

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die unipolare Gleichstrommaschine

Ugrimoff, Boris von

Berlin, 1910

V. Die experimentelle Untersuchung der Unipolarmaschine des Verfassers

[urn:nbn:de:bsz:31-274883](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274883)

Tabelle XV.

Windungen pro Spule 500. Umdrehungen pro Minute = 6000.

Kraftflußinduktion <i>B</i>								
Luft	Scheibe	Stator						
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
2000	2000	2225	2500	2250	1980	1900	1785	1750
4000	4000	4450	5000	4500	3960	3800	3570	3500
6000	6000	6700	7550	6800	6000	5700	5400	5250
8000	8000	8950	10000	9050	7950	7600	7150	7000
10000	10000	11100	12600	11300	9950	9500	8950	8750
12000	12000	13500	15100	13700	12000	11350	10750	10500
13000	13000	14600	16400	14800	13000	12300	11650	11400

Amperewindungen pro 1 cm									Gesamte Ampere- windungs- zahl	Erreger- strom <i>A</i>	Elektro- motori- sche Kraft
Luft	Scheibe	Stator									
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
240	13	9	28	15	18	23	12	35	393	0,785	5,85
480	18	20	59	31	38	49	25	73	793	1,58	11,7
720	22	32	101	51	60	72	42	115	1215	2,53	17,6
960	24	48	182	76	88	111	60	165	1714	3,42	23,4
1200	29	70	272	115	124	153	83	226	2272	4,54	29,3
1440	34	129	575	216	189	214	112	306	3215	6,43	35,2
1560	42	180	1040	306	247	273	135	378	4161	8,32	38,0

V. Die experimentelle Untersuchung der Unipolar- maschine des Verfassers.

Endlich im Mai 1909 waren sämtliche Einzelteile der Maschine fertig und man konnte mit der Montage beginnen. Die Montage war sehr lästig, weil keine spezielle Werkzeuge im Laboratorium zur Verfügung standen und überhaupt die kleine Laboratoriumswerkstatt nicht so eingerichtet ist, um eine komplette Maschinenmontage auszuführen. Dennoch, Ende Juni war alles fertiggestellt und man konnte mit der experimentellen Untersuchung derselben anfangen.

Die experimentelle Untersuchung der konstruierten Unipolarmaschine zerfällt in:

- die Bestimmung der einzelnen Verluste;
- die Bestimmung der statischen Charakteristik;
- die Bestimmung der dynamischen Charakteristik;
- die Bestimmung des Wirkungsgrades.

a) Die Bestimmung der einzelnen Verluste wurde mit der Bestimmung der Eigenverluste derjenigen Maschine begonnen, die zum Antrieb der Dynamo diente. Zu diesem Zwecke wurden bei abgenommenem Treibriemen Beobachtungen über die vom Anker des Motors verbrauchte Energie bei verschiedenen Tourenzahlen gemacht. Die Resultate dieser Beobachtungen sind in der Tabelle XVI angeführt und graphisch vermittle der Kurve α im Diagramm (Fig. 101) dargestellt. Die Kurven sind so eingetragen, daß die Ordinaten die Verluste in Kilowatt und die entsprechenden Abszissen die Touren des Motors bezeichnen.

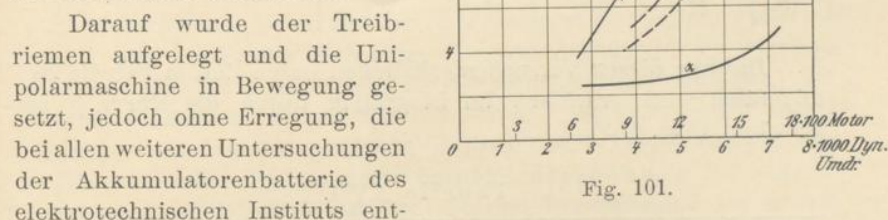


Fig. 101.

Darauf wurde der Treibriemen aufgelegt und die Unipolarmaschine in Bewegung gesetzt, jedoch ohne Erregung, die bei allen weiteren Untersuchungen der Akkumulatorenbatterie des elektrotechnischen Instituts entnommen wurde. Bei diesen Versuchen waren nur zwei Schleifkontakt-Kühlwasserröhren an der Maschine befestigt, das Wasser wurde aber nicht eingelassen und die Messer nicht eingestellt. Auf diese Weise ließen sich die Reibungsverluste in den Lagern, der Luft und des Riemens feststellen.

Der letzterwähnte Verlust bei der außerordentlich großen Geschwindigkeit des Riemens, die zeitweilig 36 m/sek erreichte, auch wegen des kleinen Durchmessers der Scheibe (80 mm) und des dadurch bedingten großen Schlupfes betrug nicht weniger als 15% der übertragenen Arbeit. Bei diesen Versuchen wurden beobachtet einerseits: die vom Motoranker verbrauchte Spannung E , Stromstärke J und die von ihm erreichte Tourenzahl; andererseits wurde ermittelt: die Tourenzahl der Unipolarmaschine n_2 , die Temperatur der Luft in der Maschine in der Nähe der Scheibe t_2 und die Temperatur der Balancier Vorrichtung t_1 .

Tabelle XVI.

Motor der A.-G. Volta (Reval) Nr. 4789 von 45 PS					
Nr.	Strom des Motor-Ankers J	Spannung des Motor-Ankers A	Umdr. per Min. n_2	KW	Bemerkungen
1	34	77	860	2,62	Spannung direkt an den Bürsten gemessen
2	35	77	1110	2,69	
3	27	100	1150	2,7	
4	28	100	1200	2,8	
5	29	100	1250	2,9	
6	30	102	1300	3,06	
7	31	102	1400	3,2	
8	34	102	1500	3,5	
9	43	102	1650	4,4	
10	47	102	1700	4,8	

Die aus diesen Versuchen erhaltenen Daten sind in Tabelle XVII angeführt und graphisch im Diagramm durch die Kurve β ausgedrückt (Fig. 101).

Tabelle XVII.

Nr.	Motor			Dynamo			Bemerkungen
	E	J	KW	Umdr. per Min. n_2	t_1 Temperatur d. Kamm-lagers	t_2 Temperatur in der Dynamo	
1	58	65	3,78	2675	32	24	mehr Wasser
2	98	102	10,1	4700	36	32	
3	106	104	11,0	5150	38	33	
4	112	105	11,7	5275	40	36	
5	116	107	12,4	5600	41	38	
6	114	130	14,8	6000	43	40	
7	112	140	15,7	6300	46	42	
8	115	150	17,3	6400	44	44	
9	190	190	21,0	6950	46	44	
10	110	190	22,0	7220	48	49	

Durch Subtrahieren der Ordinaten der Kurve α von den entsprechenden der Kurve β ergeben sich die Ordinaten der Kurve γ , die somit die Riemenverluste und die mechanischen Verluste in der Dynamomaschine darstellen. Durch die Verringerung der Ordinaten

der Kurve γ um 15 $\%$, was dem Riemenverlust entspricht, erhalten wir die Kurve δ , die die mechanischen Verluste der Unipolarmaschine charakterisiert. Die Gestaltung der Kurven β , γ und δ ist annähernd eine parabolische, und die Kurven zeigen deutlich, wie schnell die Verluste mit der Erhöhung der Geschwindigkeit wachsen. Leider gestatteten die Mittel, die bei den Versuchen zur Hand waren, keine höhere Tourenzahl als 7250 zu erzielen, doch auch die genannte Tourenzahl gelang es erst in der letzten Periode der Versuche zu erreichen, nachdem ein bei der Hamburger Firma Otto Gerkens speziell bestellter, äußerst dünner (3 mm) und 150 mm breiter, sehr biegsamer Riemen zur Stelle geschafft worden war.

Ferner wurde die Maschine erregt, die Messer jedoch, wie früher, blieben uneingesetzt.

Hierbei erwies es sich, daß bei einer ca. 4650 Touren entsprechenden Geschwindigkeit die Verluste der Unipolarmaschine sich nach der Einschaltung der Erregung kaum vergrößerten. Dieses deutet darauf hin, daß die Erregung weder Wirbelströme noch Hysteresiserscheinungen in der Scheibe hervorruft. Hierauf würde, bei konstanter Erregung (die Stromstärke in der Magnetwicklung $i = 7A$ const.), die Umdrehungszahl der Maschine allmählich gesteigert. Dabei fällt die Scheibe aus dem magnetischen Gleichgewicht; dieses geschieht wegen der Ausdehnung der Welle, die eine Folge der Temperaturerhöhung ist, und es tritt eine beträchtliche Kraft auf, die eine Verschiebung des Ankers in der Richtung der Achse anstrebt. Letzteres ruft eine Reibungserhöhung in der kammartigen Balanciervorrichtung hervor und zugleich eine Erwärmung derselben.

Bei der Geschwindigkeit, von 5700 Touren, wurde die Scheibe während des Ganges einer magnetischen Balancierung unterworfen, und endgültig wurde sie bei 7225 Touren ausbalanciert. Am Anfang der magnetischen Balancierung während des Ganges erwies es sich, daß die Verluste, die durch die Erregung der Maschine hervorgerufen wurden, sich verringerten, und das Minimum dieser Verluste erhielt man nach der vollkommenen Ausbalancierung.

Die aus diesem Versuche gewonnenen Daten finden sich in der Tabelle XVIII, und die Kurve ϑ auf dem Diagramm Fig. 101 gibt graphisch die Veränderung der Verluste bei der magnetischen Balancierung.

Die Möglichkeit, bei einer so beträchtlichen Geschwindigkeit wie 7225 Touren die mit der Erregung zusammenhängenden, nebenbei auftretenden Reibungsverluste im Kammlager nahezu zu annullieren, bestätigt, daß tatsächlich im Anker der Maschine während

des Leerlaufes weder Wirbelströme, noch Hysteresis stattfinden — die unvermeidlichen Erscheinungen in jeder Kollektormaschine.

Tabelle XVIII.

Nr.	Motor			Dynamo			Bemerkungen
	<i>E</i>	<i>J</i>	KW	Umdr. per Min.	t_1 Tem- peratur d. Kamm- lagers	t_2 Tem- peratur in der Dynamo	
1	98	101	9,9	4800	45	35	Balancierung angefangen
2	100	110	11,0	5040	45	35	
3	106	112	11,9	5250	46	37	
4	110	120	13,2	5450	46,5	38	
5	115	125	14,4	5700	47	40	
6	115	140	16,1	5875	55	41	
7	114	150	17,1	6300	58	45	
8	113	170	19,2	6640	56	49	
9	111	180	20,1	6720	56	50	
10	110	195	21,4	7150	55	51	
11	119	202	22,0	7225	55	51	

Tabelle XIX.

Nr.	Motor			Dynamo			Bemerkungen
	<i>E</i>	<i>J</i>	KW	Umdr. per Min.	t_1 Tem- peratur d. Kamm- lagers	t_2 Tem- peratur in der Dynamo	
1	84	150	12,6	4050	47	31	
2	94	150	14,1	4650	50	35	
3	98	150	14,7	4950	50	35	
4	103	148	15,2	5100	50	36	
5	110	145	15,9	5540	50	37	
6	116	148	17,1	5830	50	37	
7	115	165	19,0	6300	51	40	
8	112	174	19,6	6650	50	44	
9	112	190	21,1	6900	51	44	

Um die Reibung der Messer im Wasser festzustellen, wurden zwei Messer eingestellt und ein reichlicher Wasserzufluß bewerkstelligt. Der Überfluß an Wasser zeigte sich äußerlich durch einen Sprühregen aus den Ventilationsöffnungen der Maschine. Die diesem Versuche zugehörigen Daten sind in der Tabelle XIX angeführt und graphisch durch die Kurve ε im Diagramm aufgetragen (Fig. 101).

Wie aus der Kurve ε ersichtlich, sind die durch die beiden Messer im Wasser verursachten Reibungsverluste bei kleinen Geschwindigkeiten relativ größer (ca. 1 KW. bei 7000 Touren). Letzteres erklärt sich dadurch, daß bei kleinen Geschwindigkeiten die Erwärmung des Messers gering ist und daß das in die Furche eintretende Wasser hauptsächlich verspritzt und nur ein kleiner Teil durch die Reibungswärme verdampft wird. Bei wachsender linearer Geschwindigkeit der Furche in bezug zum Messer füllt dieselbe pro Sekunde eintretende Wassermenge die Furche in geringerem Maße, es wird weniger verspritzt, und der größere Teil des Wassers verdampft. Es sei auch darauf hingewiesen, daß eine richtige Einstellung der Messer von großem Einfluß auf die Reibung der Messer im Wasser ist. Die kleinste Abweichung der Messer aus der senkrecht zur Drehungsachse stehenden Fläche ruft ein starkes Spritzen und eine erhebliche Vergrößerung der Verluste durch die Reibung der Messer im Wasser hervor. Um die Verluste der Reibung zwischen Messer, Quecksilber und Wasser festzustellen, wurde die Maschine mit eingeschalteter Erregung untersucht — dieses um Gewißheit zu haben, daß die Spannung vorhanden und folglich der Gleitkontakt in Ordnung ist. Der Wasserzufluß war mäßig, was durch ein schwaches Spritzen aus den Ventilationsöffnungen charakterisiert wurde. Während dieses Versuches erwies sich bei der Steigerung der Geschwindigkeit die Notwendigkeit einer magnetischen Balancierung des Ankers, um den Axialdruck aufzuheben, der bei 5000 Touren eine erhebliche Erwärmung des Kammlagers bewirkte.

Tabelle XX.

Nr.	Motor			Dynamo			Bemerkungen
	E	J	KW	Umdr. per Min.	t_1 Tem- peratur d. Kammlagers	t Tem- peratur in der Dynamo	
1	77	112	8,6	3880	42	26	
2	83	130	10,8	4150	42	28	
3	87	140	12,2	4350	42	28	
4	91	150	13,6	4620	41	29	
5	95	170	16,1	4870	40	30	
6	94	180	16,9	5040	41	31	
7	98	179	17,5	5300	42	31	
8	97	192	19,0	5650	43	32	
9	98	214	21,0	6090	43	33	
10	98	220	21,5	6470	44	34	
11	98	224	22,0	6920	45	35	

Bei der Geschwindigkeit, die 7225 Touren entsprach, wurde der Anker so ausbalanciert, daß die Reibungsverluste durch Quecksilber und Wasser ungefähr $\frac{1}{2}$ KW betragen. Das Resultat dieses Versuches ist in Tabelle XX angeführt und graphisch vermittels der Kurve *k* auf dem Diagramm verzeichnet (Fig. 101).

b) Die Leerlaufcharakteristik wurde bei einer konstanten Tourenzahl, und zwar 6000 pro Minute, und einer sich ändernden Erregung ermittelt. Hierbei wurde beständig eine magnetische Balancierung des Ankers hergestellt, weil jeder Grad der Erregung sein besonderes Bild der magnetischen Streuung zur Folge hat, in der, im Grunde genommen, auch der Ursprung der Axialdrücke zu suchen ist.

Die Tourenzahl 6000, die niedriger als die maximale ist, wurde deshalb gewählt, weil in diesem Falle ein Anfressen der Balanciervorrichtung während der unvermeidlichen, durch die Änderung der Erregung bedingten Balancierung nicht so zu befürchten war.

Die Resultate dieses Versuches sind in Tabelle XXI und auf dem Diagramm Fig. 100 (S. 87) durch die punktierte Kurve dargestellt.

Tabelle XXI.

Nr.	E_D	J_D	Umdr. per Min.	Bemerkungen
1	16,0	2	6000	Ständige Balancierung
2	20,8	3	6000	
3	24,1	4	6000	
4	29,3	5	6000	
5	30,6	6	6000	
6	31,5	7	6000	
7	32,5	8	6000	
8	34,0	9	6000	

c) Die Bestimmung der Belastungscharakteristik wurde mit einem einzigen eingestellten Messer vorgenommen, folglich unter den relativ ungünstigsten Bedingungen für die Reaktion des Ankers; die Belastung des Messers wurde bis 400 Amp. gesteigert. Eine fernere Belastung der Dynamomaschine erwies sich als unmöglich, weil der Treibriemen heftig zu gleiten begann. Die Benützung eines stärkeren (breiteren) Riemens war in Anbetracht der Dimensionen der Scheiben ausgeschlossen. Die Versuche ergaben erstens eine durchaus geringe Reaktion des Ankers, und zweitens, daß der größte Teil des Spannungsabfalles durch den wechselnden Wider-

stand des Gleitkontaktes hervorgerufen wird, der gewöhnlich bei der letzten Form des Messers von 0,014 bis 0,0079 ω schwankt. Im ganzen ist es überhaupt schwer, etwas über die Reaktion eines solchen Ankers zu sagen, da die Wege der Ströme in den nicht gleichbreiten Scheiben der Unipolarmaschine noch nicht genau ermittelt sind.

Doch schon jetzt bezeugen die Versuche, daß die Reaktion in dem Falle, wenn die stromleitenden Messer sich diametral gegenüberstehen, wie auch dann, wenn sie sich nebeneinander befinden (in verschiedenen Rinnen), ungefähr die gleiche bleibt (Fig. 102).

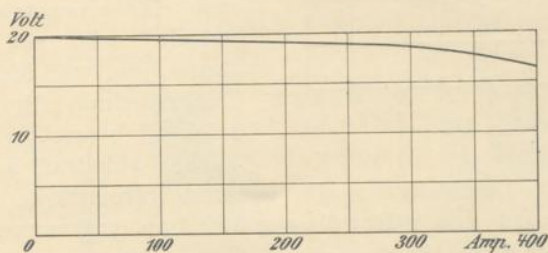


Fig. 102.

Höchst interessant ist auch das Faktum, daß also die Ankerreaktion keine bemerkbare Störungen in der Einheitlichkeit des magnetischen Kraftflusses hervorruft, die im Anker starke Wirbelströme zur Folge haben könnten.

d) Bestimmung des Wirkungsgrades. Eine unmittelbare Bestimmung des Wirkungsgrades der Dynamomaschine war nicht möglich, weil — wie erwähnt — der Antriebsmotor, sowie der Treibriemen, sich als zu schwach erwiesen. Auf Umwegen jedoch war es möglich, den Wirkungsgrad mit genügender Genauigkeit zu ermitteln, und zwar unter der Voraussetzung folgender Arbeitsbedingungen der Unipolarmaschine:

1. Die Anzahl der Messer der Maschine entspricht der Belastung, d. h. bei 25% der vollen Belastung ist ein Messer in Tätigkeit, bei 50% zwei Messer, bei 75% drei, und bei 100% arbeiten alle vier Messer.

2. Der Reibungsverlust an jedem Messer wird dem Verluste gleichgesetzt, der sich aus dem Versuche für ein zur Zeit arbeitendes Messer herausstellte, — mit anderen Worten, gleich 0,5 KW angenommen.

3. Die Reibungsverluste in den Lagern und in der Luft werden bei konstanter Tourenzahl und konstantem Luftdruck in der Maschine

als konstant angenommen, und zwar 13,5 KW, was einer Tourenzahl von 7000 Umdr. pro Min. entspricht.

4. Die Erregungsverluste sind konstant, und zwar ca. 0,5 KW.

Mit obigen Voraussetzungen wurde die Wirkungsgradkurve der Maschine bestimmt. Die größte Stromstärke für ein Messer in Dauer-

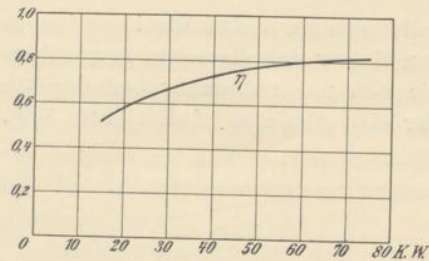


Fig. 103.

versuchen betrug 400 Amp.; es wurden aber auch Versuche angestellt, aus einem Messer innerhalb einiger Minuten 600 Amp. zu entnehmen. Diese Versuche konnten jedoch nicht von längerer Dauer sein, weil die Mittel des Laboratoriums für sie unzureichend waren. Was das Messer anbetraf, so hielt es

ohne jegliche Beschädigung die genannte Stromstärke aus. Wir nehmen an, daß von jedem Messer 500 Amp. entnommen werden.

Die unter diesen Bedingungen erhaltenen Größen sind folgende:

$$\eta_1 = \frac{17,5}{17,5 + 13,5 + 0,5 + 0,5} = \frac{17,5}{32} = 0,55,$$

$$\eta_2 = \frac{35}{35 + 13,5 + 0,5 + 1} = \frac{35}{50} = 0,7,$$

$$\eta_3 = \frac{52,5}{52,5 + 13,5 + 0,5 + 1,5} = \frac{52,5}{68} = 0,77,$$

$$\eta_4 = \frac{70}{70 + 13,5 + 0,5 + 2} + \frac{70}{86} = 0,81.$$

Die diesen Resultaten entsprechende Kurve ist im Diagramm (Fig. 103) dargestellt.

Die unipolare Doppelankermaschine.

Der Verfasser hat, um höhere EMK zu erzielen, das Projekt einer einpoligen Maschine mit zwei Ankern ausgearbeitet (Fig. 104). Die Anordnung der magnetischen Kraftlinienströme ist dabei so gewählt, daß die Messer der einen Scheibe den positiven und die anderen den negativen Pol darstellen. Die EMKe der Anker sind also in Serie geschaltet, und die Maschine liefert eine doppelt so große Spannung, als die gleich dimensionierte und mit gleicher Tourenzahl laufende Einankermaschine.

Bei der Ausarbeitung des Projektes ist eine möglichst bequeme Auf- und Abmontierung der Maschine im Auge behalten worden. Bei der vorliegenden Konstruktion läßt sich das Bloßlegen der Maschinenwelle durch einfaches Abheben des oberen mittleren Teiles *A* des Stators bewerkstelligen, ohne daß zu diesem Zwecke eine völlige Auseinandernahme des letzteren erforderlich ist. Sobald der Teil *A* abgehoben ist, wird die Balancier Vorrichtung und das linke Lager auseinandergenommen und die Hülse *B* abgeschraubt;

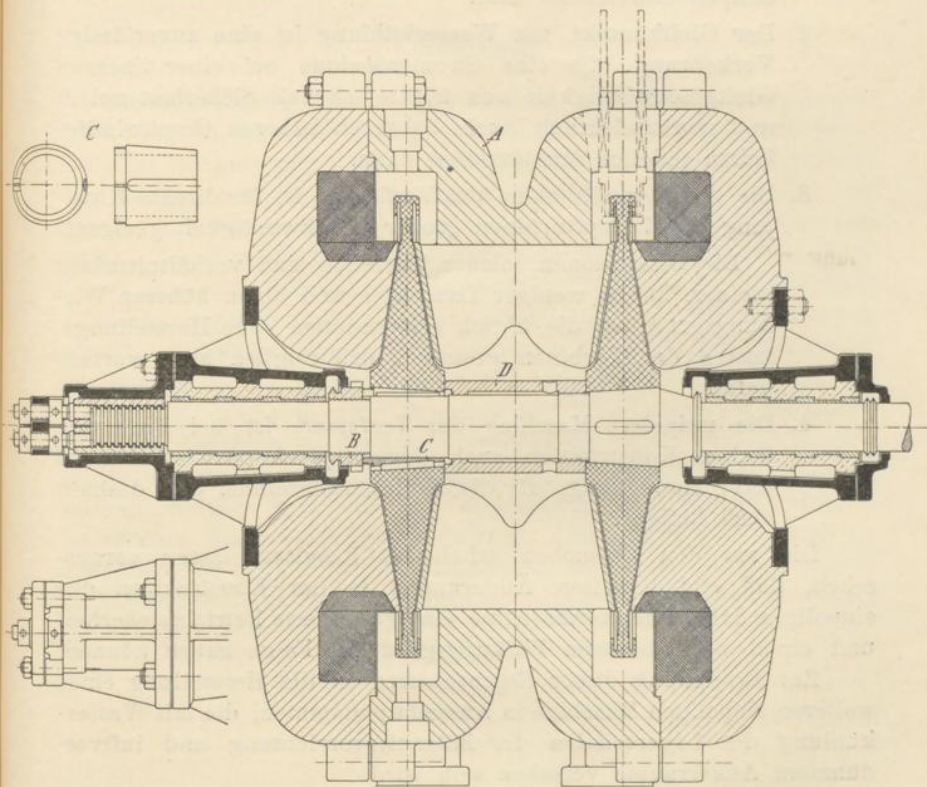


Fig. 104.

dadurch löst sich der konische Keil *C*. Auf dieses folgt das Abschrauben der langen Hülse *D*, die zum Verkeilen der rechten Scheibe dient und zugleich eine genaue Entfernung der Anker zueinander bezweckt.

Ist obiges geschehen, so läßt sich die Maschinenwelle mit Leichtigkeit nach rechts herausnehmen. In Fig. 104 ist eine Wasserkühlung der Balancier Vorkehrung noch nicht vorgesehen, sie läßt sich jedoch hier ohne Mühe anbringen.