prüfspulen gegeneinander zu eichen, wurde bei unerregtem Anker die Feldkurve des Wendepols aufgenommen und in Funktion des Ankerumfangs aufgetragen. Die Messungen dieser Kraftfelder, einmal durch Schnitt mit der Spule in Skalenausschlägen, einmal durch Ausplanimetrieren der Feldkurve in cm^2 gefunden, stehen in einem konstanten Verhältnis von 8,4.

Durch Multiplikation des Inhalts der Feldkurve mit diesem Faktor wird der Kraftfluß daher in Skalenteilen ausgedrückt, also in der gleichen Einheit wie der Streufluß. Der Streukoeffizient könnte somit ohne weiteres aus ihnen berechnet werden, wenn nicht eine Korrektur erforderlich wäre. Es wird nämlich, wie aus Fig. 3 ersichtlich, von der großen Spule außer dem Streufluß ein Teil des Ankerfeldes geschnitten. Dieser, der in der Figur schraffiert hervorgehoben ist, addiert sich zu dem eigentlichen Streufluß. Sein Äquivalent in Skalenteilen ist daher von dem für den Streufluß erhaltenen Galvanometerausschlag abzuziehen. Bei dieser Korrektur wurde die räumliche Ausdehnung der Windungen der Meßspule und die Abnahme der schneidenden Windungszahl derselben, wie in Fig. 3 angedeutet, berücksichtigt.

Die auf die geschilderte Weise aufgenommenen Feldkurven können nicht den Anspruch erheben, ein in allen Einzelheiten exaktes Bild der Kraftflußverteilung unter dem Wendepol zu geben.

Dort ist der Feldverlauf so unstetig, daß hierfür eine noch schmalere Spule erforderlich wäre. Für die vorliegenden Untersuchungen liegt ein Bedürfnis nach einer so genauen Kenntnis des Feldverlaufes unter dem Pol nicht vor, sondern nur nach dessen Kenntnis zwischen den Polen. Hier ist aber der Verlauf ziemlich stetig, seine Messung daher mit den angewandten Mitteln genügend genau.

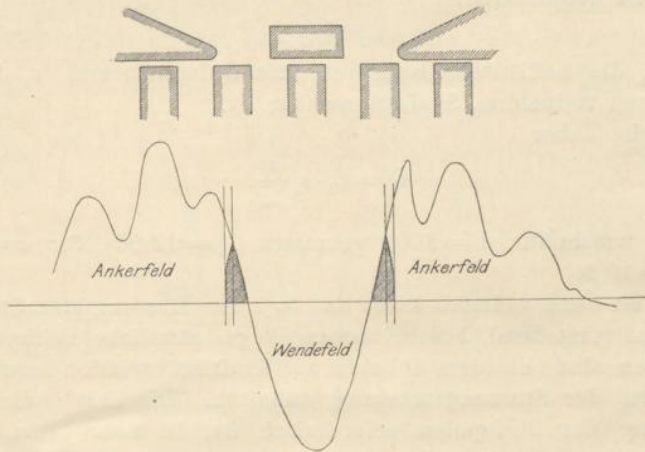


Fig. 3. Wendefeld und Ankerfeld bei unerregten Hauptpolen. Die schraffierten Flächen geben den bei der Streuflußmessung gemachten Fehler an und dienen zu seiner Korrektur.

Zur Bestimmung des Streukoeffizienten ist eine Eichung des Galvanometers nicht notwendig. Sie wurde jedoch mit Hilfe einer eisenfreien Induktionsspule von bekannter Dimension vorgenommen, da die Kenntnis der absoluten Werte der Kraftflüsse für die Kontrolle der Berechnung und der Sättigungen von Interesse ist¹⁾.

Bekanntlich ist der geschnittene Kraftfluß lediglich dem Galvanometerausschlag proportional, unabhängig von der Schnittgeschwindigkeit, wenn diese nur genügend groß ist.

Bezeichnen wir die Windungszahl der Meßspule mit Z , den Widerstand des Galvanometerkreises mit W , die induzierte Elektrizitätsmenge mit Q , so besteht die Beziehung

$$Q = \int i \cdot dt = \frac{1}{W} \int e \cdot dt.$$

Da

$$e = -Z \frac{d\Phi}{dt},$$

¹⁾ Leitfaden für elektrot. Laboratorium I, Karlsruhe.

so ist

$$Q = \int i \cdot dt = -\frac{Z}{W} \int d\Phi.$$

Wird der gesamte Kraftfluß Φ geschnitten, so ist

$$Q = \frac{Z}{W} \Phi.$$

Ferner ist bekanntlich:

$$Q = C_b \cdot e_b,$$

wenn C_b die ballistische Konstante des Galvanometers, e_b der auf den Bogen reduzierte Skalenausschlag ist.

Es ist daher

$$\Phi = C_b \cdot e_b \cdot \frac{w}{z}.$$

Es wurde für $w = 2500$ gemessen $C_b = 13,05$; für $w = 5500$ ist $C_b = 10,2$.

Es ist ohne weiteres klar, daß bei der Messung der Streuung auf dem vorstehend beschriebenen Wege sämtliche Fehlerquellen vermieden sind, die dem üblichen auf Kraftflußvariation beruhenden Verfahren der Streuungsmessung anhaften. Die Zeit, welche zur Bewegung der Meßspulen erforderlich ist, ist sehr klein. Neue Fehlerquellen können bei genügender Sorgfalt in der Ausführung der Messungen kaum auftreten.

Von der Aufzeichnung der Einzelwerte der Messungen in Tabellenform wurde Abstand genommen in der Überlegung, daß derartige Tabellen bei sehr beträchtlicher Rauminanspruchnahme geringes Interesse bieten. Statt dessen wurden die wesentlichen Meßwerte graphisch aufgetragen, wodurch die Ableitung der Endresultate in anschaulicher Weise vor Augen geführt wird.

Jeder Punkt der aufgetragenen Kurven mit Ausnahme der Feldkurven ist der Mittelwert aus mehreren Messungen. Sämtliche notwendigen Starkstrommessungen wurden mit Millivolt- und Ampere-meter ausgeführt unter Berücksichtigung der Korrekturen der betreffenden Instrumente.

Eine rechnungsmäßige Darlegung der Genauigkeit erscheint in diesem Falle ziemlich wertlos, weil bei einer solchen nur die Meß- und Beobachtungsfehler exakte Berücksichtigung finden. Diese sind jedoch verschwindend klein gegen die durch das Aufzeichnen und Auswerten der Feldkurven entstehenden.

Der einzige ins Gewicht fallende Fehler entsteht durch die Ausführung der Messungen unter magnetischen Verhältnissen, welche von den bei normalem Betriebe obwaltenden abweichen. Die Streuung wurde nämlich bei unerregten Hauptpolen gemessen. Der da-

durch entstehende Fehler wurde experimentell ermittelt und kommt späterhin zur Darstellung. Er liegt seiner Größenordnung nach unter der Fehlergrenze, welche man für derartige Messungen zulassen muß.

2. Experimentelle Untersuchung der Wendepole.

Als Versuchsmaschine diente eine Wendepolmaschine der Firma Ernst Heinrich Geist, Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft in Köln¹⁾.

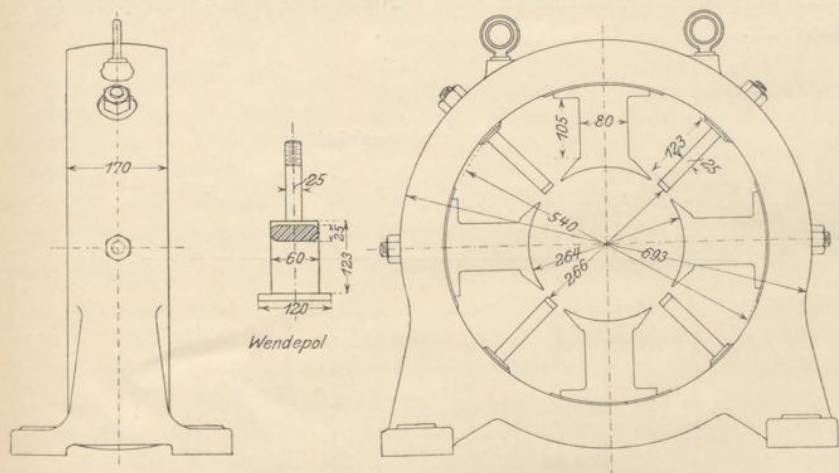


Fig. 4.

Ihre normale Leistung beträgt 12,5 PS bei 950 Touren. Die für das magnetische Verhalten der Maschine wesentlichen Dimensionen sind aus Fig. 4 zu entnehmen. Die übrigen, für die Verfolgung der Untersuchungen notwendigen Daten sind folgende:

Gesamte Länge der Hauptpole und des Ankers	= 120 mm
Wirksame Leiterzahl des Ankers 594
Windungszahl eines Hauptpoles 1430
Windungszahl eines Wendepoles 224

Die Wendepolspulen sind in vier Gruppen parallel geschaltet, ihre normale Erregerstromstärke ist daher $\frac{1}{4}$ des Ankerstromes. Die auf einen Wendepol entfallende Amperewindungszahl des Ankers ist

$$AW_a = \frac{J_a}{2a} \cdot \frac{\text{wirksame Leiterzahl}}{4p} = \frac{\tau}{2} AS.$$

¹⁾ An dieser Stelle spreche ich der Firma E. H. Geist für das mir bei Lieferung der Versuchsmaschine bewiesene Entgegenkommen meinen besten Dank aus.