Beiträge zu dem Problem der elektrochemischen Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom durch Aluminium-Elektrolytzellen

Autor(en): **König, Emil**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern**

Band (Jahr): **- (1902)**

Heft 1519-1550

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-319123

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

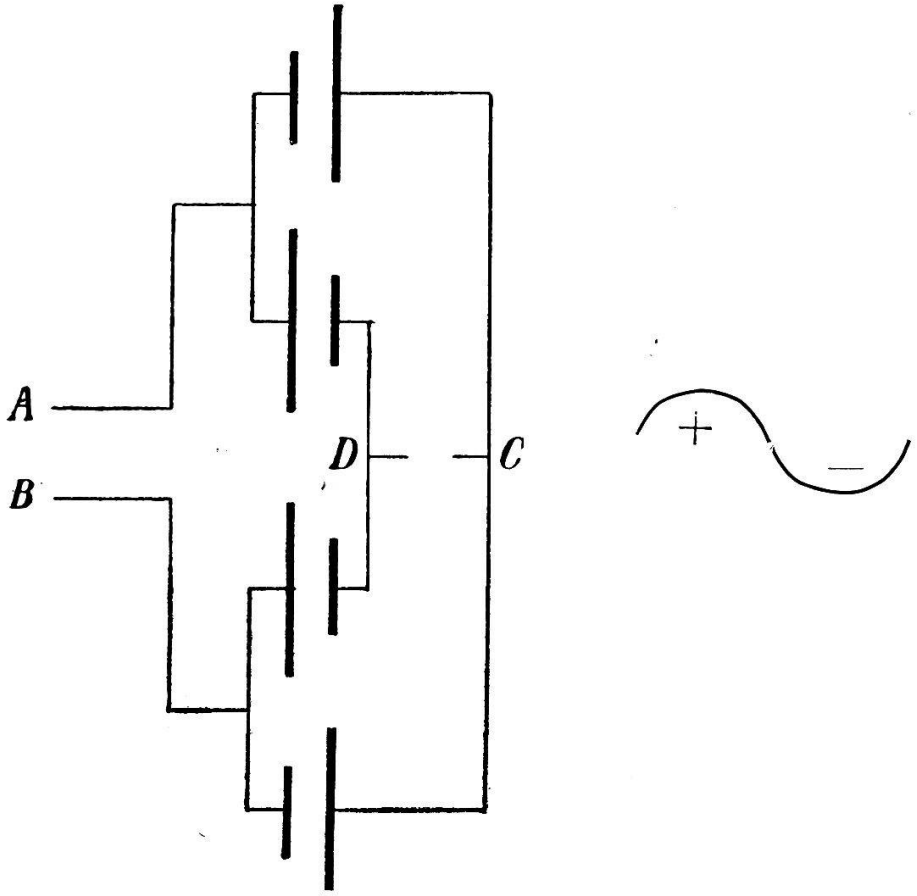
Dr. Emil König.

Beiträge zu dem Problem der elektrochemischen Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom durch Aluminium-Elektrolytzellen.

Im Jahre 1897 hatte Grætz[1] [2] [3]) ein Verfahren veröffentlicht auf elektrochemischem Wege vermittelst Aluminium-Kohle-Alaunzellen Wechselstrom in Gleichstrom umzuwandeln. Schon im Jahre 1895 hatte die Akkumulatorenfabrik Pollak[4]) ein Patent auf ein ähnliches Verfahren genommen. Nachdem bereits Wöhler[5]), Beetz,[6]) [7]) [8]) [9]) Buff,[10]) Ducretet,[11]) Oberbeck,[12]) Streintz[13]) [14]) die unipolare Leitung des Aluminiums gekannt und zum Gegenstande ihrer Untersuchungen gemacht hatten, ist in neuerer Zeit durch die Arbeiten von Scott,[15]) K. Norden,[16]) Batorelli[17]) bald die physikalische bald die chemische Seite der Aufgabe gefördert worden. Bei der praktischen Anwendung der Methode für Laboratoriumszwecke, stösst man auf einige auffallende Erscheinungen. Der Verfasser dieser Zeilen stellte sich Umformerbatterien von je 4 Zellen dar, in der Absicht, bei der Ladung einzelner Akkumulatorenzellen durch den mit Aluminiumzellen

[1]) Etz. 1897, pag. 423.
[2]) Wiedemann Annalen. 1897. Bd. 62, Seite 323.
[3]) Zeitschrift für Elektrochemie. 1897, pag. 67 u. ff.
[4]) Pollak, Etz. 1897 u. Compt. rend. 1897. Bd. 124, pag. 1443.
[5]) Liebigs Annalen C. III. 1858. S. 218 ff.
[6]) Pogg. Annalen. 1866. Bd. 127, S. 45.
[7]) Wiedemann Annalen. Bd. 127. S. 56.
[8]) » » » 156, S. 464.
[9]) » » 1877. Bd. 2. S. 94.
[10]) Lieb. Annalen. 1857. C. II, S. 269.
[11]) Journal de Physique. 1875. S. 84.
[12]) Wiedemann Annalen. 1883. Bd. 19, S. 625 ff.
[13]) u. [14]) Wiedemann Annalen. 1882, Bd. 17, Seite 841, 1887, Bd. 32, Seite 116, 1888, Bd. 34, S. 751.
[15]) Wiedemann Annalen. 1899. Heft 2, Seite 406.
[16]) Zeitschrift für Elektrochemie. 1899. No. 10 u. 11, pag. 159 u. 188.
[17]) Il nuovo Cimenti. 1901. Ser. 5 t I, p. 112—133.

in Gleichstrom umgeformten Wechselstrom niedriger Spannung die grossen Verluste zu reduzieren, die bei der Ladung mit Gleichstrom von 120 Volt aus dem städtischen Netz sich ergeben. Anlässlich des Vortrages von Herrn Prof. Grætz an der IV. Hauptversammlung der deutschen elektrochemischen Gesellschaft vom 22.—26. Juni 1897 in München war in der Diskussion von Dr. Correns[1]) zwar die Ansicht geäussert worden, es lassen sich mit pulsierendem Gleichstrom dieser Art, dessen Ordinaten zwischen Null und Maximum schwanken, schwer Akkumulatoren laden. Dieser Ansicht war Ing. Liebenow entgegengetreten mit Hinweis auf seine Versuche, die den Beweis liefern, dass es für den Akkumulator gleichgültig sei, ob der Strom in zahlreichen Stössen eintrete oder nicht. Diese letztere Ansicht scheint eine Bestätigung zu finden durch das Verhalten der Akkumulatorenbatterie in der Tonhalle in Zürich, welche bekanntlich mit undulierendem Gleichstrom, erzeugt aus Wechselstrom durch rotierende Pollak'sche Gleichrichter[2]) geladen wird, indem über Wirkungs-



[1]) Zeitschrift für Elektrochemie 1897, pag. 70.
[2]) Etz. 1898, pag. 80.

grad und Lebensdauer derselben, soweit es dem Verfasser bekannt ist, nichts ungünstiges bekannt geworden ist.

Die Zellen der Versuchsbatterie wurden in der von Grætz angegebenen Weise zur Ausnutzung und Parallelschaltung beider Stromimpulse einer Periode geschaltet nach folgendem Schema:

Die langen Striche bedeuten Aluminium, die kurzen Blei. Da nach Grætz eine Al.-Pb.-Zelle bis zu Spannungen von ca. 22 Volt, wenn Al. Anode ist «keinen durch einen Galvanometer nachweisbaren Strom», durchlässt, so sollte man, wenn bei A und B Wechselstrom ⌒⌣ eingeführt wird bei C und D pulsierenden Gleichstrom ⌒⌒ von gleicher Stromstärke erwarten, beziehungsweise bei offenem Gleichstromkreise in den Wechselstromzuleitungen keinen direkten Leitungsstrom finden, sondern höchstens einen dielektrischen Verschiebungsstrom, der schwach sein müsste, da die Periodenzahl 40 betrug und ein Aluminiumkondensator sich vor andern elektrolytischen Kondensatoren nur durch besonders hohen Durchschlagswiderstand, aber nicht durch eine Kapazität von anormaler Grössenordnung auszeichnet. Schon bei den ersten Versuchen dieser Art indess beobachtete Verfasser, selbst bei Spannungen erheblich unter 20 Volt, beträchtliche Wechselstromstärken bei offenem Gleichstromkreis, die auch bei andauernder vorheriger Formierung der Al.-Platten in einem Gleichstrom und bei Dauereinschaltung im Wechselstrom nicht bedeutend zurückgingen. Um zunächst festzustellen, ob der Reinheitsgrad des Aluminiums einen bestimmenden Einfluss auf die Intensität des durchgehenden Stromes ausübe, wurde eine Versuchszelle aus einer Anoden-Platte aus chemisch reinem Aluminium (von Merck in Darmstadt) und 2 parallel geschalteten Platinkathoden geprüft auf durchgehenden Gleichstrom bei verschiedenen Spannungen. Die Dimensionen der Zelle waren: Wirksame Platinoberfläche ca. 2.5 dm^2; wirksame Aluminiumoberfläche ca. 2 dm^2; Elektrolyt: Chemisch reine Alaunlösung, bei Zimmertemperatur gesättigt.

Platinkathode.	Klemmenspannung.	Die Zelle durchfliessender Strom in A.
	2 Volt	0,00002 Amp.
	4 »	0,0001 Amp. abnehmend bis 0,00006
	6 »	0,00015
	8 »	0,0004
	10 »	0,0018 abnehm. bis 0,0016 bis 0,0009

Die niedrigeren Stromwerte wurden mit Hülfe eines nach Amper justierten Edelmann'schen Spiegelgalvanometers mit Fernrohr bestimmt, die höhern vermittelst eines Galvanometers von Hartmann & Braun, mit Permanentmagneten und beweglicher Spule (System Deprez-d'Arsonval) unter Verwendung passender Nebenschlüsse.

Die in der Tabelle angeführten Zahlen geben die Minimalwerte bei andauernder Einschaltung an. Lässt man die Zelle nämlich eine Zeit lang stehen, so beobachtet man beim Einschalten im ersten Augenblick einen Stromstoss, der das zehn- bis mehrhundertfache des oben angeführten Wertes erreichen kann. Schon nach einem kleinen Bruchteile einer Sekunde aber geht der Strom beinahe auf den Minimalwert zurück, den er nach einigen Minuten erreicht.

Es ist daher angezeigt und notwendig, empfindliche Instrumente im Augenblick des Einschaltens zuerst kurz zu schliessen. Es macht ganz den Eindruck, wie wenn nach längerem Stehen die diektrische Schicht von Aluminiumoxyd ganz verschwunden wäre und der eintretende Strom zuerst eine kleine Zeit brauche, sie wieder zu erzeugen. Es sei ferner bemerkt, dass der erwähnte Stromstoss nicht eintritt, wenn man von einer Stufe höherer Spannung zur nächst niederen Stufe übergeht, während man dann gleichzeitig kleinere Werte für den durchgehenden Strom findet, als im umgekehrten Fall, wie überhaupt diese Zahlwerte sehr variabel sind, abhängig von dem momentanen Zustand der Zelle, im Zusammenhang mit der ausserordentlich veränderlichen Anodenpolarisation des Aluminiums, über welche schon Streintz und andere Forscher klagten.

Die folgende Tabelle gibt die Resultate der Messungen der auftretenden Klemmenspannungen (Aluminium-Anode) beim Durchleiten von Strömen geringer Intensität. Die Klemmspannungen wurden gemessen mit Spiegelgalvanometer (2000 Ohm Spulenwiderstand, ca. 957,000 Ohm Vorschaltwiderstand). Von einer Bestimmung der auftretenden Anoden- und Kathodenpolarisation wurde Umgang genommen, da Messresultate[1]) über innern Widerstand und Polarisation in ihrer Abhängigkeit von der durchgehenden Stromstärke bereits vorlagen.

[1]) Batorelli. Il nuovo Cimenti, 1901 ser. 5 t. I pag. 112—133.

Spannung der Stromquelle.	Vorschalt-widerstand.	Stromstärke gemessen.	Klemmenspannung gemessen.
ca. 125 Volt	60000 Ohm	0,00172 Amp.	18,84 Volt
	50000 „	0,00210 „	19,2 „
	40000 „	0,00265 „	20,04 „
	30000 „	0,00343 „	20,64 „
	20000 „	0,005 „	22,2 bis 20,4
	10000 „	0,01 „	22,2 „ 24
	2500 „	0,039 „	26 „
	1250 „	0,075 „	30 „
		0,25 „	42 Anfangs bis 38 am Ende
		0,6 „	42 „ „ 36 „ „
		0,9 „	38 „
		1,15 „	37 „
		1,28 „	37,5 „
		1,5 „	38 „
		1,8 „	39 „
		2 „	40 „
		2,35 „	41,5 „
		2,5 „	43 Anfangs; zurück auf 40
		11 „	45 „ „ „ 40
	Zelle 38° warm	7 „	34 „
		5 „	32 „
		3,8 „	29 „
		2,05 „	28 „
		1,7 „	27,5 „
		1 „	27 „
		0,7 „	26,8 „
		0,3 „	26,8–27,5

Stromrichtung geändert Klemmenspannung.	Aluminium ist Kathode Stromstärke.
3,6 Volt	0,4 Amp.
3,9 „	0,9 „
4,4 „	2,0 „
5,7 „	5,0 „
6,1 „	6,0 „
6,9 „	8,0 „
7,7 „	9,6 „

Wird nunmehr der Strom gewendet, so steigt der Zeiger des Voltmeters langsam (während ³/₄ Minuten) bis zum Wert von

28 Volt	bei 0,3 Amp.
32 „	„ 2,0 „

Die Zelle ruht während 24 Stunden; beim Einschalten eines Stromes von 0,25 Amp. steigt der Zeiger des die Klemmspannung

messenden Voltmeters während 2 Minuten, von Null mit gleichmässiger Geschwindigkeit auf den Anfangswert von 42 Volt, sinkt während 4 Minuten auf 37 Volt, um jetzt konstant zu bleiben (Stromverbrauch des Deprez-Voltmeters bei Endanschlag der Skala 0,00274 Amp.).

Nachdem es sich so gezeigt hatte, dass auch bei Verwendung von reinen Materialien, selbst bei Gleichstromspannungen von erheblich unter 22 Volt stets ein, wenn auch schwacher, Stromdurchgang stattfindet (vergleiche die Anschauung von Scott[1]), wonach sich die Aluminiumzelle „wie ein Condensator mit einem verhältnissmässig grossen Widerstand parallel geschaltet und einem sehr kleinen Widerstand [des Elektrolyten] dahinter geschaltet“ verhält), wurde zur Untersuchung zweier grösserer untereinander gleicher Zellen geschritten. Die 2 Zellen enthielten je 4 blanke Grossoberflächen-Bleiplatten (von der Akkumulatoren-Fabrik Oerlikon); je 5 Aluminiumplatten von 1 mm Dicke (von den Neuhausener Aluminiumwerken, 98—99% Aluminium enthaltend) mit je ca. 30 l. kalt gesättigter Alaunlösung. Wirksame Aluminiumoberfläche pro Zelle 48 dm²; wirksame Bleioberfläche je ca. 45 dm². Mittlerer Abstand der Aluminium- und Pb. Platten ca. 1 cm. Diese 2 Zellen wurden nun hintereinander geschaltet und mit Gleichstrom formiert. Bei 0,4 Amp. Stromdurchgang (Al.-Anode) war, nach Ablauf von 4 Stunden die Klemmenspannung erst auf 10 Volt gestiegen; bei Verstärkung des Stroms auf 2 Amp. stieg sie im Verlaufe von 10 weiteren Minuten auf 63 Volt, um hier bei dieser Stromstärke konstant zu bleiben. Unmittelbar nachher wurden die bei nachstehend angegeben Klemmspannungen durchgehenden Stromstärken ermittelt:

Klemmenspannung	Die Zellen durchfliessende Stromstärke in Amp
2 Volt	0,000205 Amp.
4 „	0,00055 „
6 „	0,00136 „
8 „	0,00216 „
10 „	0,003 „
12 „	0,007 „
14 „	0,011 bis 0,008 abnehmend

[1]) Wiedemann Annalen, 1899. S. 406.

Klemmenspannung	Die Zellen durchfliessende Stromstärke in Amp.			
16 Volt	0,012	Amp. bis	0,009	abnehmend
20 „	0,015	„ „	0,012	„
22 „	0,012	„		
24 „	0,018	„ „	0,016	„
26 „	0,020	„ „	0,018	„
29 „	0,024	„ „	0,022	„
31 „	0,028	„		
38 „	0,045	„ „	0,038	
41 „	0,060	„ „	0,055	
45 „	0,085	„		
48 „	0,105	„		
56 „	0,23	„		
60 „	0,32	„		
61 „	0,5	„		
64 „	0,6	„		
65 „	0,8	„		
65,2 „	1,0	„		

Wie sehr die obigen Angaben für die Stromwerte abhängig sind von dem jeweiligen Zustand der Batterie zeigt das Verhalten derselben nach zweitägiger Ruhe.

2 Volt	nach	½	Minuten	0,02 Amp.
	„	2	„	0,012 „
4 „	„	½	„	0,03 bis 0,04 Amp.
	„	2	„	0,018 Amp.
6 „	„	2	„	0,025 „
	„	5	„	0,018 „
8 Volt	unmittelbar	nach	Einschalten	0,4 „
	nach	2	Minuten	0,028 „
10 „	„	1	„	0,035 „
12 „	„	1	„	0,040 „
14 „	„	1	„	0,060 „
	„	2	„	0,040 „
16 „	„	1	„	0,080 „
	„	2	„	0,050 „
	„	5	„	0,040 „
18 „	„	1	„	0,080 „
	„	3	„	0,050 „
20 „	„	1	„	0,080 „

Nunmehr wurde durch die Batterie ein starker Strom gesandt:

Stromstärke		Klemmenspannnng			
2 Amp.		nach	2,5 Minuten	60	Volt
„	„	„	4 „	62,5	„
„	„	„	15 „	70	„
„	„	„	30 „	72	„
„	„	„	45 „	72	„
„	„	„	2 „	82	„
„	„	„	5 „	81	„
10	„			91	„

Unmittelbar darauf ergaben sich wieder folgende Werte für die durchgehenden Ströme bei variierter Klemmenspannung:

Klemmenspannung	Stromstärke in Amp.
2 Volt	0,00022 Amp.
4 „	0,00060 „
6 „	0,00097 „
8 „	0,00164 „
10 „	0,00218 „
12 „	0,0027 „
14 „	0,003 „
16 „	0,0055 „
18 „	0,007 „
20 „	0,009 bis 0,008 Amp.
23 „	0,009 „
27 „	0,016 „
30 „	0,02 „
37 „	0,035 „
42 „	0,055 „
47 „	0,075 „
50 „	0,110 „
60 „	0,22 „
65 „	0,30 „
74 „	0,70 „
75 „	0,80 „

Bezüglich des im Moment des Einschaltens erfolgenden Stromstosses sei auf das früher gesagte verwiesen.

Leitet man nun durch 2 solche hintereinander geschaltete Zellen Wechselstrom, dessen Spannung 2×22 Volt nicht übersteigt, so soll nach Grætz, indem jeweilen diejenige Hälfte einer Periode, für welche Aluminium Anode ist, ausfällt, ein intermittierender und pulsierender Gleichstrom entstehen, dessen Stromstärke die Hälfte beträgt von derjenigen des Wechselstroms (ohne Drosselwirkung). Zur Erzeugung der verschiedenen Spannungsabstufungen diente ein 3 K. W. Transformator (von Brovn und Boveri in Baden), der in entsprechender Weise konstruiert, die verschiedensten Sekundärspannungen abzunehmen gestattete, ohne Spulenvertauschung.

Die hauptsächlichsten Daten des Transformators sind:

Primäre Spannung: 240 Volt.

Periodenzahl . . 40

Primärdraht in 2 Abteilungen à je 154 Windungen.

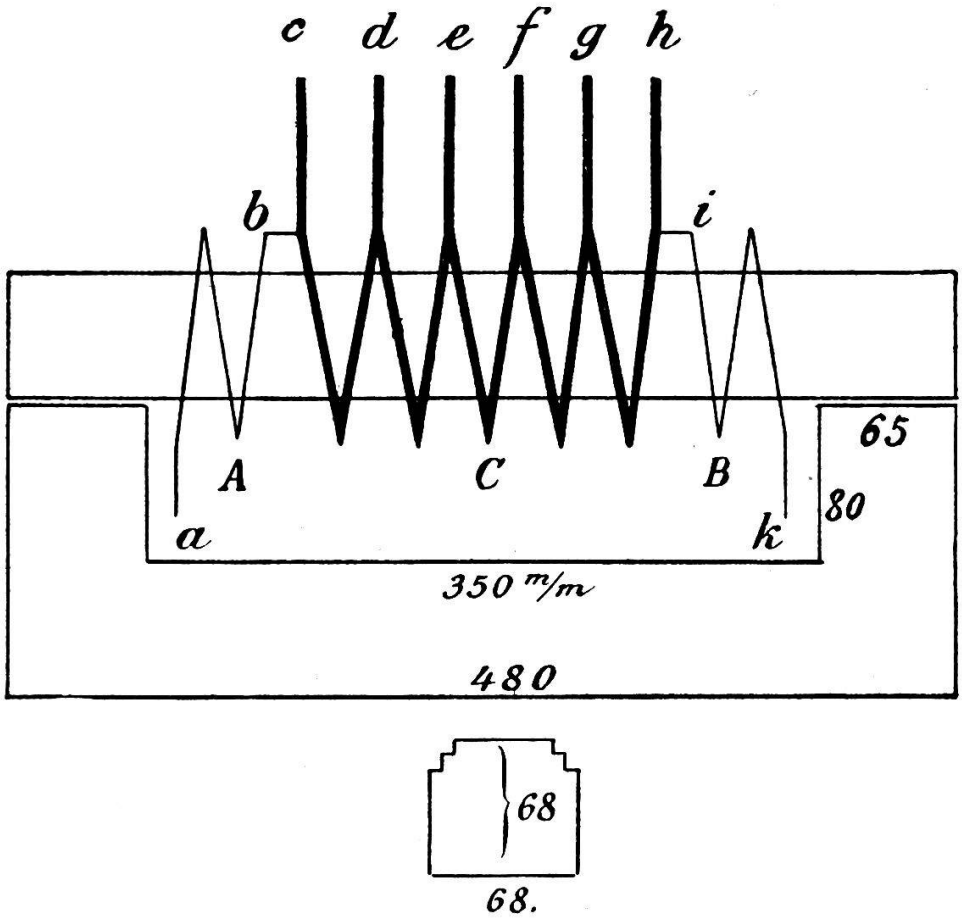
Sekundärdraht: 85 Windungen in 5 gleichen Abteilungen à je 17 Windungen.

Stärke des Primärdrahtes:	$3{,}5^m/_m$ nackt	=	$9{,}62^m/_m{}^2$
„ „ Sekundärdrahtes:	$6{,}5^m/_m \times 6{,}5^m/_m$	=	$42{,}25^m/_m{}^2$
Widerstand des Primärdrahtes	$2 \times 0{,}12$	=	0,24 Ohm
„ der Sekundärspule		=	0,015 „
Länge des Primärdrahtes		=	66,3 m
„ „ Sekundärdrahtes		=	36,48 m.
Mittlere Länge einer primären Windung		=	43 cm.
„ „ „ sekundären „		=	43 „
l_m = Mittlerer Kraftlinienlänge		=	114 „
Eisenvolumen $\frac{39000}{7{,}8}$		=	5000 cm.³
Wirksamer Eisenquerschnitt		=	45 cm.²

Schaltung I.

Das Kupfer der Sekundärwickelung wird mit zur primären Stromleitung benutzt.

Eisengestell 1 : 5.



68.

Primär: 393 Windungen; 240 Volt; 40∼; 1 Windung = 0,61 Volt.

Sekundär abnehmbare Spannungen:

Zwischen	c und d	17	Windungen	=	10,4	Volt
„	c und e	34	„	=	20,7	„
„	c und f	51	„	=	31,1	„
„	c und g	68	„	=	41,5	„
„	c und h	85	„	=	51,8	„
„	a und c	154	„	=	93,9	„
„	a und d	171	„	=	104,3	„
„	a und e	188	„	=	114,7	„
„	a und f	205	„	=	125,1	„
„	a und g	222	„	=	135,5	„
„	a und h	239	„	=	145,9	„
„	a und k	393	„	=	240,0	„

Die Prüfung auf Wirkungsgrad und Spannungsabfall bei induktionsfreier Belastung ergab folgendes Resultat:

Anzapfung	Volt primär	Volt sekundär leer	Volt sekundär belastet	Amp. primär	Amp. secundär	Wirkungsgrad
c—h	240	53,0	47,5	13,4	60	88,6%
c—g	„	42,0	39,0	10,8	„	90,3%
c—f	„	31,0	29,0	8,3	„	87,8%
c—e	„	21,0	20,0	5,7	„	87,7%
c—d	„	11,5	10,5	3,3	„	79,5%

Aus den angegebenen Daten berechnen sich:

Maximale Induktion $\mathfrak{B}_{max} = \frac{0{,}9.\ 240.\ 10^8}{4.\ 40.\ 393.\ 45} = 7634$ Kraftlinien per cm²

Maximale Kraftlinienzahl $= 7634 \times 45 = 343500.$

Eisenverluste: $W = W_{hyst} + W_{fouc} = 79{,}8 + 21{,}5 = 101{,}3$ Watt

a) Hysteresis: $W_{hyst} = \alpha\ \mathfrak{B}^{1,6} \sim \text{Vol.}\ 10^{-7}$

$= 0{,}00245.\ 7634^{1,6}\ 40.\ 10^{-7}\ 5000$

$= 79{,}8$ Watt.

b) Wirbelsströme: $W_{fouc} = \left(\frac{0{,}5.\ 40.\ 7634}{2{,}5.\ 10^6}\right)^2 .\ 5000$

$= 21{,}5$ Watt.

Eisenverluste: berechnet: 101,3 Watt
gemessen: 80,0 „

Wattkomponente des Leerstroms $= \frac{101{,}3}{240} = 0{,}42$ Amp. berechnet

$= \frac{80}{240} = 0{,}33$ „ gemessen

Wattloser Erregerstrom = für $\mathfrak{B} = 7634$ $\mu = 2000$

$= \frac{0{,}8}{\sqrt{2}} . \frac{\mathfrak{B}_{max}\ l_m}{\mu.\ 393}$

$= \frac{0{,}8.\ 7634.\ 114}{\sqrt{2}.\ 2000.\ 393}$

$= 0{,}63$ Amp. (berechnet).

Leerstrom $= \sqrt{0{,}42^2 + 0{,}63^2} = 0{,}76$ Amp. berechnet

$= 0{,}75$ „ gemessen

$\cos \varphi = \frac{80}{180} = 0{,}44$

$\varphi = 63$

Schaltung II.

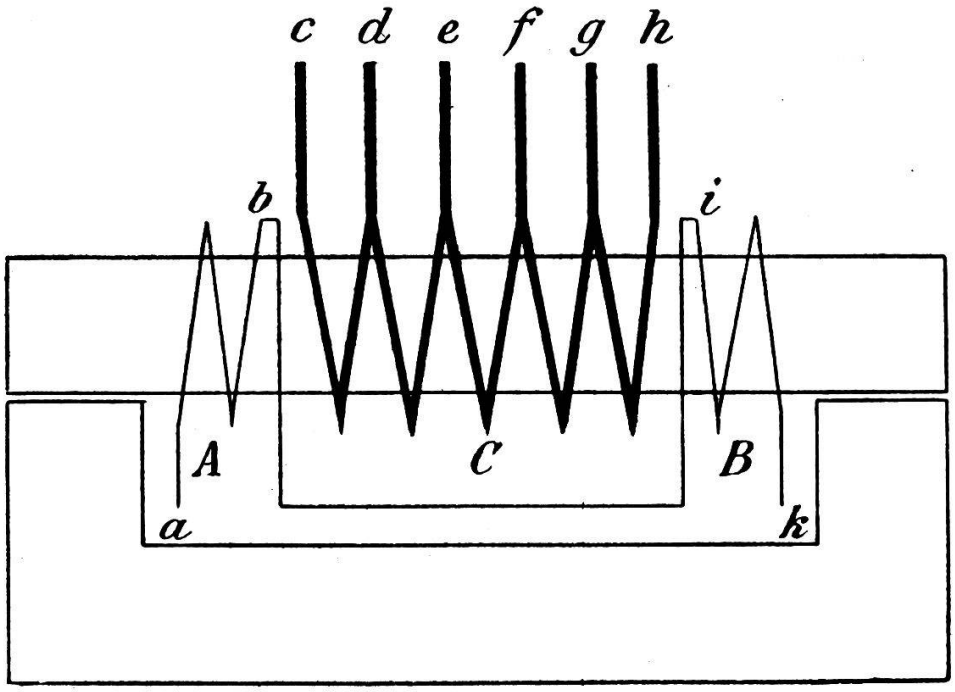
Gleich wie Schaltung I; nur wird das Ende der Primärspule A successive an die Anzapfungen d, e, f, g gelegt.
Ende von A mit d verbunden; 376 prim. Wind;
1 Wind. = 0,64 Volt; zwischen d u. h = 68 Wind = 43,5 Volt
Ende von A mit e verbunden; 359 prim. Wind;
1 Wind. = 0,67 Volt; zwischen e u. h = 51 Wind = 34,1 Volt
Ende von A mit f verbunden; 342 prim. Wind;
1 Wind. = 0,70 Volt; zwischen f u. h = 34 Wind = 23,8 Volt
Ende von A mit g verbunden; 325 prim. Wind;
1 Wind. = 0,74 Volt; zwischen g u h = 17 Wind = 12,5 Volt

Wirkungsgrad und Spannungsabfall bei diesen Schaltungen und bei induktionsfreier Belastung nehmen folgende Werte an:

Anzapfungen	Volt primär leer	Volt primär belastet	Volt sekundär leer	Volt sekundär belastet	Amp. primär	Amp. sekundär	Wirkungsgrad
d — h	240		43,5	40,0	11,5	60	86,9%
e — h	„		34,0	32,3	9,0	„	89,7%
f — h	„		24,0	23,0	6,8	„	84,6%
g — h	„		12,5	12,0	3,8	„	78,9%

Schaltung III.

Sekundärspule und Primärspule sind elektrisch ganz getrennt.



Primär 308 Windungen: 240 Volt; 1 Windung = 0,78 Volt.

Induktion: 9742 Kraftlinien per cm²; Gesammtkraftlinienzahl: 438390.

Leerstrom gemessen = 1,45 Amp.
Eisenverluste gemessen = 125 Watt

$$\text{Wattkomponente} = \frac{125}{240} = 0{,}52 \text{ Amp.}$$

$$\text{Wattlose Komponente} = \sqrt{1{,}45^2 - 0{,}52^2} = 1{,}35 \text{ Amp.}$$

$$\cos \varphi = 0{,}36$$

$$\varphi = 68^0$$

Magnetischer Widerstand:

$$\text{a)} \quad w = \frac{0{,}4.\ 3{,}14.\ 308.\ 1{,}35\ \sqrt{2}}{438390} = 0{,}0016$$

$$\text{b)} \quad w = \frac{114}{45.\ 2000} = 0{,}0013$$

Sekundär abnehmbare Spannungen:

Zwischen	c und d	17	Windungen	= 13,3	Volt
„	c und e	34	„	= 26,5	„
„	c und f	51	„	= 39,8	„
„	c und g	68	„	= 53,0	„
„	c und h	85	„	= 66,3	„
„	a und b	154	„	= 120	„

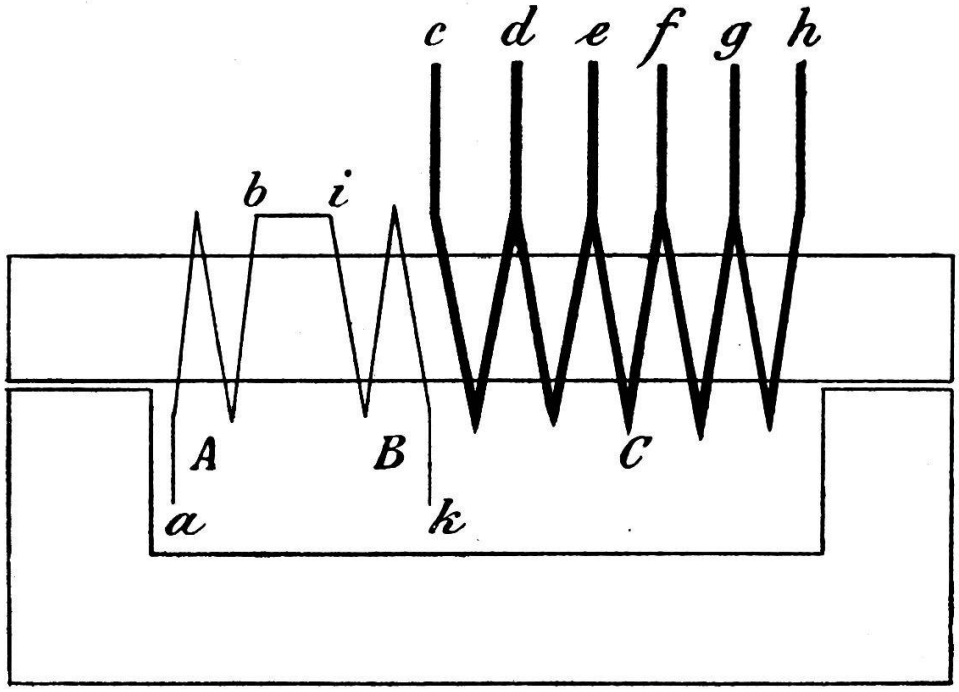
Wirkungsgrad und Spannungsabfall:

Anzapfung	Volt primär	Volt sekundär leer	Volt sekundär belastet	Amp. primär	Amp. sekundär	Wirkungsgrad
c—h	240	65,5	57,0	17,3	60	82,4%
d—h	„	53,0	47,3	13,7	„	86,3%
e—h	„	40,0	37,0	10,3	„	89,8%
f—h	„	26,0	24,5	7,8	„	83,9%
g—h	„	13,0	12,5	4,2	„	74,4%

Nachtrag: Wird die Zahl der primären Erregerwindungen durch Verbindung von A mit den entsprechenden Anzapfungen von C (mit Weglassung von B und Entnahme des Sekundärstromes an C) noch mehr herabgesetzt, so wachsen mit steigender Induktion, Leerstrom, Eisenverluste und Spannungsabfall rasch an:

Erregerwind.	Induktion	Eisenverlust Watt	Kupferverlust Watt	Gesamtverlust Watt	Leerstrom Amp.	scheinbare Watt Watt	cos φ	φ
A+B+C: 393	7634	80	0,14	80	0,75	180	0,44	63°
A+B : 308	9742	124,5	0,5	125	1,45	348	0,36	68°
A+C : 154+85	12552	223,3	1,75	225	3,6	864	0,26	74°
„ : 154+68	13520	272	3,0	275	4,8	1152	0,24	76°
„ : 154+51	14634	344	6,4	350	7,0	1680	0,21	78°
„ : 154+34	15957	459	15,8	475	11,2	2688	0,18	80°

Schaltung IV.



Die Sekundärspule wird neben die beiden Hälften der Primärspule gelegt, statt zwischen dieselben.

Bei unbelasteter Sekundärspule gilt das für Schaltung III gesagte. Bei Belastung wird indessen die Kraftlinienstreuung der Spulenanordnung entsprechend sehr gross; der Sehundärspule kann die normale Leistung von 3 KW. überhaupt nicht mehr entnommen werden, ihre maximale Leistung bei 240 Volt primär beträgt noch 1200 Watt. Die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in der Primärspule bleibt dauernd eine grosse. Es seien in folgendem einige Werte über Spannungsabfall u. s. w. für den Fall nahezu induktionsfreier Belastung angegeben:

Es sollen bedeuten:

Primäre Spannung = V_1
„ Stromstärke = A_1
„ scheinbare Watt = $W_{1,s}$
„ wirkliche „ = $W_{1,w}$

Phasenverschiebung zwischen primärem Strom und primärer Spannung = φ_1

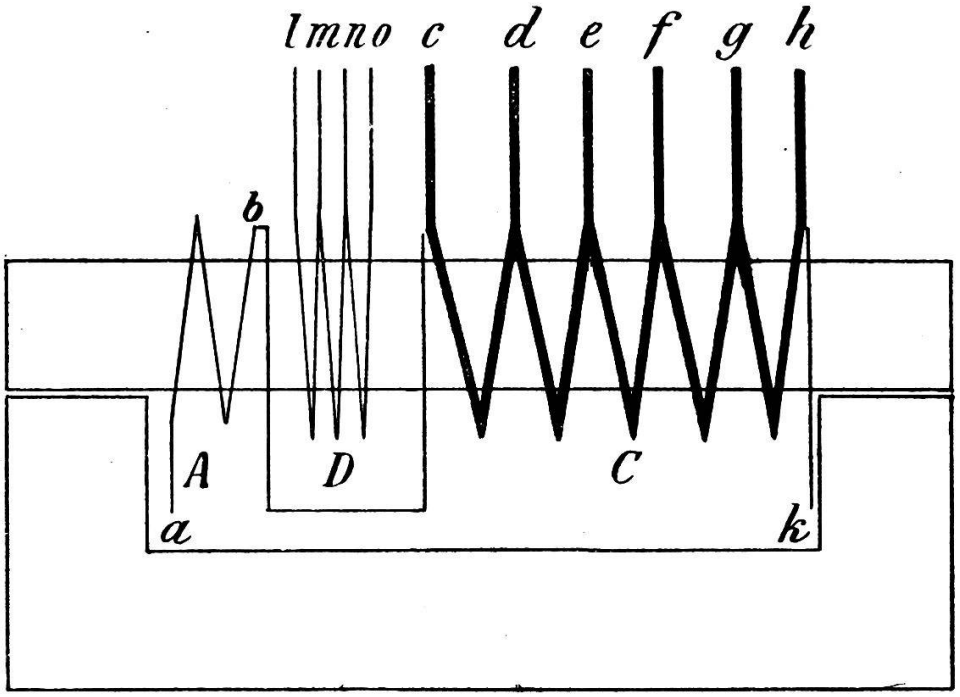
Leitungsfaktor = $\cos \varphi_1$

Sekundäre Spannung = V_2
„ Stromstärke = A_2 Wirkungsgrad = N
„ Watt = W_{2w}

V_1	A_1	W_{1s}	W_{1w}	$\cos \varphi_1$	φ_1	V_2	A_2	W_{w2}	N	Spannungs-abfall	
240	1,45	348	125	0,36	68	61	0	0	0		
230	2,8	640	475	0,74	42°	59	5,8	335	71%	3%	
230	3,1	713	550	0,77	40	57	7,0	385	70%	7%	
235	3,7	880	700	0,80	37°	57	9,0	490	70%	7%	
230	4,8	1104	900	0,82	35°	56	14,0	720	80%	8%	
230	5,9	1357	1060	0,78	39°	53	17,0	860	81%	13%	
230	7,7	1771	1338	0,76	41°	49	22,5	1060	79%	20%	
230	8,7	2001	1450	0,72	44°	45	28	1180	80%	26%	
230	9,2	2116	1425	0,67	47°	43	30	1200	84%	29%	**Maximum**
226	11,9	2689	1375	0,51	59°	28	40	1030	75%	54%	
230	13,0	2990	1237	0,41	66°	23	45	970	78%	62%	
230	13,3	3059	1000	0,33	71°	16,5	47	750	75%	73%	
230	13,5	3105	920	0,30	73°	13	48	615	77%	79%	
230	13,5	3105	820	0,26	75°	11	49	525	64%	82%	
230	14,0	3220	637	0,20	79°	6,5	50	315	49%	89%	
230	14,2	3266	412	0,13	83°	2	51	92	22%	97%	
230	14,5	3335	318	0,095	85°	—	52	—	—	—	

Wie man sieht reicht die primäre Spannung von 240 Volt zur Erzeugung des normalen Stromes von 60 A bei Kurzschluss in der Sekundärspule nicht einmal aus.

Schaltung V.



Die zweite Hälfte der Primärspule wird herausgenommen (die Weglassung derselben ist notwendig wegen Platzmangel) mit C in Serie geschaltet und bei a u. k an die Spannung von 240 Volt gelegt. Zwischen A u. C wird eine Hochspannungsspule D eingeschoben. Dieselbe besteht aus 3 durch 1 cm dicke Scheidewände getrennten Abteilungen. Die Daten dieser selbstgefertigten Spule sind:

Drahtstärke: $0.7^{m}/_{m} = 0.385^{m}/_{m^2}$

Windungszahl der ersten Abteilung: 622 (lm); Widerstand der ersten Abteilung: 13.6 Ohm.

Windungszahl der zweiten Abteilung: 584 (mn); Widerstand der zweiten Abteilung: 12.0 Ohm.

Windungszahl der dritten Abteilung: 561 (no); Widerstand der dritten Abteilung: 9.3 Ohm.

Gesamtwindungszahl: 1767; Gesamtwiderstand: 34.9 Ohm.
Gesamtdrahtlänge: 772 m.
Mittlere Länge einer Windung: 43.7 cm.

Es ergibt sich mithin:

Primäre Windungszahl: $154 + 85 = 239$; 1 Windung $= \frac{240}{239} = 1$ Volt

Maximale Induktion:

$$\mathfrak{B}_{mar} = \frac{0{,}9 \cdot 240 \cdot 10^8}{4 \cdot 40 \cdot 239 \cdot 45} = 12552$$

Maximale Kraftlinienzahl $= 564840$

Eisenverluste:

a) Hysteresis $W_{hyst} = \alpha \cdot \mathfrak{B}^{1.6} \sim \text{Vol. } 10^{-7}$

$$= 0 \cdot 00245 \cdot 12552^{1.6} \cdot 40 \cdot 10^{-7} \cdot 5000$$

$$= 177 \cdot 1 \text{ Watt}$$

b) Wirbelströme: $W_{fouc} = \left(\frac{0.5 \cdot 40 \cdot 12552}{2{,}5 \cdot 10^6}\right)^2 \cdot 5000$

$$= 50 \cdot 4 \text{ Watt}$$

Gesamtverlust in Eisen: $177.1 + 50.4 = 227.5$ berechnet

$= 225.0$ gemessen

Wattcomponente des Leerstromes $= \frac{225}{240} = 0.938$ Amp. gemessen

» » » $= \frac{227.5}{240} = 0.948$ » berechnet

Wattloser Erregerstrom:

für $\mathfrak{B} = 12552$ $\mu = 1000$

$$= \frac{0.8}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\mathfrak{B} \cdot \text{lm}}{\mu \cdot 239} = \frac{0{,}8 \cdot 12552 \cdot 114}{\sqrt{2} \cdot 1000 \cdot 239} = 3.3 \text{ Amp.}$$

Leerstrom $= \sqrt{3.3^2 + 0{,}94^2} = 3.4$ Amp. berechnet

$= 3.6$ » gemessen

$$\cos \varphi = \frac{225}{864} = 0.26$$

$$\varphi = 74^0$$

Sekundär abnehmbare Spannungen:

Zwischen:	c u. d	17	Windungen	=	17	Volt
» :	c u. e	34	»	=	34	»
» :	c u. f	51	»	=	51	»
» :	c u. g	68	»	=	68	»
» :	c u. h	85	»	=	85	»
» :	a u. c	154	»	=	154	»
» :	l u. m	622	»	=	622	»
» :	m u. n	584	»	=	584	»
» :	n u. o	561	»	=	561	»
» :	l u. o	1767	»	=	1767	»

Die Prüfung auf Wirkungsgrad und Spannungsabfall ergab folgendes Resultat:

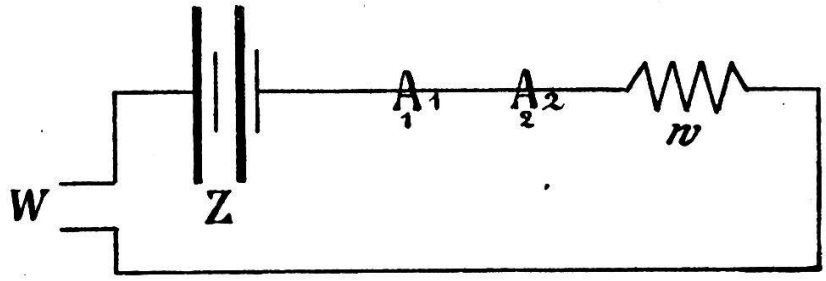
V_1	A_1	W_{1s}	W_{1w}	$\cos\varphi_1$	φ_1	V_2	A_2	W_{w2}	N	Spannungsabfall %
240	3.6	864	225	0.26	74°	83	0	0	0%	—
238	9.0	2142	1775	0.83	34°	80	20	1525	86%	4%
236	12.4	2926	2525	0.86	30°	78	30	2175	86%	6%
230	16.0	3680	3075	0.84	33°	71	40	2737	89%	14%
226	19.5	4407	3475	0.79	38°	67	50	3275	94%	19%
240	3.6	864	225	0.26	74°	66	0	0	0%	—
240	7.7	1848	1500	0.81	36°	64	20	1200	80%	3%
240	10.6	2544	2050	0.81	36°	62	30	1760	86%	6%
240	12.8	3072	2612	0.85	32°	60	40	2260	86%	9%
236	15.5	3658	3075	0.84	33°	57	50	2701	88%	14%
232	19.0	4408	3575	0.81	36°	55	60	3200	90%	17%
240	3.6	864	225	0.26	74°	50.5	0	0	0%	—
240	6.5	1560	1162	0.75	42°	49	20	950	82%	3%
240	8.3	1992	1637	0.82	35°	48	30	1375	84%	5%
238	10.2	2428	2050	0.84	32°	47	40	1775	86%	7%
236	12.4	2936	2487	0.85	32°	45	50	2150	87%	11%
230	14.7	3381	2750	0.81	36°	43	60	2450	89%	15%
228	16.8	3830	3175	0.83	34°	41.5	70	2805	90%	18%
240	3.6	864	225	0.26	74°	33.5	0	0	0%	—
238	6.2	1476	1169	0.79	38°	32	30	915	79%	5%
234	7.6	1778	1450	0.82	35°	31.5	40	1175	81%	6%
238	9.0	2142	1750	0.82	35°	31	50	1450	83%	8%
236	10.4	2454	2050	0.84	33°	30.5	60	1730	85%	9%
236	11.5	2714	2300	0.85	32°	30	70	1990	87%	10%
230	12.8	2944	2550	0.87	30°	29	80	2220	88%	13%
230	16.0	3680	3075	0.84	33°	27	100	2620	85%	19%
240	3.6	864	225	0.26	74°	16.8	0	0	0%	—
234	5.1	1193	888	0.74	42°	16.5	40	606	68%	2%
236	5.9	1392	1062	0.76	40°	16	50	750	71%	5%
240	6.5	1560	1187	0.76	40°	16	60	918	77%	5%
236	7.6	1794	1462	0.82	35°	15	80	1148	79%	11%
240	9.0	2160	1750	0.81	36°	14.5	100	1400	80%	14%

Die Spannung der Spule D wurde mit einem Multicellularvoltmeter (von White in Glasgow) nach Lord Kelvin zu 1773 Volt gemessen (1767 berechnet). Spannungsabfall und Wirkungsgrad waren hier analog denjenigen in der Niederspannungsspule. Bei voller Belastung (ca. 1600 Volt und 2 Amp.) ist die Beanspruchung des Drahtes für ununterbrochenen Betrieb eine hohe (ca. 5 Amp. pro $1^m/_m{}^2$), bei intermittierendem Betriebe ist sie jedoch erfahrungsgemäss vollkommen zulässig. Die Schaltung V ist somit sehr zweckmässig. Der Spannungsabfall von maximal 19% fällt nicht in Betracht gegenüber der Vielseitigkeit der Benutzung des Transformators, indem Hochspannung und Niederspannung gleichzeitig, in vielen Abstufungen entnommen werden können. Es sei zum Schlusse noch erwähnt. dass die zu Erzeugung des sekundären Kurzschlussstromes von 60 A (bei 85 Windungen), notwendige primäre Spannung 140 Volt beträgt, woraus sich in bekannter Weise der bei verschiedenen Belastungen eintretende Spannungsabfall auch graphisch ermitteln liesse.

Bei diesem Anlass sei noch bemerkt, dass bei obigem Transformator die Erscheinung eines Stromstosses beim Einschalten manchmal sehr auffällig beobachtet wurde. Diese Erscheinung ist bekanntlich unabhängig von der Belastung, tritt im magnetisierenden Stromkreis ein ohne zu dem andern durchzudringen; der Stromstoss erzeugt keine entsprechende Welle magnetischer Kraft, eine Lampe im Sekundärkreis leuchtet immer gleich hell, ob der Stoss primär eintritt oder nicht. Die Erscheinung erklärt sich aus dem remanenten Magnetismus. Massgebend für das Auftreten des Vorganges ist der Zustand in welchem das Eisen hinterlassen wurde. War das Eisen vollkommen unmagnetisch, so erzeugt schon der erste schwache Strom die erforderliche gegenelectromotorische Kraft. Muss dagegen der eintretende Strom bestehenden Magnetismus zuerst umkehren, so kann ein starker Stromstoss erfolgen (vgl. Feldmann, Transformatoren). In den Primärkreis des Transformators wurde eine Glühlampe (von 20 Volt und 0,8 Amp.) eingeschaltet, welche durch den Leerstrom (0,75 Amp.) zum beinahe normalen Glühen kam. Wurde nun mit einem besonders rasch wirkenden Ausschalter in schneller Folge der Strom geöffnet und geschlossen, so leuchtete die Lampe häufig

plötzlich in so greller Weissglut, dass sie nach wenigen Minuten ganz geschwärzt war. Ein an Stelle der Glühlampe eingeschalteter Hitzdrahtampermeter (0 bis 2.5 Amp.) erwies sich als zu träg, um den sehr kurz dauernden Strom anzuzeigen, doch deutete die aussergewöhnliche Schnelligkeit der Zeigerbewegung beim Ausschlag auf 1.5 bis 1.9 Amp., an, dass der wirkliche Strom viel grösser war. Viel schneller aber reagierte ein auf 20 Amp. eingestellter sehr präzis wirkender automatischer Doppelausschalter von Hartmann und Braun, der beim plötzlichen Einschalten des unbelasteten Transformators einige Male herausfiel, wenn auch allerdings selten mit Rücksicht auf die grosse Zahl diesbezüglicher Versuche. Ziemlich regelmässig aber fiel der Automat (20 Amp.) heraus beim raschen Einschalten bei höherer Induktion (12552 Kraftlinien pro cm^2 und 3,6 Amp. Leerstrom, vgl. Schaltung V).

Mit Benutzung des soeben beschriebenen Transformators in Schaltung I wurde durch die beiden oben erwähnten, in Serie geschaltenen Blei-Aluminiumzellen Wechselstrom von 20 Volt Spannung u. 40 Perioden durchgesendet. Ein in Serie eingeschalteter Gleichstrom-Deprez-Voltmeter zeigte 1 Volt an, ein Hitzdrahtvoltmeter 20 Volt.



$A_1{}^1$ = Hitzdrahtampermeter
$A_2{}^2$ = Deprez-Ampermeter

W = Wechselstrom
w = Widerstand

Hitzdrahtampermeter.	Deprez-Ampermeter.
4 Amp.	0.2 Amp.
8 „	1.8 „
9.5 „	2 „

Mit Hilfe einer zweipoligen Gleichstrom-Wechselstromumformermaschine wurde die Periodenzahl herabgesetzt. Bei gleicher Versuchsanordnung ergaben sich die Werte:

Hitzdrahtampermeter	Deprez-Ampermeter	Tourenzahl	Periodenzahl
5 Amp.	2 Amp.	600	10 ∾
10 „	3.6 „	700	ca. 12 ∾
0.2 bis 0.24 Amp.	0.08 bis 0.16 Amp.	120	2 ∾

Die Gleichstromampermeterangaben änderten sich im letzten Fall im Takt mit den Perioden zwischen 0.08 und 0.16 Amp.

Nunmehr wurden 4 Zellen nach dem eingangs erwähnten von Grætz angegebenen Schema zur Ausnutzung und Parallelschaltung beider Stromimpulse einer Periode geschaltet. Die 4 Zellen waren untereinander gleich. Jede enthielt 2 parallel geschaltete Bleiplatten (Wirksame Oberfläche: 23 dm²) und 3 parallel geschaltete Aluminiumplatten (Wirksame Oberfläche: 24 dm²) und ca. 30 l. Alaunlösung. Plattenabstand: 1 cm. Die in folgenden Tabellen für den Wechselstromkreis der Batterie angegebenen Wattmetermessungen wurden ausgeführt mit einem direkt zeigenden Präcisionswattmeter von Siemens und Halske (vgl. Etz. 1899. Heft 37 pag. 665). Die Wattangaben im Gleichstromkreis sind das Produkt aus Volt × Amp., nachdem zuvor an einer grösseren Zahl von Stichproben eine genügende Uebereinstimmung dieser Produkte mit den Angaben eines eingeschalteten Wattmeters festgestellt war. Die Angaben für Stromstärken und Spannung im Wechselstromkreise beziehen sich auf Hitzdrahtinstrumente von Hartmann und Braun; für den Gleichstromkreis dienten 2 Ampermeter und ein Voltmeter nach Deprez-d'Arsonval von H. u. B.; die Angaben der Ampermeter waren zuvor verglichen worden mit den Angaben des im Wechselstromkreise benutzten Präcisionswattmeters, dessen Stromspule von dem zu messenden Strome durchflossen wurde, während die Spannungsspule an eine genau gemessene Akkumulatorenspannung angelegt war. Es sei hier noch besonders erwähnt, dass natürlich bei diesen pulsierenden Gleichströmen die Angaben der Gleichstromampermeter mit Permanentmagneten, sowie auch die des als Ampermeter geschalteten Wattmeters kleiner sind als die der Hitzdrahtampermeter oder der Dynamometer, indem die ersteren die mittleren Werte der Stromstärken angeben, die letzteren die Mittelwerte der Quadrate, d. h. die angezeigte Stromstärke ist im letzteren Falle die Quadratwurzel aus den Mittelwerten der Quadrate der einzelnen Stromstärken.

Es bedeuten:

GV: Gleichstromspannung in Volt
GA: Gleichstromstromstärke in Amp.
GW: Gleichstrom-Watt
WV: Wechselstrom-Volt
WA: » -Amper
WW^w: » -Watt wirkliche, gemessen mit Wattmeter
WW^s: » -Watt scheinbare.

I. Messreihe.

Gleichstromkreis offen, nur mit Voltmeter belastet:

WV		WA	WW^s	WW^w	GV	cos φ
10		5.6	60	15	3.2	0.25
20	anfangs:	17.0	340	125	16.0	0.37
»	nach 10 Sec.:	9.3	186	75	»	0.40
»	» 1 Min.:	9.0	180	45	»	0.25
»	» 10 »	9.0	180	40	»	0.22
	Nunmehr zurück auf den niederen Spannungswert.					
10		4.3	43	6.5	3.2	0.15
30	anfangs:	15.2	456	237	26	0.52
»	nach 1 Min.:	14.1	423	163	»	0.39
»	» 2 »	13.6	408	137	»	0.33
»	» 3 u. 5 »	13.6	408	137	»	»
41	anfangs:	28	1148	640	38	0.55
»	nach 1 Min.:	20.5	840	435	»	0.52
»	» 2 »	18.8	771	370	»	0.48
»	» 5 »	16.7	685	285	»	0.41
52	anfangs:	36	1872	1150	43	0.61
»	nach 1 Min.:	26	1352	800	»	0.59
»	» 2 »	24	1248	670	»	0.53
»	» 3 »	22	1144	550	»	0.48
	Zurück auf:					
40	anfangs:	13.5	540	260	34	0.48
»	nach 2 Min.:	13.7	548	265	»	0.48
29	anfangs:	8.6	249	65	25	0.26
»	nach 2 Min.:	8.9	258	70	»	0.27
20		5.6	112	12.5	14	0.11
10		2.8	28	2.5	3.0	0.09

Bemerkenswert ist die Abnahme der scheinbaren und wirklichen Watt gegenüber den Anfangswerten, beim Rückgang von höheren Spannungen zu niederen; das cos φ erreicht für die niedrigsten Spannungen die kleinsten Werte. Bisher wurde Wechselstrom von 40 Perioden benutzt; die folgende Messreihe zeigt das Verhalten der Zellen gegenüber Wechselstrom anderer Periodenzahl. Der Wechselstrom wurde an den Schleifringen einer 2-poligen Umformermaschine abgenommen, deren Gleichstromseite mit 120 Volt Gleichstrom gespiesen wurde. Die Tourenzahl der Maschine wurde durch entsprechende Regulierung der Gleichstromspannung und des Nebenschlusses auf das gewünschte Mass gebracht; der abgenommene Wechselstrom passierte einen 1 KW. Transformator mit veränderlichen Sekundärspulen, zum Zwecke der Erzeugung der nötigen Spannung.

II. Messreihe.

WV	WA	WW^s	WW^w	Periodenzahl	GV	cos φ
20	5.5	110	35	40	14	0.32
»	3.0	60	6.3	22	—	0.10
»	2.5	50	—	16	—	—
»	1.7	37	3.7	13	—	0.10
»	1.2	32	3.0	10	—	0.10
26	4.3	112	15.2	25	—	0.13
30	3.5	105	15.0	17	25	0.14
40	6.0	240	50	19	36	0.21
»	5.0	200	43	16	»	0.22

III. Messreihe.

Ladung von 7 hintereinander geschalteter Akkumulatoren (System Pollak) mit dem Gleichstrom der Batterie. (Wechselstrom 40 ∾) Kapazität der Akkumulatoren 22 A.-St. Ausser dem Widerstand der ziemlich langen Zuleitung war kein Vorschaltwiderstand im Ladekreis der Akkumulatoren.

Zeit	WV	WA	WW^s	WW^w	GV	GA	GW	Wirkungsgrad	cos φ
10^h 34 Min.	29	10.6	307	165	18.4	4.0	73.6	44 %	0.53
10^h 40 »	»	9.6	278	152	18.4	3.0	55.2	36 %	0.54
10^h 46 »	»	9.6	278	142	18.2	2.6	47.3	33 %	0.51
10^h 52 »	»	9.6	278	142	18.1	2.5	45.3	32 %	0.51

Temperatursteigerung der Alaunlösung 0.20° C. gemessen,
0.26° C. berechnet.

Ladung der gleichen Batterie mit einem Vorschaltwiderstand von ca. 1.4 Ohm.

Zeit	WV	WA	WW^s	WW^w	GV	GA	GW	Wirkungsgrad	Temp. der Zellen	Cos φ
1 h 55 Min.	41	15.3	627	360	25	3.8	95	27 %	19.2° C.	0.57
2 h 10 »	»	15.3	627	370	25.3	3.7	94	26 %	19.8° C.	0.59
2 h 28 »	»	15.5	636	430	25.4	3.7	94	22 %	20.4° C.	0.67
2 h 40 »	»	16.8	689	450	25.4	3.65	93	21 %	20.8° C.	0.66
2 h 55 »	»	17.8	730	465	25.1	3.5	88	19 %	21.2° C.	0.64
3 h 40 »	»	19.4	795	525	24.9	3.3	82	16 %	23.3° C.	0.66
4 h 00 »	»	19.9	815	550	25.0	3.3	82	15 %	23.9° C.	0.67
4 h 15 »	»	21	861	575	25.0	3.1	78	14 %	24.6° C.	0.67
4 h 55 »	»	22	904	610	25.0	2.9	72	12 %	26.4° C.	0.67

Beim Unterbruch des Gleichstroms:

4 h 55 Min.	42	14.8	621	325	33	0	0	—	—	0.52

Temperaturerhöhung der Alaunlösung gefunden: 7.2° C.
» » » berechnet: 8.3° C.,
ohne Rücksicht auf Verluste durch Strahlung und Leitung und anderweitige Stromarbeit.

Während des dreistündigen Stromdurchgangs ergab sich somit bei abnehmender Drosselwirkung ein dauerndes Anwachsen der wahren und scheinbaren Watt, bei annähernd konstant bleibendem cos φ.

Im Weiteren wurde der Gleichstromkreis verschiedenen Belastungen ausgesetzt mit Hilfe eines Metallrheostaten, bestehend aus 10 2 $^m/_m$ Nickelindrahtspiralen von je 1 Ohm, die einzeln oder gruppenweise hintereinander oder parallel geschaltet werden konnten, sodass der Widerstand sich verändern liess von 10 bis $^1/_{10}$ Ohm in allen Abstufungen.

IV. Messreihe.

WV	WA	WW^s	WW^w	GV	GA	GW	Wirkungsgrad	cos φ
10	3.0	30	3	3.2	0	0	—	0.10
20	5.5	110	15	14.3	0	0	—	0.14
»	7.1	142	60	9	1.0	9	15%	0.42
»	7.5	150	75	7.9	1.7	13.4	18%	0.50
»	7.6	152	85	7.1	1.9	13.5	16%	0.56
»	8.0	160	88	6.6	2.2	14.5	17%	0.55
»	8.3	166	107	5.9	3.0	17.7	17%	0.64
»	9.4	188	130	4.8	5.3	25.4	19%	0.69
»	12.2	244	195	4.1	9.0	36.9	19%	0.79
»	14.8	296	255	3.9	10.5	41.0	16%	0.87
»	16.5	330	295	3.4	12.5	43.0	15%	0.89
»	24	480	435	1.0	23.0	23	5%	0.90
30	9.0	270	40	25	0	0	—	0.15
»	11.2	336	180	18.8	2.0	37.6	21%	0.53
»	11.5	345	185	17.6	2.2	38.7	22%	0.53
»	12.0	360	193	17.5	2.3	40.3	21%	0.53
»	12.1	363	198	16.8	2.6	43.6	22%	0.54
»	12.3	369	210	16.3	3.0	48.9	23%	0.57
»	12.6	378	230	15.8	3.4	53.7	24%	0.61
»	13.4	402	260	15.0	4.1	62	24%	0.64
»	14.8	444	275	14.4	5.1	73.4	26%	0.62
»	16.0	480	325	12.4	7.2	89	27%	0.68
29	20.5	594	515	11.4	12.5	143	28%	0.86
28	30	840	730	10.2	21.0	214	29%	0.87
27	40	1080	990	8.2	27.0	221	22%	0.91
27	45	1215	1150	8.0	29	232	20%	0.94
27	52	1404	1330	6.0	36	216	16%	0.95
42	17.5	735	400	27	3	81	22%	0.54
»	18.8	790	440	26	4	104	24%	0.55
»	20	840	490	25.8	5.2	134	27%	0.58
»	25	1025	595	25	7.0	175	29%	0.58
41.5	29	1204	900	24	11.8	283	31%	0.74
41	40	1640	1238	21	19.2	403	32%	0.75
39	48	1872	1550	17	28	476	31%	0.83

WV		WA	WW^s	WW^w	GV	GA	GW	Wirkungsgrad	cos φ
38		57	2166	1875	15	34	510	28%	0.87
38		61	2318	2100	13.8	41	566	27%	0.91
37		64.5	2387	2250	13	46	598	26%	0.94
36		75	2650	2500	11	56	616	24%	0.95
51	0-2 Min.	21	1071	500	38	0	0	—	0.46
»		18.5	944	440	40	0	0	—	0.46
»		16.5	842	365	43	0	0	—	0.43
»		22	1122	650	35	4.1	144	22%	0.58
»		23	1173	687	35	5.4	189	27%	0.59
»		25	1275	870	34.5	7.4	254	29%	0.68
»		27	1350	950	31	10.4	312	33%	0.70
»		30	1500	1100	29	14.0	406	37%	0.73
49		39	1911	1375	26	25	650	47%	0.72
46		49	2254	1950	22	42	924	48%	0.86
45		59	2655	2375	19	50	950	40%	0.90
63		21	1333	1000	48	0	0	—	0.75
»		28	1764	1320	43	4.5	194	15%	0.75
»		29	1827	1370	42.5	5.7	242	18%	0.75
»		31	1953	1500	42.0	7.5	315	21%	0.77
62		33	2046	1612	41.5	10.3	428	26%	0.79
»		35	2170	1700	40.0	12.8	512	30%	0.79
»		40	2480	2075	38.0	18.0	684	33%	0.84
58		49	2842	2300	34.0	32.0	1088	47%	0.81
55		63	3465	3000	28.0	49.0	1372	46%	0.86
50		70	3500	3437	24.0	58.0	1392	40%	0.98

Bei Betrachtung obiger Tabellen ergeben sich folgende Gesetzmässigkeiten:

1. Im Wechselstromkreise besteht zwischen Strom und Spannung eine Phasenverschiebung, welche bei Leerlauf (d. h. unbelastetem Gleichstromkreise) am grössten ist und bei steigender Gleichstrombelastung immer mehr zurückgeht.

2. Der maximale Wirkungsgrad nimmt bis zu einem gewissen Grade mit steigender Wechselstromspannung zu;

in unserm Fall wird er erreicht bei einem äussern Nutzwiderstand von ca. 0.5 Ohm (cos φ = 0.8).

Bemerkenswert ist die Veränderung im Aussehen der Aluminiumbleche nach länger andauerndem Betriebe bei starker Belastung im Gleichstromkreise. An zahlreichen Stellen wachsen allmählich cylindrische Säulchen (bis 7 $^{m}/_{m}$ hoch und 1 $^{m}/_{m}$ dick) einer weisslich-graulichen Verbindung senkrecht aus den Blechen heraus. Diese Auswüchse haben eine täuschende Ähnlichkeit mit den bekannten Thonerdeausblühungen, die sich im Verlaufe von wenigen Minuten aus Aluminiumblechen unter Einwirkung des Luftsauerstoffs erheben, nach Verletzung der schützenden Oxydschicht durch geeignete Behandlung mit Natronlauge und Quecksilber. Nach den Untersuchungen von K. Norden (Zeitschrift für Elektrochemie, 1899, p. 199) scheint es kaum zweifelhaft, dass auch hier die cylindrischen Säulchen und fadenförmigen Gebilde vorherrschend aus Al_2O_3 bestehen. Je stärker eine Batterie im Verhältnis zu ihrer Grösse beansprucht wird, d. h. je grösser die Stromdichte ist, desto reichlicher bilden sich diese Auswüchse, deren Entstehung keine günstige Prognose gestattet, bezüglich der Haltbarkeit der Zellen, bei andauernder stärkerer Belastung.

Nach mehrtägiger Beanspruchung der Batterie ergaben wiederholte Messungen über Leerlaufsströme abermals andere Resultate als früher:

WV	WA	WW^s	WW^w	GA	cos φ
9.6	2.2	21	5	0	0.24
19	4.9	93	22.5	»	0.24
30	7.0	210	52.5	»	0.25
40	10.0	400	105	»	0.26
50	13.5	675	250	»	0.37

6 Stunden später:

10	2.2	22	5	»	0.23
20	5.0	100	25	»	0.25
30	7.1	213	55	»	0.26
40	10.0	400	108	»	0.27
51	14.4	734	310	»	0.42

Nach sechswöchentlicher Ruhe:

WV	WA		WW^s	WW^w	GA	cos φ
10	2.3		23	16.7	0	0.73
19.4	24	anfangs;	465	450	»	0.97
19.0	14.4	nach 1 Minute;	273	200	»	0.73
20.0	13.9	nach 2 Minuten;	273	200	»	0.72
19.6	11.3	nach 5 Minuten;	221	140	»	0.63
30.0	23.2	anfangs;	696	520	»	0.75
»	13.7	nach 1 Minute;	411	280	»	0.68
40.0	33	anfangs;	1320	1100	»	0.83
»	22	nach 1 Minute;	880	650	»	0.74
»	15.8	nach 2 Minuten;	632	450	»	0.71
50	32	anfangs;	1600	1400	»	0.87
	21	nach 2 Minuten;	1050	800	»	0.76

Zurück auf:

40	12		480	350	»	0.73
30	6.7		201	80	»	0.40
20	4.2		84	29	»	0.34
10	1.9		19	7	»	0.37

Mehrstündige Einschaltung der Batterie zur Bestimmung der Änderung des Leerlaufverlustes ergaben:

WV	WA	WW^s	WW^w	cos φ	Zeit	Temp. der Zellen
42	11.1	466	110	0.24	3^h 13 Min.	15.8° C
41.5	10.9	452	145	0.32	3^h 45 »	16.2° C
»	11.0	456	160	0.35	4^h 15 »	16.6° C
»	11.0	456	180	0.39	4^h 45 »	17.3° C
»	11.0	456	188	0.41	5^h 03 »	17.7° C
42	11.3	475	210	0.44	6^h 03 »	18.6° C

Im Fernern erschien es von Interesse das Verhalten der Batterie zu prüfen, wenn die Elektrodenoberfläche auf die Hälfte reduziert würde. Ohne daher den Plattenabstand zu verändern wurde je eine Aluminiumplatte und Bleiplatte pro Zelle abgeschaltet; die wirksame Al-Oberfläche betrug nunmehr 12 dm^2; die Bleifläche 11 dm^2.

V. Messreihe.

Gleichstromkreis unbelastet:

WV	WA	WW^s	WW^w	GV	GA	GW	Wirk. Grad	cos φ
10.6	1.9	20	6	—	—	—	—	0.30
21.6	4.0	86.4	27.5	13	—	—	—	0.32
32	5.0	160	60	26	—	—	—	0.37
44	8.5	374	125	38	—	—	—	0.33
56	13.5	756	460	44	—	—	—	0.61

Gleichstromkreis belastet:

41	12.7	521	365	27.5	2.9	79.8	22%	0.70
43	13.2	568	395	26.5	3.5	93	24%	0.69
41	14.0	574	410	25	4.3	108	27%	0.71
»	16.0	656	460	24	6.5	156	34%	0.70
40	17	680	540	23	8.3	191	35%	0.79
»	20	800	650	22	11.0	242	37%	0.81
39	25	975	870	19	17.2	327	37%	0.89
»	36	1404	1387	16.5	30	495	36%	0.98
38	42	1596	1575	14.8	35	518	33%	0.99
»	49	1862	1775	12.5	41	513	29%	0.96
»	52	1976	1850	12.0	44	528	29%	0.94
36	61	2196	2125	10	50	500	23%	0.97
35	63	2205	2200	9	52	468	21%	0.99
32	9.8	314	220	18.0	1.9	34	15%	0.70
»	10.5	336	250	17.4	2.3	40	16%	0.74
»	11.3	362	270	16.3	2.8	46	17%	0.75
»	12.8	409	330	15.3	4.0	61.2	18%	0.80
»	18.0	576	465	14.0	7.5	105	22%	0.81
»	23.0	736	630	11.7	11.8	138	22%	0.85
31	29	899	775	9.6	18	173	22%	0.86
»	32	992	830	9.0	20	180	22%	0.84
»	37	1147	1010	7.0	26	182	18%	0.88
»	44	1364	1175	5.7	32	182	16%	0.87

Die an früherer Stelle erwähnte Beobachtung, dass bei länger dauernder Belastung die Drosselwirkung abnimmt und bei sinkendem Nutzeffekt im Gleichstromkreise die wahren und

scheinbaren Watt im Wechselstromkreise immer zunehmen, findet sich ebenfalls deutlich bestätigt durch nachfolgende Messungen mit einer kleinen Umformerbatterie, die ursprünglich zur Ladung einer 7-zelligen Akkumulatorenbatterie von 22 A. St. Kapazität dienen sollte, sich aber dazu als unbrauchbar erwies. Jede der 4 Zellen der kleinen Batterie enthielt 4 parallel geschaltete Aluminiumbleche und 4 parallel geschaltete Bleiplatten; wirksame Al-Oberfläche einer Zelle = 8.4 dm^2; wirksame Bleioberfläche 8 dm^2; Abstand der Platten ca. 1 cm; Inhalt einer Zelle: 2.5 Liter Alaunlösung.

VI. Messreihe.

Ladung von 7 Akkumulatoren.

WV	WA	WW^s	WW^w	GV	GA	GW	Wirk. Grad	cos φ	Temp. der Zellen	Zeit
30	18	540	400	18.0	2.6	47	12%	0.74	20° C.	9^h 4 Min
»	21.5	645	500	17.8	2.0	36	7%	0.77	23° C.	9^h 12 »
»	24	720	550	17.8	2.0	36	6%	0.79	27.5° C.	9^h 14 »
»	27.5	825	660	17.2	1.9	33	5%	0.80	35° C.	9^h 17 »
»	30	900	720	17.0	1.6	27	3%	0.80	39° C.	9^h 20 »

VII. Messreihe.

Ladung eines Akkumulators mit ca. 1 Ohm Vorschaltwiderstand.

21	3.2	67	25	15	0	0	0	0.37	22.5° C.	1^h 48 »
21.2	8.0	170	150	6.4	3.3	21	14%	0.88	—	1^h 50 »
21.0	10.8	226	180	6.1	3.1	19	11%	0.80	—	1^h 52 »
»	12.5	262	220	5.8	3.0	17.4	8%	0.84	26° C.	1^h 55 »
»	14.0	294	245	5.8	2.9	16.8	7%	0.83	28° C.	2^h 00 »
»	16.0	336	290	5.7	2.8	15.9	6%	0.86	30° C.	2^h 07 »
20.5	16.5	338	295	5.7	2.6	14.8	5%	0.88	33.5° C.	2^h 14 »
20.8	17.5	364	305	5.7	2.6	14.8	4.8%	0.84	36° C.	2^h 19 »
20.7	19	393	325	5.7	2.6	14.8	4.6%	0.83	39° C.	2^h 26 »
20.7	20	414	350	5.7	2.7	15.3	4.4%	0.84	41.5° C.	2^h 31 »
21.0	21.5	451	370	5.9	2.8	16.5	4.4%	0.82	44° C.	2^h 36 »
20.8	22	457	380	5.9	2.7	15.9	4.2%	0.83	46° C.	2^h 39 »
21.0	23	483	395	5.8	2.7	15.6	4.0%	0.82	50° C.	2^h 48 »