

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Eisenverluste in elliptischen Drehfeldern

Radt, Martin

Berlin, 1911

10. Die Versuchsergebnisse und ihre Auswertung

[urn:nbn:de:bsz:31-274924](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274924)

ist zunächst sehr gering, bei $J=6$ etwa 5⁰/₀, und steigt dann geradlinig an. Die Periodenzahl hat auf die Erhöhung von r keinen meßbaren Einfluß. Da bei den nachfolgenden Untersuchungen der Strom maximal 8 Amp. betrug, war die Erhöhung von r im allgemeinen gering.

Um den Einfluß der Temperatur auf die Eisenverluste möglichst auszuschalten, wurde jede Versuchsreihe so schnell es ging ausgeführt. Die Temperaturerhöhung der Maschine war im allgemeinen am Ende einer Versuchsreihe 1 bis 2⁰ C über der Anfangstemperatur und war bei großen Tourenzahlen gleich 0. Nach jeder Versuchsreihe wurde der Motor durch die Antriebsmaschine so lange auf etwa 1000 Touren gehalten, bis die Anfangstemperatur wieder erreicht war. Die Temperaturerhöhung wurde bestimmt durch ein Thermometer auf dem Statorrücken und aus der Widerstandserhöhung der Statorwicklung und der Prüfspule des Rotors. In den ganzen Wechselfeldversuchen betrug der maximale Temperaturunterschied 5⁰ C, bei den Versuchen im elliptischen Feld nur 2⁰ C, so daß eine Korrektur nicht vorzunehmen war.

Um ferner Feldverzerrungen zu vermeiden, wurde bei niedrigen Induktionen gearbeitet, maximal im Stator 7500, im Rotor 14200. Der Formfaktor der EMK-Kurve in der Rotorprüfspule sank von der kleinsten bis zur größten Sättigung von 1,11 auf 1,095.

Von Wichtigkeit ist auch eine am ganzen Umfange konstante Größe des Luftspaltes. Um dies zu prüfen, wurde der Stator mit Dreiphasenstrom gespeist, und der Rotor in dem Felde langsam von Hand gedreht. In der Prüfspule muß dann überall die gleiche EMK induziert werden (abgesehen von den örtlichen Schwankungen durch die Zähne und Nuten), und die Lagerschilde wurden so lange verschoben, bis dies erreicht war. Diese Untersuchungsmethode¹⁾ ist sehr genau. Ist der Luftspalt auf einer Seite z. B. um 10⁰/₀, also hier um $\frac{1}{20}$ mm zu groß, so mißt man an dieser Stelle eine etwa 10⁰/₀ kleinere Spannung, im vorliegenden Falle z. B. 1,5 Volt weniger.

10. Die Versuchsergebnisse und ihre Auswertung.

Um zunächst einen Überblick über die Güte des Eisens und Vergleichswerte für die späteren Untersuchungen zu bekommen, wurden die Verluste im Kreisfeld in bekannter Weise²⁾ gemessen und getrennt. Es wurden zuerst bei verschiedenen Induk-

¹⁾ Sie rührt von Dr.-Ing. Fraenckel her.

²⁾ s. E. Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. V, S. 313 bis 323.

tionen und Periodenzahlen die Gesamtverluste der stillstehenden Maschine im Drehfeld (Fig. 23) und im Wechselfeld (Fig. 24) ermittelt. Dann wurden durch Aufnahme des Hysteresissprunges¹⁾ bei verschiedenen Periodenzahlen und Induktionen die Rotorhysteresis- (Fig. 25) und Wirbelstromverluste (Fig. 26) und die zusätzlichen Verluste an der Rotoroberfläche (Fig. 27) bestimmt. Die Trennung der Verluste gestaltet sich hier besonders leicht, weil durch die benutzte Meßmethode (Federkuppung) die Reibungsverluste von selbst eliminiert werden.

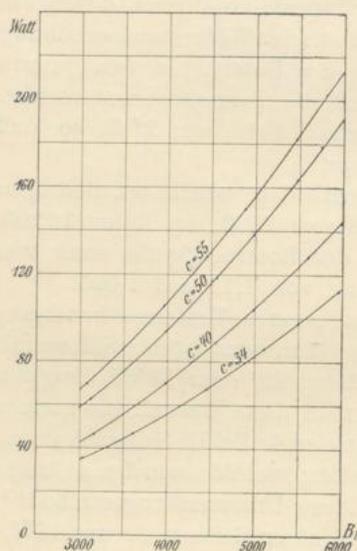


Fig. 23. Gesamtverluste im Kreis-drehfelde bei Stillstand.

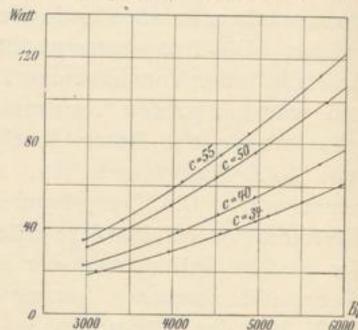


Fig. 24. Gesamtverluste im Wechselfeld bei Stillstand.

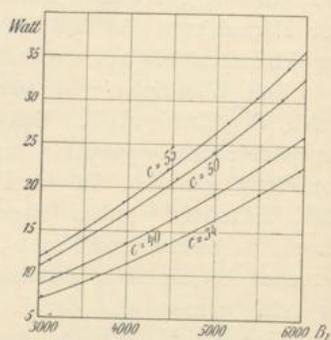


Fig. 25. Rotorhysteresisverluste im Kreis-drehfelde.

Die Messungen im Wechselfelde und im elliptischen Drehfelde wurden so ausgeführt, daß von Stillstand anfangend die Verluste bis etwa 20% Übersynchronismus gemessen wurden. Höhere Tourenzahlen konnten nicht erreicht werden, da die Feder bei etwa 1250 Umdrehungen in Resonanzschwingungen kam, und auch die bei so hoher Geschwindigkeit auftretenden mechanischen Spannungen

¹⁾ Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens findet sich außer in E. Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. V, a. a. O. in ETZ 1908, S. 1704, Bragstad und Fraenckel, Die zusätzlichen Verluste in Induktionsmotoren.

für die Feder gefährlich waren. Eine stärkere Feder konnte aber nicht verwendet werden, da bei den hier vorliegenden kleinen Verlusten ihre Verdrehung zu gering gewesen wäre.

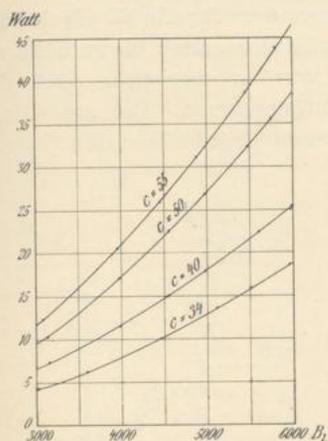


Fig. 26. Rotorwirbelstromverluste im Kreisfeld.

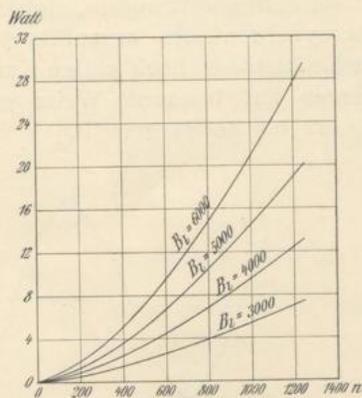


Fig. 27. Zusätzliche Verluste an der Rotoroberfläche.

Fig. 28 zeigt das Schaltungsschema für die Messung der dem Stator elektrisch zugeführten Leistung beim Wechselfeld. Zwei Statorphasen sind in Serie geschaltet, in der dritten liegt ein Voltmeter zur Messung der auf Seite 28 erwähnten EMKe. Die Form der Spannungskurve zeigt das Oszillogramm, Fig. 29, der Formfaktor liegt bei verschiedenen Sättigungen zwischen 1,095 und 1,11. Es wurde hierbei der Dreiphasengenerator verwendet, der auch bei den Drehfeldversuchen benutzt worden war.

Zur Erzeugung des elliptischen Drehfeldes wurde der Stator nach Fig. 30 geschaltet. Als Spannungsquelle dienten zwei genau gleiche Einphasengeneratoren, die auf derselben Welle saßen und deren Feldsysteme 90° gegeneinander versetzt waren. Die Spannungskurve der Generatoren zeigt Fig. 31. Die Kurve ist etwas flacher als die erste Spannungskurve. — Die Versuche wurden bei den Periodenzahlen 34, 40, 50 und 55 angestellt. Im Wechselfeld wurden bei jeder der Periodenzahlen vier verschiedene Induktionen eingestellt. Im elliptischen Felde wurde die Spannung V_1

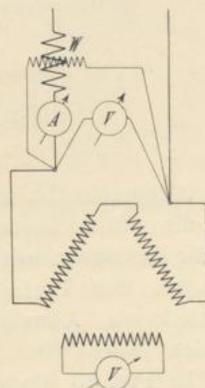


Fig. 28. Schaltungsschema zur Erzeugung eines Wechselfeldes.

(Fig. 30) konstant gelassen und V_2 so geändert, daß das Achsenverhältnis der Ellipsen ungefähr 0,25, 0,5, 0,75, 1 und 1,25 betrug.

Die Meßresultate sind im Anhang I aufgeführt. Nach Beendigung der Versuche stellte es sich besonders für die Wechselfelder als wünschenswert heraus, einige Versuchsreihen auch bis zu höherem Übersynchronismus auszuführen. Es wurden deswegen nach der Auslaufmethode noch einige Kurven aufgenommen. Die aus diesen Kurven auf bekannte Weise gewonnenen Ergebnisse sind in den Fig. 32 bis 35 dargestellt.

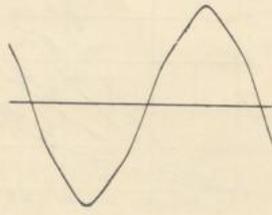


Fig. 29.

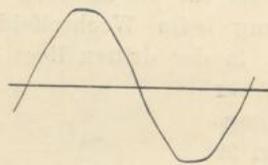


Fig. 31.

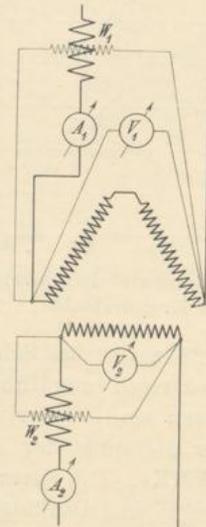


Fig. 30. Schaltungsschema zur Erzeugung eines elliptischen Drehfeldes.

Allgemein ist zunächst zu sagen, daß die gemessenen Werte für die stillstehende Maschine im Drehfeld und Wechselfeld ungefähr das Steinmetzsche Gesetz befolgen. Nur im Drehfeld finden sich bei den Periodenzahlen 50 und 55, besonders bei höheren Induktionen, Abweichungen, die aber im Wechselfeld nicht vorhanden sind.

In Fig. 36 sind für $c=40$ die Hysterisis- und Wirbelstromverluste im Dreh- und Wechselfeld zum Vergleich miteinander aufgezeichnet. Im Mittel sind die Wirbelstromverluste im Wechselfeld 0,5 von denen im Drehfeld und die Hysterisisverluste 0,56 der Verluste im Drehfeld, so daß eine gute Bestätigung der theoretisch abgeleiteten Werte erreicht ist.

Um die Änderung der Verluste bei stillstehendem Rotor im elliptischen Drehfeld zu erkennen, sind in der folgenden Tabelle

die betreffenden Werte den Versuchsreihen entnommen und zusammengestellt. Zum Vergleich ist es aber notwendig, alle Größen

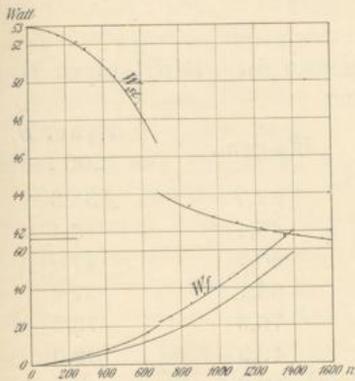


Fig. 32.

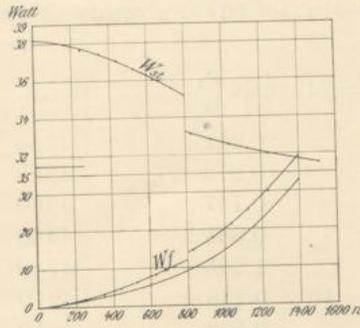


Fig. 33.

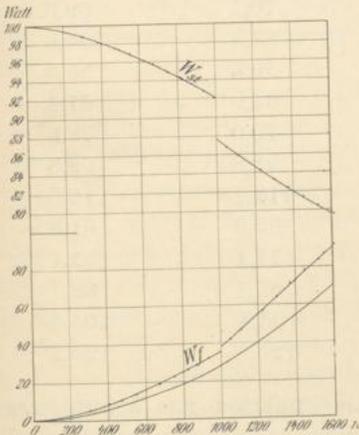


Fig. 34.

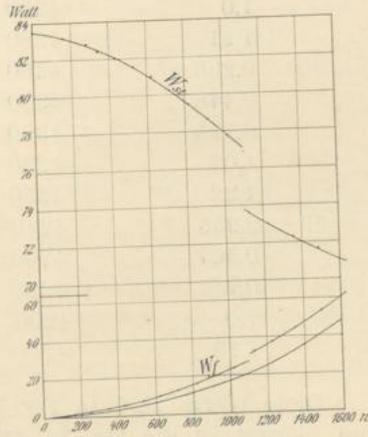


Fig. 35.

Fig. 32—35. Verluste in Wechselfeldern.

W_{st} dem Stator elektrisch zugeführte Leistung.

W_f dem Rotor mechanisch zugeführte Leistung.

Die untersten Kurven jeder Figur sind die aus W_{st} und W_f resultierenden Kurven der Gesamtänderung der Verluste bei Drehung des Rotors.

Fig. 32.	Periodenzahl $c = 34$.	Luftinduktion $B_l = 5500$
" 33.	" $c = 40$.	" $B_l = 4050$
" 34.	" $c = 50$.	" $B_l = 5770$
" 35.	" $c = 55$.	" $B_l = 4850$.

auf gleiche Induktion in der großen Achse zu reduzieren. Diese Reduktion erfolgte hier auf den Wert $B_l = 4200$, von dem die ge-

messenen Induktionen wenig verschieden sind, und zwar mit $B_1^{1,8}$ als Reduktionsfaktor. Der Fehler, der durch diese Reduktion entsteht, ist unbedeutend.

Verluste für ruhende Eisenmassen in elliptischen Drehfeldern.

$c = 34$	$k = \frac{B_1}{B_2}$	B_i	W_{St} gem.	W_{St} auf B_1 = 4200 reduz.
	0,242	4350	37,7	35,3
	0,508	4350	43,4	40,4
	0,747	4380	50,7	47,0
	0,984	4430	63,1	57,2
	1,265	4280	76,3	73,5
$c = 40$	0,238	4210	42,2	42,0
	0,508	4210	48,6	48,4
	0,77	4240	58,6	57,6
	1,0	4230	70,5	69,5
	1,21	4280	87,4	84,5
$c = 50$	0,258	4260	56,6	55,3
	0,478	4330	64,9	61,4
	0,725	4330	76,9	72,8
	1,02	4230	93,8	92,8
	1,22	4250	112,1	110,5
$c = 55$	0,253	4240	62,9	61,8
	0,507	4200	71,1	71,1
	0,734	4260	85,1	82,7
	1,0	4200	103,4	103,4
	1,18	4300	125,8	120,2

Diese Werte sind in Fig. 37 als Funktion von k aufgetragen, und hiermit ist die Fig. 38 gezeichnet, in der für konstante Verhältnisse k die Verluste als Funktion der Periodenzahl dargestellt sind. Um die Hysterisis- und Wirbelstromverluste zu trennen, ist für jede der letzten Kurven W_{St}/c als Funktion von c in Fig. 39 aufgetragen. Die Punkte liegen auf geraden Linien, die auf der Ordinatenachse die Hysterisisverluste für eine Periode bei dem betreffenden k abschneiden. Die Neigung der geraden Linie ist dagegen ein Maß für die Wirbelstromverluste.

In Fig. 40 sind noch einmal die theoretisch abgeleiteten Kurven für das Verhältnis der Verluste in elliptischen Drehfeldern zu denen in reinen Drehfeldern aufgezeichnet und die an Hand der Fig. 39 ermittelten Punkte in diese Kurven eingetragen. Man erkennt, daß die Übereinstimmung gut ist.

Auffallend ist in Fig. 37, daß die Verluste für $k=1$ kleiner sind (im Mittel 10%) als die im Dreiphasendrehfeld gemessenen (siehe Fig. 23). Der Grund für diese Erscheinung ist der, daß das von einem Zweiphasensystem erzeugte Drehfeld viel unvollkommener ist als das Drehfeld einer Dreiphasenwicklung. Auch wirkte hier die ungleiche Verteilung der beiden Wicklungen ungünstig mit, so daß die Verluste sich den Verlusten in Wechselfeldern zu nähern scheinen, also kleiner ausfallen. In Übereinstimmung damit steht, daß der Hysteresissprung in den Versuchsreihen für $k=1$ durchweg kleiner ist, als im dreiphasigen Drehfeld. Diese Beobachtung dürfte deswegen einiges Interesse beanspruchen, als sie lehrt, daß in Zweiphasenmotoren die Trennung der Verluste durch Aufnahme des Hysteresissprunges nicht ganz einwandfrei ist.

In den Fig. 41 bis 44 sind schließlich Beispiele für die Verluste in elliptischen Drehfeldern für die dort näher bezeichneten Verhältnisse gegeben.

Eine Trennung der Verluste im Wechselfeld bei rotierendem Anker ist ebenso wie im elliptischen Drehfelde nicht mehr möglich. Man muß daher, um die genügende Richtigkeit der früher theoretisch abgeleiteten Formeln darzulegen, zu einer indirekten Beweisführung greifen. Sie ist im folgenden so geführt, daß die Verluste, die bei Drehung des Rotors zu den Verlusten im Stillstand hinzukommen (oder ab-

zuziehen sind), gemessen und berechnet sind. In allen Fällen nimmt die dem Stator elektrisch zugeführte Leistung ab. Die dem Rotor zugeführte mechanische Leistung ist teils positiv, teils negativ. Es wurde nun immer die dem Stator elektrisch und die dem Rotor mechanisch zugeführte Leistung als Funktion der Tourenzahl aufgetragen. Die Ordinaten der Kurve der dem Rotor zugeführten Leistung wurden dann je um das Stück, das der Abnahme der Statorverluste bei Lauf gegenüber Stillstand entsprach, verkleinert. Die so entstandene resultierende Kurve stellt die gesamte Änderung der Verluste bei Lauf

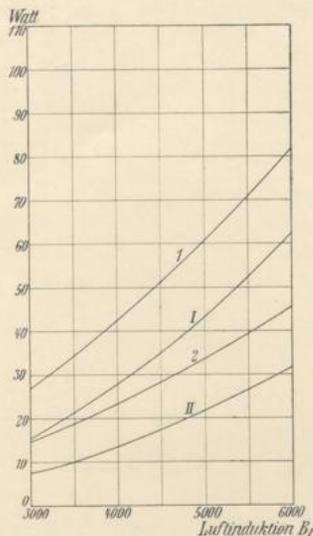


Fig. 36. Vergleich der Hysteresis- und Wirbelstromverluste im Wechselfeld und Drehfeld.

- 1 Gesamte Hysteresisverluste im Drehfelde.
- 2 Gesamte Hysteresisverluste im Wechselfelde.
- I Gesamte Wirbelstromverluste im Drehfelde.
- II Gesamte Wirbelstromverluste im Wechselfelde.

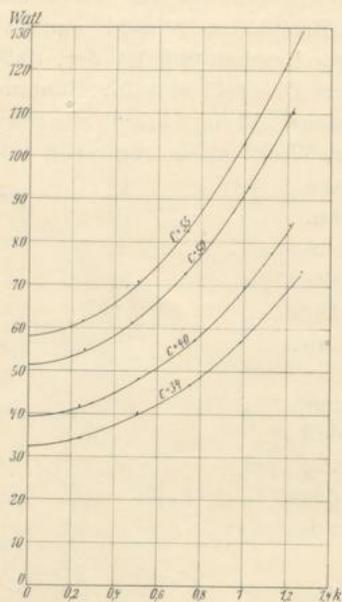


Fig. 37.

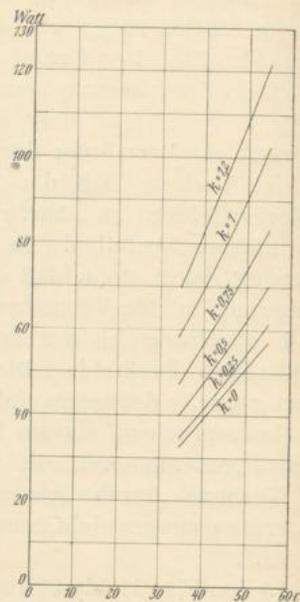


Fig. 38.

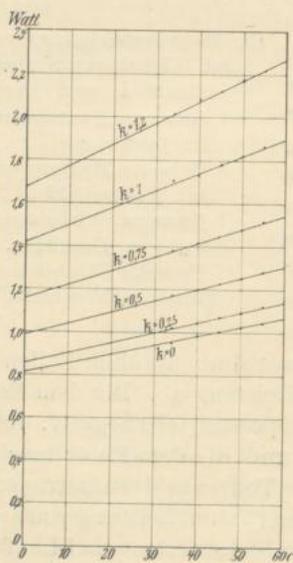


Fig. 39.

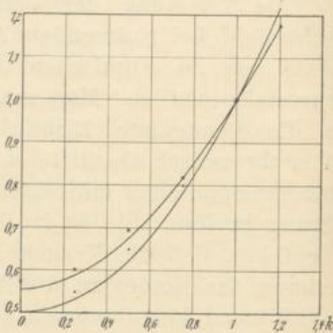


Fig. 40.

Fig. 37—40. Trennung der Verluste
in elliptischen Drehfeldern für die
ruhende Maschine.

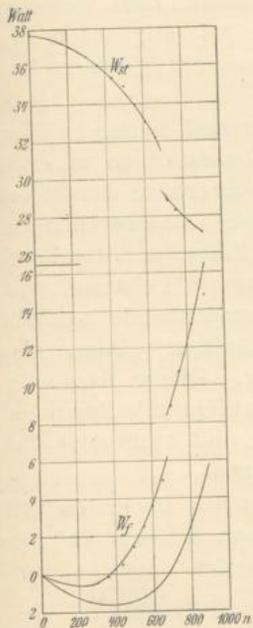


Fig. 41.

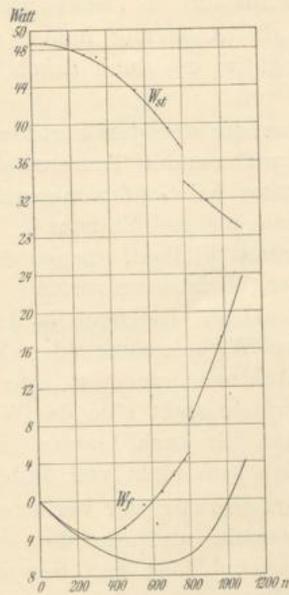


Fig. 42.

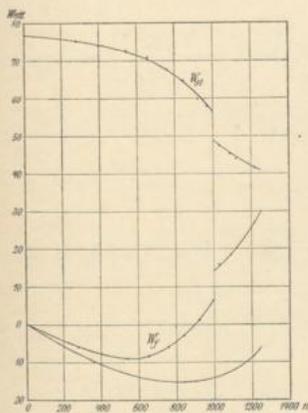


Fig. 43.

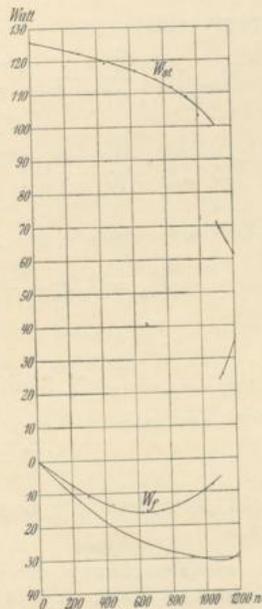


Fig. 44.

Fig. 41—44. Verluste in elliptischen Drehfeldern. Bezeichnungen vgl. Fig. 32—35.

Luftinduktion in der großen Achse
 $B_t = 4350$
 $B_t = 4210$
 $B_t = 4330$
 $B_t = 4300$

$k = 0,242$.

$k = 0,508$.

$k = 0,725$.

$k = 1,18$.

Achsenverhältnis

$c = 34$.

$c = 40$.

$c = 50$.

$c = 55$.

Periodenzahl

$c = 34$.

$c = 40$.

$c = 50$.

$c = 55$.

Fig. 41.

Fig. 42.

Fig. 43.

Fig. 44.

gegenüber Stillstand als Funktion der Tourenzahl dar. Bei Wechsel-
feldern ist die Änderung immer positiv, bei elliptischen Feldern
zunächst negativ, um dann durch Null hindurchzugehen und positiv
zu werden.

Die Abnahme der dem Stator zugeführten Leistung im Wechsel-
felde mit zunehmender Tourenzahl des Rotors ist so zu erklären,
daß vom Stator bei Lauf weniger Hysterisisverluste des Rotors ge-
deckt werden als bei Stillstand. Denn die Statorverluste selbst
müssen konstant bleiben, ebenso die vom Stator auf den Rotor zur
Deckung der Wirbelstromverluste übertragene Leistung, wie wir
auf Seite 16 sahen. Die noch in Betracht zu ziehende mechanische
Leistung der Wirbelströme (der Motor läuft mit ihnen als ein-
phasiger Induktionsmotor) ist sehr gering. Dieser Abnahme der
Hysterisisverluste steht eine der Welle zuzuführende Zunahme ent-
gegen, so daß wir auch hieraus erkennen, daß insgesamt die Hy-
sterisisverluste sich nicht viel ändern können.

Zur Berechnung der Verluste wurden die im ersten Teil ent-
wickelten Formeln und die dort gegebenen Hilfskurven benutzt.
Die Formeln sind hier zur besseren Übersicht noch einmal zu-
sammengestellt.

Es ist allgemein:

der Wirbelstromverlust

$$W_w = \frac{1}{2} \sigma_w \left(A \frac{c}{100} \frac{B_1}{1000} \right)^2 \left[\left(k - \frac{c_r}{c} \right)^2 + \left(1 - k \frac{c_r}{c} \right)^2 \right] V$$

$$= k_{wr} \sigma_w \left(A \frac{c}{100} \frac{B_1}{1000} \right)^2 V \text{ nach Gl. 10, S. 13,}$$

der Hysterisisverlust

im Stator $W_h = k_h \sigma_h \frac{c}{100} \left(\frac{B_1}{1000} \right)^{1,6} V$ nach Gl. 14, S. 24,

im Rotor $W_h = k_{hr} \sigma_h \frac{c}{100} \left(\frac{B_1}{1000} \right)^{1,6} V$ nach Gl. 16 a, S. 25,

die zusätzlichen Verluste

$$\frac{1}{2} (k^2 + 1)$$

von den für ein Kreisdrehfeld bestimmten Verlusten.¹⁾

¹⁾ Formeln zur Berechnung der zusätzlichen Verluste im Kreisdreh-
felde finden sich in ETZ, 1908, S. 1074 von Bragstad und Fraenckel an-
gegeben und sind wiederholt in E. Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. V, Die
Induktionsmaschinen, S. 208.

Es sind die Faktoren k_{wr} in Fig. 6, S. 17, k_{hr} in Fig. 15, S. 25 als Funktion von $\frac{c_r}{c}$ und k_h in Fig. 5, S. 16 als Funktion von k aufgetragen. Bei Lauf des Motors ändern sich für den vorliegenden Fall, da hier keine zusätzlichen Verluste im Stator auftreten, nur die Verluste im Rotor. Um die Änderung der Verluste zu bestimmen, sind also auf Grund der im Kreisdrehfelde im Rotor gemessenen Verluste die jetzt bei Stillstand und bei einer gewünschten Tourenzahl auftretenden Verluste zu berechnen und ihre Differenz zu bilden.

Für das Wechselfeld sind bei Stillstand die Wirbelstromverluste $\frac{1}{2}$ von denen im Kreisdrehfelde bei Stillstand und bei Lauf

$$\frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{c_r}{c} \right)^2 \right].$$

Die Änderung der Verluste ist also

$$\frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{c_r}{c} \right)^2 \right] - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{c_r}{c} \right)^2$$

von den bei Stillstand im Kreisdrehfelde gemessenen Verlusten. Für die Hysteresisverluste sind die entsprechenden Faktoren bei Stillstand $\frac{2}{3,6}$, bei Lauf bis Synchronismus ebenfalls $\frac{2}{3,6}$, bei Übersynchronismus $\frac{2}{3,6} \frac{c_r}{c}$, die Differenzfaktoren also von Stillstand bei Synchronismus Null und dann $\frac{2}{3,6} \left(\frac{c_r}{c} - 1 \right)$. Die zusätzlichen Verluste sind $\frac{1}{2}$ von den bei der gleichen Tourenzahl im Kreisdrehfelde auftretenden, und sie werden bei der Berechnung der Verluständerung mit dem so gefundenen Betrage eingesetzt, da ja die zusätzlichen Verluste bei Stillstand Null sind.

Für die elliptischen Felder schreibt man sich für verschiedene Tourenzahlen die bei Drehung des Rotors in diesem auftretenden Verluste in einer Tabelle auf und bildet dann die Differenzen. Für die zusätzlichen Verluste gilt das eben bei den Wechselfeldern Gesagte. Für die elliptischen Felder sind aber hier die den Verlustkurven für das Kreisdrehfelde entnommenen Werte durchweg um 10% kleiner in Rechnung gesetzt entsprechend den kleineren Verlusten im Zweiphasendrehfelde gegenüber denen im Dreiphasendrehfelde (vgl. S. 43).

Für die in den Fig. 32 bis 35 und 41 bis 44 gezeichneten Versuchsreihen sind im folgenden die Rechnungen ausführlich an-

gegeben. Doch sollen hier zum leichteren Verständnis einige Berechnungsbeispiele vollständig durchgeführt werden.

Wir nehmen als erstes Beispiel aus der Tabelle S. 49: Wechselfelder, $c = 34$, $B_l = 5500$ die Zahlenreihe, die zur Tourenzahl $n = 1000$ gehört.

Für $c = 34$ und $B_l = 5500$ finden wir aus

$$\begin{array}{ll} \text{Fig. 26} & W_w = 15,8, \\ \text{Fig. 25} & W_h = 19,4. \end{array}$$

Der Kurve Fig. 27 entnehmen wir zu $B_l = 5000$ und $n = 1000$, $W_{zus} = 14,5$, also haben wir bei $B_l = 5500$

$$W_{zus} = 14,5 \left(\frac{5500}{5000} \right)^2 = 17,6.$$

Die Verluständerungen bei $n = 1000$ gegenüber Stillstand sind daher

$$\text{Wirbelstromverluste} \quad \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1000}{680} \right)^2 \cdot 15,8 = 17,1$$

$$\text{Hysteresisverluste} \quad \frac{2}{3,6} \left(\frac{1000}{680} - 1 \right) 19,4 = 5,06$$

$$\begin{array}{l} \text{Zusätzliche Verluste} \quad \frac{1}{2} \cdot 17,6 = 8,8 \\ \text{zusammen} \quad 30,96 \text{ Watt.} \end{array}$$

Gemessen wurden, wie der Fig. 32 zu entnehmen ist, 30 Watt. Da die gesamten Verluste bei Stillstand, wie ebenfalls aus Fig. 32 zu ersehen ist, 53 Watt betragen, so sind bei 1000 Umdrehungen 83 Watt gemessen und 83,96 Watt berechnet. Der Fehler beträgt demnach nur 1,1%.

Als Beispiel für die Berechnung im elliptischen Felde nehmen wir auf S. 51 aus der Tabelle $c = 40$, $B_l = 4210$, $k = 0,508$ die Reihe für $n = 1000$.

Wir finden aus den Kurven 25 und 26 wie vorher angegeben

$$W_w = 13 \quad \text{und} \quad W_h = 14,8,$$

also bei der Reduktion um 10%⁰

$$W_w = 11,7 \quad \text{und} \quad W_h = 13,3.$$

Die Verluste bei Stillstand sind, da wir in Fig. 5 für $k = 0,508$

$$k_w = 0,634$$

und

$$k_h = 0,687$$

finden,

$$\begin{array}{l} W_{w \text{ stillst}} = 11,7 \cdot 0,634 = 7,4, \\ W_{h \text{ stillst}} = 13,3 \cdot 0,687 = 9,1. \end{array}$$

Bei Lauf, für $\frac{c_r}{c} = \frac{1000}{800} = 1,25$, finden wir aus Kurve Fig. 6

$$k_{wr} = 0,333$$

und aus Kurve Fig. 15

$$k_{hr} = 0,36,$$

also

$$W_{wlauf} = 11,7 \cdot 0,333 = 3,9,$$

$$W_{hlauf} = 13,3 \cdot 0,36 = 4,8.$$

Die Differenzen gegenüber Stillstand sind daher

$$\text{Wirbelströme} \quad - 3,5,$$

$$\text{Hysterisis} \quad - 4,3.$$

Die zusätzlichen Verluste für $n = 1000$ und $B = 4000$ sind nach Fig. 27 9,5. Da $k_w = 0,634$ ist, ist bei $n = 1000$

zusätzliche Verluste $0,9 \cdot 9,5 \left(\frac{4210}{4000}\right)^2 \cdot 0,634 = 6,0$.

Die gesamte berechnete Änderung der Verluste ist also

$$6,0 - 3,5 - 4,3 = - 1,8 \text{ Watt.}$$

Gemessen wurde nach Fig. 42 $- 0,4$. Da der gesamte Verlust bei Stillstand 48,6 Watt ist, beträgt der Fehler

$$\frac{- 1,8 - (- 0,4)}{48,6 - 0,4} 100 = - 2,9\%.$$

Auf diese Weise sind die folgenden Tabellen berechnet, wobei alle Einzelwerte angegeben sind.

Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Werten der bei Drehung des Rotors zu den Verlusten bei Stillstand hinzukommenden Verluste.

I. Wechselfeld.

Fig. 32 $c = 34$, $B_t = 5500$.

Verlust bei Stillstand $W_0 = 53$ Watt.

Tourenzahl	Hinzukommende Wirbelstromverluste	Hinzukommende zusätzl. Verluste	Hinzuk. Hysterisisverluste	Ber. Änderung der Verluste	Gemesene Änderung d. Verluste	Prozentualer Gesamtfehler
n	W_w'	W_{zus}'	W_h'	W_{ber}	W_{gem}	%
200	0,68	0,79	—	1,47	2,0	- 1,0
400	2,73	2,23	—	4,96	5,5	- 0,9
600	6,15	4,09	—	10,24	10,5	- 0,4
800	10,90	6,3	1,9	19,1	19,0	0
1000	17,10	8,8	5,06	30,96	30,0	+ 1,1
1200	24,6	11,55	8,23	44,38	45,0	- 0,6
1400	33,5	14,58	11,4	59,48	59,0	- 0,5

Radt. Eisenverluste.

4

Fig. 33 $c=40$, $B_l=4050$, $W_0=38,2$.

n	W_m'	W_{zus}'	W_h'	W_{ber}	W_{gem}	%
200	0,38	0,43	—	0,81	1,0	— 0,5
400	1,50	1,21	—	2,71	3,0	— 0,7
600	3,38	2,24	—	5,62	5,5	+ 0,3
800	6,0	3,43	—	9,43	9,0	+ 0,9
1000	9,4	4,8	1,92	16,12	14,0	+ 4,1
1200	13,5	6,32	3,83	23,65	23,0	+ 1,0
1400	18,4	9,71	5,74	33,85	33,0	+ 1,2

Fig. 34 $c=50$, $B_l=5770$, $W_0=100$.

n	W_m'	W_{zus}'	W_h'	W_{ber}	W_{gem}	%
200	0,70	0,87	—	1,57	1,6	0
400	2,85	2,46	—	5,01	6,0	— 1,0
600	6,5	4,51	—	11,01	12,0	— 1,0
800	11,5	6,94	—	18,44	18,5	— 0,6
1000	17,9	9,7	—	27,6	27,0	+ 0,5
1200	25,7	12,75	3,4	41,85	40,0	+ 1,3
1400	35,0	16,1	6,8	57,9	55,0	+ 1,9
1600	45,6	19,65	10,2	75,45	70,0	+ 3,3

Fig. 35 $c=55$, $B_l=4850$, $W_0=83,5$.

n	W_m'	W_{zus}'	W_h'	W_{ber}	W_{gem}	%
200	0,5	0,61	—	1,11	1,0	0
400	2,03	1,72	—	3,75	3,0	+ 0,9
600	4,56	3,15	—	7,71	6,6	+ 1,2
800	8,1	4,85	—	12,95	11,4	+ 1,6
1000	12,7	6,78	—	19,48	17,6	+ 1,9
1200	18,3	8,92	1,28	28,50	25,0	+ 3,2
1400	24,8	11,25	3,92	39,97	35,2	+ 4,0
1600	32,6	13,7	6,36	52,66	47,0	+ 4,3

II. Elliptisches Drehfeld.

Versuchsreihe 17. Fig. 41 $c=34$, $B_l=4350$, $k=0,242$, $W_0=37,7$.

n	W_m'	W_{zus}'	W_h	W_{ber}	W_{gem}	%
200	— 0,86	+ 0,47	— 0,81	— 1,2	— 1,3	+ 0,2
400	— 0,92	+ 1,33	— 1,62	— 1,21	— 1,7	+ 1,3
600	— 0,26	+ 2,43	— 2,29	— 0,12	— 0,9	+ 2,1
800	+ 1,31	+ 3,75	— 1,52	+ 3,53	+ 2,5	+ 2,6
900	+ 2,33	+ 4,72	— 0,46	+ 6,59	+ 5,8	+ 3,2

Versuchsreihe 23. Fig. 42 $c = 40$, $B_l = 4210$, $k = 0,508$, $W_0 = 48,6$.

n	W_n'	W_{zus}'	W_h	W_{ber}	W_{gem}	$\%$
200	- 2,5	+ 0,5	- 1,6	- 3,6	- 4,0	+ 0,9
400	- 4,1	+ 1,5	- 3,2	- 5,8	- 6,2	+ 3,8
600	- 4,7	+ 2,7	- 4,8	- 6,8	- 6,4	- 0,9
800	- 4,5	+ 4,2	- 6,4	- 6,7	- 6,5	- 0,5
1000	- 3,5	+ 6,0	- 4,3	- 1,8	- 0,4	- 2,9

Versuchsreihe 29. Fig. 43 $c = 50$, $B_l = 4330$, $k = 0,725$, $W_0 = 76,9$.

n	W_n'	W_{zus}'	W_h	W_{ber}	W_{gem}	$\%$
200	- 5,0	+ 0,7	- 2,4	- 6,7	- 6,0	- 1,0
400	- 8,8	+ 1,9	- 5,1	- 12,0	- 11,0	- 1,5
600	- 11,4	+ 3,5	- 7,6	- 15,5	- 14,0	- 2,4
800	- 12,9	+ 5,3	- 10,0	- 17,6	- 15,5	- 3,5
1000	- 13,2	+ 7,45	- 12,4	- 18,1	- 14,3	- 6,2
1200	- 12,5	+ 9,8	- 9,6	- 12,3	- 9,5	- 4,1

Versuchsreihe 36. Fig. 44 $c = 55$, $B_l = 4300$, $k = 1,18$, $W_0 = 125,8$.

n	W_n'	W_{zus}'	W_h'	W_{ber}	W_{gem}	$\%$
200	- 7,6	+ 1,1	- 3,7	- 10,2	- 10,0	- 0
400	- 14,7	+ 2,9	- 7,4	- 19,2	- 18,6	- 1,3
600	- 20,0	+ 5,4	- 10,9	- 25,5	- 24,5	- 1,0
800	- 23,5	+ 8,2	- 14,0	- 29,9	- 28,0	- 2,0
1000	- 25,0	+ 11,4	- 18,7	- 32,3	- 30,5	- 1,9
1200	- 24,6	+ 15,1	- 18,7	- 28,2	- 28,5	+ 0,3

Die Übereinstimmung ist also durchweg befriedigend. Im Anhang II ist nun für das gesamte Versuchsmaterial diese Vergleichsrechnung gemacht, doch sind dort nicht mehr die einzelnen Summanden der errechneten Verluste mit angegeben.

11. Kritik der Versuchsergebnisse.

Im allgemeinen sind die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten so gering, daß für den berechnenden Ingenieur die Formeln genügen dürften, zumal die Berechnungsweise — an Hand von Kurven sind die in gewöhnlicher Weise für ein Drehfeld bestimmten Verluste für den jedesmal vorliegenden Fall zu reduzieren — sehr einfach ist. Daß im einzelnen Abweichungen vorkommen, bisweilen sogar der Charakter der errechneten und der gemessenen Kurven verschieden ist, war von vornherein zu erwarten. Denn ganz abgesehen von Beobachtungsfehlern und der