

Ueber Condensatoren im Allgemeinen und specielle Beschreibung des Normalcondensators des eidgenössischen Polytechnicums.

Von

Heinr. Schneebeil.

Bei Anlass der Untersuchung eines neuen Kabelsystems bot sich mir die Gelegenheit, an Condensatoren in umfassender Weise Vergleichen anzustellen. Die Bestimmung der Capacität spielt bei Kabelvergleichen eine Hauptrolle. Sieht man von directen absoluten Capacitätsmessungen ab, so bildet die indirecte Bestimmung, resp. Vergleichung, der Capacität von Kabelstücken mit einem Normalcondensator eine der einfachsten physikalischen Operationen, vorausgesetzt, dass der Normalcondensator in der That die von der Theorie vorausgesetzten Bedingungen erfülle.

Im Anfange der Untersuchung stunden mir zu Gebote Nr. 1: ein Condensator unseres Laboratoriums (Dielectricum besteht aus paraffinirtem Papier, die Belegung aus Staniolblättern) und Nr. 2 ein Condensator aus Paris nominell von der Capacität $= \frac{1}{2}$ Microfarad. Es zeigten indessen schon ganz rohe Versuche, dass mit diesen beiden Apparaten auch nicht annähernd genaue Bestimmungen möglich waren, da ihre Capacität sowohl von Ladungszeit, Werth des ladenden Potentials, Temperatur und andern Umständen in der erheblichsten Weise abhängig gefunden wurde.

Für die Untersuchung der obigen Kabel wurde daher die Capacität direct in absolutem Masse nach später zu

beschreibenden Methoden bestimmt, aber zu gleicher Zeit eine eingehende Prüfung von Condensatoren verschiedener Herkunft vorgenommen, bei welchen Operationen die Herren stud. Denzler und Zeller mit thätig waren.

Die in erster Reihe untersuchten Condensatoren waren, ausser den beiden schon genannten, noch fünf andere, die ich mit den fortlaufenden Nummern bezeichnen will:

Nr. 3. } Englische Condensatoren zu Messungen be-
 Nr. 4. } stimmt;
 Nr. 5. }

Nr. 6. Paraffinpapiercondensator (nicht zu Messungen bestimmt);

Nr. 7. Kabel, System Berthoud, Borel et Cie. (Dielectricum: In Paraffin gesottene Baumwolle und Colophonium).

Ich beginne die Besprechung der erhaltenen Resultate mit Nr. 1, unserm Paraffincondensator, der die schönsten Variationen zeigte. Bevor ich aber specielle Resultate gebe, mögen noch folgende allgemeine Bemerkungen Platz finden. Einige Vorversuche zeigten, wie schon erwähnt, sofort, in welcher Richtung die in den Condensatoren verwendeten Dielectrica zu untersuchen seien und zwar stellte es sich heraus, dass dieselben wesentlich in folgenden Punkten geprüft werden müssen:

1. Einfluss der Ladungsdauer auf die Grösse der Ladung und die electricischen Rückstände;
2. Einfluss der Grösse des ladenden Potentials;
3. Einfluss der Temperatur;
4. Untersuchung der Rückstände;
5. Prüfung des Isolationsvermögens des Dielectricums.

Die Grösse der Ladung der Condensatoren wurde bestimmt durch den Entladungsintegralstrom.

Condensator Nr. 1.

Als Dielectricum diente mit Paraffin getränktes Papier. Er besteht aus 54 Blättern von circa 34^{cm} auf 53^{cm}. In erster Linie wurden ausführliche Versuchsreihen angestellt, um die Abhängigkeit seiner Capacität von der Ladungsdauer zu bestimmen. Als ladende Electricitätsquelle wurden Daniell'sche Elemente benützt, die mit folgenden Flüssigkeiten gefüllt waren:

Zinkvitriollösung von 1,15 spec. Gewicht
und Kupfervitriollösung von 1,15 spec. Gewicht.

Ein so zusammengesetzter Daniell zeigt sozusagen eine absolut constante electromotorische Kraft.

Abhängigkeit der Capacität von der Ladungsdauer.

Ladendes Potential = 1 Daniell.

Ladungsdauer	Galvanometerausschlag	
	I. Reihe	II. Reihe
1 Secunde	135,2	131,9
2 "	156,5	156,5
3 "	170,3	173,9
4 "	189,2	188,8
5 "	204,7	204,4
6 "	215,8	217,8
7 "	229,0	232,0
8 "	239,4	240,7
9 "	249,4	255,2
10 "	264,2	262,5
15 "	278,6	289,3
20 "	297,6	312,3
25 "	—	332,9
30 "	328,7	341,9
40 "	—	365,6
50 "	—	385,6

Ladungsdauer	Galvanometerausschlag	
	I. Reihe	II. Reihe
60 "	368,7	404,2
80 "	—	416,6
120 "	401,8	427,8
240 "	427,9	458,7
300 "	—	468,6
900 "	—	482,6
2800 "	—	491,7
3780 "	—	507,4
9420 "	513,7	—
11000 "	—	535,4

Ich füge nur eine Versuchsreihe mit einem zweiten Potentialwerth hinzu, um zu zeigen, dass für diesen Condensator auch nicht im Entferntesten die Ladung proportional dem ladenden Potential zunimmt.

Ladendes Pontential = 2 Daniell.

Ladungsdauer	Galvanometerausschlag
1 Secunde	316,5
3 "	466,0
5 "	562,0
7 "	626,0
9 "	678,0

Die in dem Condensator vorhandene Electricitätsmenge varirt in der erheblichsten Weise mit der Ladungsdauer; wie aus obigen Reihen hervorgeht, schwankt der Entladungsintegralstrom, je nach der Dauer der Ladung, um mehr als seinen vierfachen Werth.

Folgende zwei Tabellen zeigen aber zur Evidenz, dass für diesen Condensator von einer bestimmbaren Capacität nicht gesprochen werden kann.

Der Condensator wurde geladen und nachher entladen und sich selbst überlassen; es zeigte aber seine Belegung bald nach der ersten Entladung wieder eine Ladung, ja sogar nach zehn und mehr auf einander folgen-

den Entladungen war der Condensator immer noch mit einer bedeutenden Menge Electricität versehen.

In den beiden folgenden Tabellen sind die aufeinander folgenden Rückstände angegeben, wie sie je in Intervallen von zwei Minuten nach der ersten Entladung erhalten wurden.

Rückstände bei verschiedenen Ladungszeiten und Potentialdifferenzen.

		Ladendes Potential = 2 Daniell.						
Ladungszeit =		1 ^m	2 ^m	3 ^m	4 ^m	5 ^m	6 ^m	2 ^h 25 ^m
Rückstände je in Intervallen von 2 Minuten	}	152,2	190,7	212,0	224,0	234,0	246,7	556,0
		103,0	136,0	163,0	170,0	183,3	177,1	383,0
		85,4	113,0	131,0	136,7	148,0	143,1	344,0
		75,2	98,9	114,7	114,5	128,2	121,0	319,0
		67,7	90,5	104,0	101,5	112,0	105,0	296,8
		63,3	81,0	94,7	91,5	102,6	92,5	275,0
			73,9	84,6	83,0	93,2	84,9	262,3
			70,0	78,0	76,0	86,5	77,8	253,8
				73,0	70,5	78,0	72,8	239,6
				68,8	66,3	72,8	68,0	229,5
			64,0	68,4		222,0		

Sogar das ladende Potential von bloss 1 Daniell bewirkt schon bedeutende Rückstände, wie folgende Tabelle beweist:

		Ladendes Potential = 1 Daniell.	
Ladungszeit =		2 ^h	1 ^h 45 ^m
Rückstände je in Intervallen von 2 Minuten	}	134,2	126,0
		109,7	102,0
		98,9	90,0
		89,5	83,0
		82,0	76,9
		77,0	70,7
		73,0	66,3
		69,2	63,5
		66,3	60,0
		64,2	57,0

Vorstehende beide Tabellen zeigen, dass der erstmalige Entladungsintegralstrom absolut kein Mass ist, für die in diesem Condensator befindliche Electricitätsmenge; es ist die bei der ersten Entladung herausfliessende Electricitätsmenge nur ein kleiner Bruchtheil der in den Condensator eingedrungenen Electricität.

Ich habe für diesen Condensator etwas ausführlichere Daten angegeben, da alle andern, wenn auch in etwas geringern Masse, ein gleiches Verhalten zeigen.

Condensator Nr. 2.

Der Condensator Nr. 2 ist bezeichnet als «un demi microfarad» macht also Anspruch auf den Namen «Messapparat». Im Folgenden finden sich die Versuchsergebnisse, die an ihm erhalten wurden.

Einfluss der Ladungszeit.

Ladendes Potential = 1 Daniell.

Ladungszeit	Ausschlag
2 Secunden	147,1
5 "	150,2
10 "	151,5
20 "	153,6
30 "	155,4
60 "	157,7
5 Minuten	158,5
17 "	159,2

Einfluss des ladenden Potentialwerthes.

Temp. = 21°,3.

Ladendes Potential	Ausschlag	Ausschlag pro Daniell
1 Daniell	35,5	35,5
2 "	70,4	35,2
3 "	105,4	35,1
4 "	139,5	34,9
5 "	173,1	34,6
6 "	206,7	34,4
7 "	241,5	34,5
8 "	275,3	34,4
9 "	308,5	34,3
10 "	342,5	34,25

Isolation.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Ladungsdauer = 1 Minute.
Temp. = 16°,1.

Isolationsdauer	Ausschlag
0 Secunden	171,4
5 „	167,8
10 „	163,1
20 „	154,5
30 „	149,2
1 Minute	131,2
2 „	116,0
5 „	88,3
15 „	71,1

Rückstände bei verschiedenen Ladungsdauern.

Ladendes Potential = 1 Daniell.

Ladungsdauer =	10 Secunden	1 Minute	2 Minuten	5 Minuten	15 Minuten
Rückstände	12,6	27,0	37,5	50,0	58,0
	6,2	10,0	19,8	28,0	39,0
	4,6	7,5	14,5	20,0	30,0
	3,1	6,3	10,0	15,0	23,9
					20,8
					17,2
				16,0	
				13,0	

Einfluss der Temperatur.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Ladungsdauer = 1 Minute.

Temperatur	Ausschlag
circa 0°	158,7
16°,3	172,3
circa 30°	205,6

Aus den mitgetheilten Tabellen geht hervor, dass dieser Condensator schon viel bessere Eigenschaften besitzt als Nr. 1; aber den Namen «Messapparat» verdient er nicht.

Condensator Nr. 3.

Dieser Condensator ist ein sehr hübsch ausgestattetes Cabinetsstück. Er erlaubt beliebige Capacitäten in Intervallen von 0,001 zwischen 0,001 und 1 Microfarad durch Stöpselung herzustellen in ähnlicher Weise wie es bei den Widerstandssätzen geschieht.

Ich gebe im Folgenden die Resultate, wie sie die Untersuchung geliefert hat.

Vergleichung der einzelnen Stücke.

Ladendes Potential = 4 Daniell. Temp. = 21°,8.

Combinirte Stücke	Ausschlag	Nomineller Werth in Bruchtheilen des Ganzen
$1,0=0,5+0,2+0,1+0,1+0,05+0,02+0,01+0,01+0,005+0,002+0,002+0,001$	252,9	252,9
$0,5=0,2+0,1+0,1+0,05+0,02+\dots 0,001$	123,9	126,5
$0,5=0,5$	124,0	126,5
$0,25=0,2+0,05$	60,8	63,3
$0,25=0,1+0,1+0,05$	64,1	63,3
$0,2=0,1+0,1$	50,2	50,6
$0,2=0,2$	47,2	50,6
$0,1=0,1^1$	25,8	25,3
$0,1=0,1^{11}$	24,3	25,3

Einfluss der Ladungszeit.

Temp. = 21°,0.

Ladendes Potential = 4 Daniell. Ladendes Potential = 2 Daniell.

Ladungsdauer	Ausschlag	Ladungsdauer	Ausschlag
2 Secunden	130,6	5 Secunden	65,5
4 "	131,4	15 "	66,1
8 "	132,9	30 "	66,7
10 "	133,2	1 Minute	67,2
15 "	133,8	30 "	71,1
30 "	134,7	3 Stunden	74,2
1 Minute	135,6		
6 "	139,0		

Rückstände bei verschiedenen Ladungsdauern.

Ladendes Potential = 2 Daniell. Temp. = 21°,3.

Ladungsdauer =	5 Sec.	15 Sec.	30 Sec.	1 Min.	30 Min.	3 Stdn.
Erster Ausschlag	65,6	66,1	66,7	67,2	71,1	74,2
Rückstände	12,0	13,5	15,0	15,9	24,1	26,0
	11,0	12,4	14,0	14,6	20,0	24,0
	10,4	11,5	13,0	13,5	19,0	23,0

Einfluss des ladenden Potentials.

Ladendes Potential	Ausschlag	Ausschlag pro Daniell
1 Daniell	33,5	33,5
5 „	164,7	32,9
10 „	323,5	32,35

Isolation.

Isolationsdauer	Ausschlag
0 Secunden	96,3
5 „	94,0
10 „	92,8
15 „	92,0
60 „	84,0

Die Ungenauigkeit der Unterabtheilungen als Bruchtheile des Ganzen, sowie die electricischen Eigenschaften des angewandten Dielectricums entsprechen keineswegs dem glänzenden Aeussern und darf auch dieser Condensator nicht als Messapparat bezeichnet werden.

Viel besser zeigte sich der

Condensator Nr. 4.

Es ist dies ein Condensator mit der Capacität von angeblich 1,49 Microfarad.

Die Untersuchung ergab:

Einfluss der Ladungszeit.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Temp. = 16°0.

Ladungszeit	Ausschlag
2 Secunden	387,2
5 "	388,5
10 "	391,6
20 "	393,0
30 "	393,4
60 "	394,2
5 Minuten	394,9
15 "	395,8

Rückstände bei verschiedener Ladungsdauer.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Temp. = 16°3.

Ladungsdauer =	10 Secunden	1 Minute	5 Minuten	15 Minuten
Rückstände	11,5	22,0	31,2	45,6
	7,0	8,2	14,2	16,0
	5,8	6,3	10,2	11,0
	5,1	4,9	8,6	9,4

Isolation.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Ladungszeit = 1 Minute.
Temp. = 16°6.

Isolationsdauer	Ausschlag
0 Secunden	389,1
5 "	388,3
10 "	386,2
20 "	381,6
30 "	378,8
45 "	375,1
1 Minute	371,5
2 "	361,1
5 "	332,9
15 "	265,4

Das Dielectricum, das in diesem Condensator Verwendung fand, zeigt wesentlich bessere Eigenschaften als die früher untersuchten, indessen wird er noch übertroffen von dem

Condensator Nr. 5.

Der Condensator Nr. 5 stellt in seiner Gesamtheit eine Capacität von 1 Microfarad dar und besteht aus vier Unterabtheilungen mit den nominellen Capacitäten von 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 Microfarad. Die folgenden Tabellen zeigen, dass derselbe sich allen Anforderungen, die man an einen Condensator stellen muss, nähert, ohne aber dieselben vollständig zu erfüllen.

Relative Werthe der Unterabtheilungen.

Angeblicher Werth	Wirklicher Werth
1,0	1,00
0,4	0,397
0,3	0,3003
0,2	0,205
0,1	0,0997

Einfluss der Ladungszeit.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Temp. = 17°,0.

Ladungszeit	Ausschlag
5 Secunden	275,3
10 "	275,9
20 "	276,1
30 "	276,4
1 Minute	276,9
5 "	278,1
90 "	279,0

Rückstände bei verschiedenen Ladungsdauern.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Temp. = 16°,7.

Ladungszeit =	1 Minute	5 Minuten	10 Minuten	90 Minuten
Rückstände	5,9	7,2	8,5	9,0
	5,1	5,5	6,5	6,7
	3,6	3,6	3,9	6,2
	2,5	2,9	3,0	5,9

Isolation.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Ladungsdauer = 1 Minute.
Temp. = 16°,6.

Isolationsdauer	Ausschlag
0 Secunden	274,4
5 "	273,1
10 "	272,4
20 "	271,5
30 "	270,7
45 "	270,1
60 "	269,4
2 Minuten	267,4
5 "	259,2
10 "	250,1

Ebenso befolgt dieser Condensator mit grosser Annäherung die Proportionalität zwischen ladendem Potential und der Grösse der Ladung. Hingegen varirt seine Capacität in erheblicher Weise mit der Temperatur; zum Belege dienen folgende Zahlen. Der Condensator wurde über Nacht in's Freie gestellt; am Morgen zeigte das Innere der Kiste eine Temperatur von 1°,5 und es gab der Condensator einen Ausschlag von 397 Scalentheilen, während vorher und nachher bei Zimmertemperatur von circa 20° der Ausschlag unter sonst gleichen Umständen 426 Scalentheile betrug.

Condensator Nr. 6.

Der Condensator Nr. 6, deutschen Ursprungs, macht keinen Anspruch als Messapparat; er hat nur den Zweck, bei gewissen Versuchen irgend eine Capacität darzustellen. Er wurde bloss untersucht, um die Eigenschaften des verwendeten Dielectricums, paraffinirtes Papier, kennen zu lernen. Wie zu erwarten war, zeigt derselbe, wie aus den folgenden Zahlen hervorgeht, ganz ähnliche Eigenschaften wie Nr. 1.

Einfluss der Ladungszeit.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Temp. = 16°, 1.

Ladungsdauer	Ausschlag
2 Secunden	263,0
5 "	267,8
10 "	271,6
20 "	274,1
30 "	276,0
1 Minute	277,4
2 "	278,8
5 "	279,8
15 "	280,7

Rückstände bei verschiedenen Ladungsdauern.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Temp. = 16°, 6.

Ladungsdauer =	10 Secunden	1 Minute	2 Minuten	5 Minuten	15 Minuten
Rückstände	15,0	37,0	44,5	59,9	71,4
	6,0	12,8	18,2	28,0	36,0
	4,0	8,0	10,6	16,8	24,8
	2,5	5,1	8,6	12,7	20,0
					16,4
					13,1
					11,7
					10,0
					9,0

Isolation.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Temp. = 16°, 6.

Ladungsdauer = 1 Minute.

Isolationsdauer	Ausschlag
0 Secunden	276,3
5 "	272,7
10 "	270,9
20 "	264,2
30 "	261,0
45 "	254,0
60 "	246,2
2 Minuten	233,1
5 "	199,2
15 "	170,3

Condensator Nr. 7.

Zum Schluss gebe ich noch einige Zahlen, die an einem Kabel, System Berthoud Borel & Cie., erhalten wurden. Um das Dielectricum zu definiren entlehne ich der Beschreibung dieses neuen Kabelsystems Folgendes:

«Le conducteur de cuivre est entouré de trois couches de coton; le tissage du coton terminé, le fil est plongé, pendant une heure, dans un bain de paraffine à une température de 180°. On le débarrasse ainsi de l'humidité et de l'air qui se trouvent dans le coton lequel s'imbibe de paraffine. Ensuite le câble est passé sous une presse puissante qui le recouvre d'un tuyau de plomb, les interstices entre le plomb et le câble étant remplis hermétiquement au moyen de colophane.

Ainsi donc, l'enveloppe isolante consiste en *coton bouilli dans de la paraffine et en colophane.*»

Einfluss der Ladungsdauer.

Ladendes Potential = 5 Daniell. Temp. = 18°,8.

Ladungsdauer	Ausschlag
1 Secunde	85,55
2 " "	84,95
3 " "	86,70
4 " "	87,10
5 " "	87,55
10 " "	87,85
20 " "	88,30
40 " "	88,85
50 " "	89,00
60 " "	89,00
12 Minuten	89,00

Einfluss des ladenden Potentials.

Ladungsdauer = 1 Minute. Temp. = 18°,0.

Ladendes Potential	Ausschlag	
	absolut	pro Daniell
1 Daniell	17,9	17,9
2 „	35,6	17,8
3 „	52,9	17,6
4 „	70,8	17,7
5 „	88,4	17,7
6 „	106,0	17,7
7 „	123,0	17,6
8 „	141,7	17,7
9 „	159,6	17,7
10 „	177,2	17,7

Isolation.

Ladendes Potential = 5 Daniell. Ladungsdauer = 1 Minute.

Temp. = 19°,5.

Isolationsdauer	Ausschlag
0 Secunden	88,9
5 „	87,8
10 „	86,6
20 „	83,8
30 „	82,9
50 „	81,2
1 Minute	78,6
2 „	74,0
3 „	64,8
4 „	64,5
5 „	56,8
10 „	51,8

Einfluss der Temperatur.

Ladendes Potential = 5 Daniell. Ladungsdauer = 1 Minute.

Temperatur	Ausschlag
circa 0°	76,0
19°,5	88,9
circa 30°	96,0

Der Einfluss der Temperatur ist auch bei diesem Dielectricum ein sehr bedeutender. Nehmen wir an, es seien in diesen Temperaturgrenzen die Capacitätsvariationen proportional den Temperaturschwankungen, so beträgt die Capacitätsvermehrung per Grad Temperaturerhöhung: 0,80 %.

Schlussbemerkung: Keines der untersuchten Dielectrica ist ganz geeignet zur Herstellung eines zu genauen Messungen fähigen Condensators. Am besten zeigt sich unter den geprüften der Condensator Nr. 5.

Dieselben Schwierigkeiten sind dem Committee of the B. A. aufgestossen; Alle von ihm untersuchten festen Dielectrica zeigten ein mehr oder weniger ausgeprägtes Absorptionsvermögen. Condensatoren mit Luft als Dielectricum waren beinahe unmöglich herzustellen, da Spuren von Staub, die fast unvermeidlich sind, den Ausgleich der Electricitäten bewirken. Es gab es schliesslich auf, einen Standard für Capacität herzustellen und Jenkin beschränkte sich daher auf die Bestimmung eines Condensators mit Micaplatten*) in absolutem Masse, schreibt aber seiner Bestimmung keinen genauen wissenschaftlichen Werth bei. Sein Condensator gab bei kurzer Ladungszeit einen Ausschlag von 156 Scalentheilen, bei einer Ladungsdauer von fünf und mehr Secunden stieg der Ausschlag bis auf 166 Scalentheile, also ein ähnliches Verhalten, wie es die von uns untersuchten zeigten.

Nachdem wir auf diese Weise festgestellt hatten, dass weder Paraffinpapier noch Mica als Dielectricum in

*) Ueber einen Condensator mit Micaplatten als Dielectricum, der in unserem Laboratorium gebaut und untersucht wurde, wird später referirt werden.

genauen Condensatoren verwendbar sind, griffen wir zu einem neuen Dielectricum, dem Hartgummi.

Hartgummicondensator des eidgenössichen Polytechnicums.

Der Hartgummicondensator, der in unserem Institut gebaut wurde, enthält 96 Hartgummiplatten mit circa $\frac{2}{3}$ Qm. mit Staniol belegter Fläche und einer mittleren Dicke von $0,6^{\text{mm}}$. Die Platten wurden während längerer Zeit in einem trockenen, sonnigen Raume ausgelegt und mehrere Mal sorgfältig abgerieben, da es sich gezeigt hatte, dass bei einem erstmaligen Zusammenstellen die Isolationsfähigkeit eine nicht so bedeutende war, wie man von diesem Material wohl erwarten durfte. Die später anzuführende Tabelle über das Isolationsvermögen unseres Condensators beweist, dass unser Erwarten ein gerechtfertigtes war. Der neue Condensator wurde nun in gleicher Weise, wie die oben erwähnten, nach den verschiedenen Richtungen untersucht.

Abhängigkeit der Ladung von dem ladenden Potential.

Der Werth der ladenden electromotorischen Kraft wurde varirt zwischen $\frac{1}{200}$ bis 3 des oben beschriebenen Normaldaniell. Höhere Potentialwerthe wurden aus später zu erörternden Gründen ausgeschlossen. Die Bruchtheile des Normaldaniell wurden in bekannter Weise durch Abzweigung erhalten.

Die Versuche ergaben: Innerhalb der Grenzen, in welchen das ladende Potential varirt wurde, ist die Ladung stets proportional dem ladenden Potential.

Ich unterlasse Zahlen anzuführen, da die beiden Gruppen für die kleinern und grössern Potentialwerthe nicht genau aufeinander reducirbar sind.

Einfluss der Ladungsdauer.

Ladendes Potential = 1 Daniell. Temp. = 20°,2.

Ladungsdauer	Ausschlag
Sehr kurz	373,6
1 Secunde	374,0
5 "	374,9
10 "	375,3
20 "	375,6
30 "	375,8
60 "	355,8

Aus der Tabelle folgt: Die Ladung des Condensators ist unabhängig von der Ladungsdauer, sobald letztere zehn oder mehr Secunden beträgt und selbst in dem Falle, wo die Ladung momentan oder während einer Minute geschieht, beträgt der Unterschied bloss etwa $\frac{1}{2}$ 0/o. Als Ladungszeit wurde deshalb für die absoluten Bestimmungen stets zehn Secunden gewählt.

Rückstände.

Rückstände waren bloss zu constatiren, wenn die ladende Electricitätsquelle längere Zeit mit dem Condensator in Verbindung stand. Es wurde z. B. erhalten:

Ladungszeit	Ausschlag	
Sehr klein	0	} Rückstände nach 1 Minute von der ersten Entladung gerechnet.
1 Secunde	0	
5 "	0	
20 "	2,0	
60 "	3,0	

Rückstände sind also keine vorhanden, wenn die Ladungsdauer nicht zu gross gewählt wird. Freilich werden die Rückstände bei grössern Potentialdifferenzen auch schon bei kürzerer Ladungsdauer fühlbar, man vermeide daher bei einem solchen Condensator, denselben mit grossen

electromotorischen Kräften längere Zeit in Berührung zu lassen.

Isolationsvermögen des Dielectricums.

Unser Hartgummicondensator besitzt ein sehr hohes Isolationsvermögen, wie folgende Tabelle zeigt:

Isolationsdauer	Ausschlag
0 Secunde	370,5
5 "	369,5
10 "	368,0
20 "	365,9
60 "	360,5

Einfluss der Temperatur auf die Capacität des Hartgummicondensators.

Der Condensator wurde letzten Winter während einer Nacht im Freien gelassen, am Morgen war die Lufttemperatur $3^{\circ},5$ und es ergab der Condensator mit einem Normaldaniell geladen, einen Ausschlag von 380,7 Scalentheilen. Vor und nachher war der Ausschlag bei Zimmertemperatur von 22° 406,3 Scalentheile.

Nehmen wir an, die Capacitätsänderung erfolge in diesen engen Temperaturgrenzen proportional der Temperaturänderung, so würde einer Temperaturerhöhung von 1° eine Capacitätsvermehrung von 0,37 % entsprechen.

Die Capacität unsers Condensators varirt also ziemlich bedeutend mit der Temperatur und es ist daher nothwendig, dass bei genauen Messungen der Condensator sich in einem Raum befinde, wo die Temperatur keinen raschen Schwankungen unterworfen ist.

Fassen wir kurz die Resultate, die an dem neuen Dielectricum erhalten wurden, zusammen, so können wir sagen: Ein Hartgummicondensator erfüllt alle Anforderungen (wenigstens für kleinere Potential-

differenzen), die man an einen Condensator, der zu genauen Messungen dienen soll, stellen muss.

Die Capacität unseres Condensators wurde nach zwei resp. drei verschiedenen Methoden in absolutem electromagnetischem Masse bestimmt.

Absolute Capacitätsbestimmung in electromagnetischem Masse.

Unter Capacität eines Condensators versteht man diejenige Electricitätsmenge, welche er aufnimmt, wenn er mit einer Electricitätsquelle vom Potential $P = 1$ geladen wird, also:

$$C = \frac{L}{P}$$

Das allgemeine Verfahren zur Bestimmung der absoluten Capacität eines Condensators besteht kurz in folgendem: Es wird zuerst diejenige Electricitätsmenge e bestimmt, welche durch ein gegebenes Galvanometer fließend an demselben die Ablenkung von einem Scalentheil hervorbringt. Alsdann wird der Condensator mit einer bekannten electromotorischen Kraft P geladen und nachher durch dasselbe Galvanometer, welches jetzt einen Ausschlag von x Scalentheilen geben wird, entladen.

Es besteht dann die Beziehung:

$$PC = ex$$

woraus

$$C = \frac{ex}{P}.$$

Zur Bestimmung von e sind wir nach zwei wesentlich verschiedenen Methoden verfahren:

1) Mit Hülfe der Voltainduction, indem wir ein Verfahren einschlugen, das H. F. Weber für seine bekannten Inductionsrollen angab.

2) Mit Hülfe des Erdinductors.

I. *Mit Hilfe der Voltainduction.*

Theorie der Methode.

Wird ein Stromkreis geöffnet oder geschlossen, so entsteht in einem benachbarten geschlossenen Kreise ein Integralstrom:

$$\int idt = \frac{P_0 J_0}{W}$$

worin bedeuten:

P_0 das gegenseitige electrodynamische Potential der beiden Kreise aufeinander,

J_0 die Stromstärke im inducirenden Kreise und

W die Summe der Widerstände im inducirten Kreise.

Durch diesen Integralstrom werde an einem Galvanometer, das im inducirten Kreise eingeschaltet ist, ein Ausschlag von a Scalentheilen bewirkt. Die Electricitätsmenge, welche den Ausschlag von einem Scalentheil geben würde, ist daher:

$$e = \frac{P_0 J_0}{W a}.$$

Folglich ist:

$$C = \frac{P_0 J_0 x}{W a P} \quad (\text{I})$$

Zu unsern Bestimmungen benutzten wir zwei kreisförmige Spiralen, die früher H. F. Weber für seine Untersuchungen gewickelt und ausgemessen hatte.

Bestimmung von P_0 . Die beiden Spiralen seien parallel und coaxial aufgestellt.

Bezeichnen wir alsdann mit

D die Distanz der Mittelebenen der beiden Spiralen,

R_1 den mittleren Radius der ersten Spirale,

N_1 die Zahl der Windungen der ersten Spirale,

R_2 den mittleren Radius der zweiten Spirale,

N_2 die Zahl der Windungen der zweiten Spirale,

so ergibt sich für hinlänglich grosse Entfernungen und für kleine Querschnittsdimensionen der von den Windungen erfüllten Räume das electrodynamische Potential der beiden Spiralen zu:

$$P = N_1 N_2 P^1 \quad (\text{I})$$

wo P^1 abkürzungsweise gesetzt ist für

$$P^1 = 4 \pi \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{k} \left\{ \left(2 - k^2 \right) F \left(k, \frac{\pi}{2} \right) - 2 E \left(k, \frac{\pi}{2} \right) \right\} \quad (\text{II})$$

$F \left(k, \frac{\pi}{2} \right)$ und $E \left(k, \frac{\pi}{2} \right)$ bedeuten die beiden elliptischen Integrale erster und zweiter Gattung

$$F \left(k, \frac{\pi}{2} \right) = \frac{\pi}{2} \left\{ 1 + \frac{1^2}{2^2} k^2 + \frac{1^2 \cdot 3^2}{2^2 \cdot 4^2} k^4 + \frac{1^2 \cdot 3^2 \cdot 5^2}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2} k^6 + \dots \right\}$$

$$E \left(k, \frac{\pi}{2} \right) = \frac{\pi}{2} \left\{ 1 - \frac{1^2}{2^2} k^2 - \frac{1^2 \cdot 3}{2^2 \cdot 4^2} k^4 - \frac{1^2 \cdot 3^2 \cdot 5}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2} k^6 - \dots \right\}$$

deren Modul k den Werth hat

$$k = \sqrt{\frac{4 R_1 R_2}{D^2 + (R_1 + R_2)^2}}$$

Als Beispiel wähle ich aus den verschiedenen Reihen folgende Stellung der beiden Rollen:

$$\begin{array}{l} D = 454^{\text{mm}}, 82 \\ R_1 = 152^{\text{mm}}, 36 \quad R_2 = 152^{\text{mm}}, 37 \\ N_1 = 644 \quad N_2 = 643 \end{array}$$

hieraus berechnet sich

$$k = 0,5566170$$

und endlich erhält man P_0 , wenn man bis zum siebenten Glied der Reihen fortschreitet:

$$P_0 = 35053000 \{ \text{mm}^1 \}$$

Andere Bestimmung von P_0 . Der Bequemlichkeit halber berechnete früher H. F. Weber für die beiden obigen Rollen den Werth des gegenseitigen electrodynamischen Potentials für den Fall, wo dieselben direct coaxial auf

einander gelegt werden. In diesem Falle, wo also D klein ist, werden aldann die beiden elliptischen Integrale entwickelt, indem man den complementären Modul k^1 einführt, der mit k durch folgende Gleichung zusammenhängt:

$$k^1^2 = 1 - k^2$$

und nachher die Integration über die beiden mit Windungen erfüllten Räume erstreckt. Hiebei wurde Rücksicht genommen:

- 1) dass streng genommen die Integration durch eine Summation zu ersetzen ist, und
- 2) dass der aufgewickelte Draht der Spiralen mit einer isolirenden Schicht umgeben ist.

Das specifische Potential der beiden Rollen berechnet sich für diese Lage zu:

$$P_0 = 0,0946 \cdot 10^{10} \{ \text{mm}^1 \}$$

Unser Laboratorium ist dadurch in den Besitz eines Apparates gelangt, der erlaubt, in jedem Moment ein bekanntes specifisches Potential mit grosser Schärfe herzustellen.

Bestimmung von J_0 . Die Bestimmung der Stromstärke im inducirenden Kreise geschah in bekannter Weise mit Hülfe einer einfädigen Spiegel-Tangentenboussole. Hierüber ist weiter nichts beizufügen. Je nach der Distanz der beiden Rollen wählte man Stromstärken zwischen 0,7 und circa 2 $\left\{ \frac{\text{mm}^{1/2} \text{ mgr}^{1/2}}{\text{sec}^1} \right\}$.

Bestimmung von W . Der absolute Werth des Widerstandes wurde erhalten durch Multiplication des in Quecksilbereinheiten gemessenen Widerstandes mit der Zahl

$$0,955 \cdot 10^{10} \left\{ \frac{\text{mm}^1}{\text{sec}^1} \right\} .$$

Bestimmung von α und x . Es ist selbstverständlich, dass die Scalenablesungen α und x auf den Sinus des halben Bogens reducirt wurden, sowie dass bei der Bestimmung von J_0 die Scalenablesungen auf Tangenten und richtiges Mass (Millimeter unseres Kathetometers) reducirt waren.

Bestimmung von P . Als ladende electromotorische Kraft diente ein Daniell, der mit folgenden Flüssigkeiten gefüllt war:

Kupfervitriollösung von 1,15 spec. Gewicht,
Zinkvitriollösung von 1,15 spec. Gewicht.

Diese Combination besitzt nach Weber eine electromotorische Kraft von

$$P = 11,06 \cdot 10^{10} \left\{ \frac{\text{mm}^{2/3} \text{mgr}^{1/2}}{\text{sec}^2} \right\}.$$

Die Bestimmungen der Capacität unseres Hartgummi-condensators in absolutem electromagnetischem Masse ergaben auf die Temperatur von 22° reducirt:

1) Mit den parallel und coaxial gestellten Rollen auf grössere Distanzen

$$C = 0,9651 \cdot 10^{-16} \left\{ \frac{\text{sec}^2}{\text{mm}} \right\}.$$

2) Mit den coaxial aufeinandergelegten Rollen:

$$C = 0,9637 \cdot 10^{-16} \left\{ \frac{\text{sec}^2}{\text{mm}} \right\}.$$

II. Mit Hülfe des Erdinductors.

Eine einfache und expeditiv Methode zur Bestimmung der Capacität eines Condensators resp. der Grösse e gründet sich auf den Erdinductor.

Theorie der Methode.

Wird die senkrecht zum magnetischen Meridian gestellte Rolle eines Erdinductors um ihren verticalen Durchmesser um 180° herumgedreht, so wird dadurch in dem Schliessungskreise, in welchem sich dieselbe befindet, ein Integralstrom erzeugt, der seinen Ausdruck findet in der Form:

$$\int idt = \frac{2 HF}{W},$$

wenn wir bezeichnen mit:

H die horizontale Componente des Erdmagnetismus,

F die Windungsfläche des Erdinductors,

W den Gesamtwiderstand des Schliessungskreises.

Dieser Integralstrom bewirke an einem im Schliessungskreise befindlichen Spiegelgavanometer einen Ausschlag von a Scalentheilen. Damit das Galvanometer also bloss den Ausschlag von einem Scalentheil zeigt, müsste durch dasselbe nur die Electricitätsmenge:

$$e = \frac{2 HF}{W a}$$

hindurchfliessen.

Daher ist dann nach Früherm:

$$C = \frac{2 HF x}{W a P}$$

wenn wir mit x den Ausschlag bezeichnen, den der Entladungsstrom des Condensators, der mit dem Potential P geladen war, an dem obigen Galvanometer hervorbrachte.

Resultate.

Der Erdinductor wurde in der mechanischen Werkstätte unseres physikalischen Instituts gebaut. Der Multipliator desselben trägt 678 Windungen in 18 Lagen mit

einem mittlern Durchmesser von 269^{mm} , 38. Die Gesamtsumme der Flächen, welche von den Windungen umschlossen werden, betragen, für jede einzelne Lage besonders berechnet

$$F = 38,662 \cdot 10^6 \square^{\text{mm}}.$$

Die Bestimmung des Widerstandes des Multiplicators ergab bei einer Temperatur von 24° , 8 den Werth 60,15 Quecksilbereinheiten. Das zu den Bestimmungen verwendete Galvanometer ist das schon früher erwähnte Spiegelgalvanometer mit astatichem Nadelpaar und einem Widerstande von 2918 Quecksilbereinheiten bei 17° , 7. Ueber die Bestimmung der Grössen W , a , P , x habe ich weiter nichts hinzuzufügen und verweise desshalb bloss auf das früher Gesagte.

Die horizontale Componente des Erdmagnetismus H wurde in gewohnter Weise gemessen.

Der Werth der Capacität unseres Hartgummicondensators, nach vorstehender Methode bestimmt, ergab sich bei der Temperatur von 22° zu

$$C = 0,9662 \cdot 10^{-16} \left\{ \frac{\text{sec}^2}{\text{mm}} \right\}.$$

Im Mittel aus allen Beobachtungen beträgt also die Capacität unseres Normalcondensators bei der Temperatur von 22° :

$$\underline{C = 0,9650 \text{ Microfarad.}}$$