Richtungen zu führen; aus der Lage der entstehenden Ellipse wurde wieder die Phasendifferenz zwischen den Schwingungen beider Gabeln abgeleitet. Bei jener Stellung des Commutators, bei welcher die Zinken der mitgenommenen Gabel durch die vom stationären Strome umflossenen Elektromagnete angezogen wurden, ergab sich für Ut_{-1} die Phasendifferenz $\alpha = 0,115 +$ (bei den älteren Versuchen a. a. O. mit unmagnetisirter Gabel war die Differenz $0,070 +$). Hiernach wäre der zeitliche Unterschied zwischen Strom und Magnetismus, unter Zugrundelegung unserer bisherigen Annahme, $0,365$. Mit dem Gabelpaare Ut_1 folgte bei obiger Commutatorstellung $\alpha = 0,086 +$ (ältere Versuche $0,091 +$), bei umgekehrter Stromrichtung, wobei also die Zinken der Gabel G_1 von den Elektromagneten abgestoßen wurden, war die Phasendifferenz der Gabeln $\beta = 0,413 -$; demnach zwischen Strom und Magnetismus der Unterschied gemäß α und β resp. $0,336$ und $0,337$. Es findet also mit den oben aus den Versuchen mit Inductionsströmen abgeleiteten Resultaten hinreichende Uebereinstimmung statt.

IV. Ueber den Durchgang starker Inductionsströme durch Flüssigkeiten; von Hermann Herwig.

Bei der folgenden Untersuchung war es ursprünglich mein Plan, die von Hrn. F. Neumann in seiner Ableitung der „allgemeinen Gesetze der inducirten elektrischen Ströme“ ¹⁾ hervorgehobene Reserve für die Anwendung des Ohm'schen Gesetzes bei solchen Strömen rücksichtlich ihrer Gränzen näher zu prüfen. Es mußte zu diesem Zwecke einmal durch die Beschaffenheit des Schließungsweges die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Stromes möglichst verringert

1) Berliner Abhandl. a. d. J. 1845, S. 16.

und andererseits die Veränderung der elektromotorischen Kraft des Inductors während einer bestimmten Zeit möglichst groß gewählt werden. Nachdem, wie ich im Voraus erwartete, die Anwendung eines schwächeren Inductionsapparates in metallischen Schließungskreisen selbst von sehr großem Widerstande keine Abweichungen ergeben hatte, ging ich deshalb, die vorangehenden Versuche nur als Vorprobe betrachtend, zur Anwendung eines großen Stöhrer'schen Inductors und flüssiger Widerstände über. Die gewonnenen Resultate legen jedoch die Vermuthung nahe, daß man es in diesem Falle viel weniger mit einem continuirlichen Hindurchströmen der Electricitäten durch die Flüssigkeiten zu thun hat, als vielmehr mit einer Art Entladung. Wenn damit nun auch der ursprüngliche Standpunkt meiner Frage verrückt war, so verfolgte ich doch die Sache weiter und glaube in dem Ergebniss der Untersuchung einen brauchbaren Beitrag zu unserer Kenntniß von der Electricitätsleitung der Flüssigkeiten erblicken zu müssen.

Es ist bekannt, daß Entladungen, die sogar mit Funkenerscheinung verbunden sind, in sehr schlecht leitenden Flüssigkeiten, z. B. in Terpentinöl, stattfinden können, wenn man zwei mit den Enden der Inductionsrolle verbundene Metallspitzen in diesen Flüssigkeiten einander gegenüber stellt. Die Flüssigkeit kann dabei noch so weit leitend seyn, daß sie den (ja nie mit Funken verbundenen) Schließungsinductionsstrom an einem empfindlichen Galvanometer deutlich anzeigt; und doch geht der gleiche Oeffnungsinductionsstrom mit Funken durch und giebt natürlich zugleich am Galvanometer einen viel stärkeren Ausschlag. Von solchen Funkenentladungen soll nun im Folgenden abgesehen und nur mit relativ großen Querschnitten der in den Stromesweg tretenden Flüssigkeiten operirt werden.

Ich benutzte einen ganz aus Glas bestehenden parallel-pipedischen Flüssigkeitstrog, wie er zu gewöhnlichen Widerstandsmessungen üblich ist, und wählte als Flüssigkeiten käuflichen Alkohol, Gemische von Alkohol-Wasser, Alkohol-Aether und Alkohol-Terpentinöl, endlich sehr ver-

dünnte Zinkvitriollösung, als Elektroden dagegen Platten von blankem Platin, platinirtem Platin und amalgamirtem Zink. Die Einrichtung der Versuche war folgende: Die aus dem Souterrain kommenden Batteriedrähte des primären Stromes führten, parallel verlaufend, zu einem am Beobachtungsplatze stehenden Quecksilberausschalter, dann zu einer feinen Tangentenbussole und Siemens'schen Widerstandsskala, endlich zum Inductor. Die Drähte der Inductionsrolle führten über den Flüssigkeitstrog weg zu einem sehr empfindlichen Spiegelgalvanometer, dessen Angaben von dem entfernten Beobachtungsplatze aus mit Fernrohr und Skala gemessen wurden. Das Galvanometer stand von dem, übrigens symmetrisch mit seinen Enden gegen den Galvanometermagnet gestellten, Inductor 8 Meter entfernt und wurde von dem Eisenbündel desselben durchaus nicht mehr alterirt. Es wurde jetzt der Ausschlag des Galvanometers bei jedesmal einem einzigen Schliessen, resp. Öffnen eines primären Stromes von bestimmter Stärke beobachtet und daraus der Widerstand der Flüssigkeit abgeleitet.

Zu letzterem Zwecke wurden zahlreiche Parallelversuche derselben Art mit verschiedenen selbstgefertigten Drahtrollen gemacht, die bifilar gewickelt waren und an Stelle der Flüssigkeit traten. Die so benutzten Drahtrollen hatten Widerstände zwischen 100 und 10000 Siemens-Einheiten und konnten durch ihre gesammte Verwendung bis zu etwa 22000 S.-E. eingeschaltet werden. Die Inductionsrolle selbst *plus* dem (unbedeutenden) Galvanometerdraht besaß 11900 S.-E. In manchen Fällen benutzte ich noch einen kleineren Inductor, dessen Inductionsrolle *plus* Galvanometerdraht 1130 S.-E. betrug. Bei beiden Inductoren wurde von dem zugehörigen Condensator kein Gebrauch gemacht. Für die stärkeren Ströme wurde statt der eigentlichen Galvanometerumwindungen eine unmittelbar davor fest angebrachte Drahtrolle zum Durchleiten der Ströme verwandt; die damit erzielten Ausschläge betrugen nach immerfort von neuem controllirten Messungen $\frac{1}{7,5}$ der gewöhnlichen Ausschläge.

Bei all diesen Drahtmessungen nun hat sich zunächst ergeben, daß für eine bestimmte elektromotorische Kraft das Einschalten weiterer Drahtwiderstände in genau demselben Maaße die Galvanometerwirkung schwächt, so daß in dieser Richtung das Ohm'sche Gesetz auch bei solchen starken Inductionsströmen volle Gültigkeit hat. Für die verschiedenen elektromotorischen Kräfte der Induction wurde ferner das leicht begreifliche Resultat erhalten, daß dieselben schneller wuchsen, als die primären Stromestärken, da ja die Magnetisirungsfuction des zu dem Inductor gehörigen Eisenbündels anwächst. Für das ganze Intervall der zur Verwendung gekommenen elektromotorischen Kräfte (von der einfachen bis zur 25fachen) betrug dieses Wachsthum etwa 30 Proc. Gerade dieser Umstand machte es nöthig, daß für das ganze Intervall der Messungen Parallelversuche für Draht und Flüssigkeit ausgeführt wurden.

Die Flüssigkeitsmessungen haben dem gegenüber zu den in den folgenden Tabellen niedergelegten Resultaten geführt. Es ist darin außer den in Quadratmillimetern und Millimetern angegebenen Querschnitten q und Distanzen l der Elektroden zunächst der gesammte Flüssigkeitswiderstand R in Siemens-Einheiten verzeichnet und daraus alsdann bestehend der specifische (gegen Quecksilber) Flüssigkeitswiderstand ρ berechnet; bei den Zahlen des letztern ist überall durch eine Million dividirt worden. Die Flüssigkeitswiderstände sind dem oben Gesagten nach so zu verstehen, daß der jedesmal angegebene Widerstand in Drahtform dieselbe Galvanometerablenkung ergeben würde. In einer andern Colonne ist endlich ein Maaß für die elektromotorische Kraft ϵ der Induction gegeben. Hierbei konnte es sich nur um die jedesmaligen gesammten Durchschnittswerthe handeln, da andernfalls eine genaue Untersuchung des zeitlichen Verlaufes der Inductionsströme erforderlich gewesen wäre. Ich habe nun unter ϵ diejenige Anzahl von Grove'schen Elementen jedesmal angegeben, welche in einem Schließungskreise von Draht während

$\frac{1}{100}$ Secunde constant thätig dieselbe Elektricitätsmenge durch jeden Querschnitt getrieben haben würden, wie der Inductionsstoß bei gleichem Schließungskreise. Die Galvanometerablenkung x durch einen solchen nur $\frac{1}{100}$ Secunde dauernden Strom leitet sich bekanntlich aus der definitiven Ablenkung α , die derselbe Strom dauernd fließend hervorrufen würde, und ferner aus der Schwingungsdauer T des Galvanometers und aus dem logarithmischen Decrement λ seiner Schwingungen durch die Formel ab

$$x = \frac{\pi \alpha}{100 T e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\pi}{\lambda}}}$$

Die Bestimmung der obigen Werthe ϵ ist hiernach klar.

Tabelle I.

Alkohol. Elektroden von blankem Platin. Großer Inductor.

No.	ϵ	q	l	R	q	Bemerkungen
		mm	mm	S.-E.	Million.	
1	494,2	2000	5	17907	7163	
2	1050,4			16592	6637	
3	487,2			16950	6780	
4	498,8	16	16	34104	4263	
5	1013,5			31312	3914	
6	398,7			11758	7839	
7	433,9	3	3	11271	7514	
8	423,7			11802	7868	
9	423,7			29640	4560	

Wasser statt des Alkohols.

10 | 401 | 2000 | 13 | 14261 | 2194 |

Etwas des vorigen Alkohols zu diesem Wasser.

11 | 460 | | | 12350 | 1900 |

Dem Volumen nach halb Alkohol und halb Wasser.

12	422	2000	13	15236	2344
13	472,6		5	8302	3321
14	460		2,2	6417	5834
15	777,6			4169	3790
16	777,6		21	21168	2016
17	422			23100	2200

Der frühere Alkohol allein.

No.	ϵ	q	l	R	φ	Bemerkungen
		□mm	mm	S.-E.	Million.	
18	356,1	2000	21	34335	3270	
19	770			32424	3088	
20	379,7			41118	3916	
21	1624			31984	3046	
22	599			34020	3240	
23	935,7			34209	3258	
24	854,3			34335	3270	
25	918,7			35175	3350	
26	920,6	680	3	10760	2439	
27	864,5			11713	2655	
28	905,7			11190	2536	
29	905,7		6	21320	2416	
30	872,5		60,5	180800	2032	
31	890		6	24090	2730	
32	872,5		3,4	13000	2600	
33	183			19516	3903	
34	318,5			16799	3360	
35	905,7			12376	2475	

Tabelle II.

Anderer Alkohol. Meistens großer Inductor; die wenigen mit dem kleinen Inductor erhaltenen Resultate sind eingeklammert. Anfangs blanke Platinelektroden.

No.	ϵ	q	l	R	φ	Bemerkungen
		□mm	mm	S.-E.	Million.	
36	993,6	650	10	51200	3328	
37	(58,4)			(88923)	(5780)	
38	(56,2)		5	(51380)	(6680)	
39	834,2			27770	3611	
40	792,5			28880	3754	
41	752,7		60	268340	2907	
42	266,6	460		351130	2692	
43	942			291910	2238	
44	264		10	70910	3262	
45	1022,6		5	55000	2530	
46	264			36530	3361	
47	1047,2			28710	2641	

Aether (25 Volumprocente) zu dem Alkohol (75 Volumprocente) gemischt.

48 | 1047,2 | 610 | 5 | 25400 | 3098 |

Derselbe Aether allein.

No.	ϵ	q	l	R	q	Bemerkungen
		mm	mm	S.-E.	Million.	
49	1010	610	5		etwa 2000000	

Alkohol (50 Proc.) und Aether (50 Proc.) gemischt.

50	892,4	610	4,5	19490	2642	Von hier ab verdunstet zwischen den einzelnen ziemlich weit auseinander liegenden Versuchsreihen die Mischung in dem Maasse der angegebenen Querschnitte. Mischungsverhältniss deshalb unbek.
51	892,4	570		21000	2660	
52	875,1	540		20833	2500	
53	260,5	520		26913	3110	
54	403,6	480		21957	2342	
55	819,7	450		21313	2131	
56	819,7		60	223720	1678	

Terpentinöl.

57	1083,7	490	5		etwa 700000	
----	--------	-----	---	--	-------------	--

Alkohol (7 Proc.) zu dem Terpentinöl (93 Proc.) gemischt.

58	1054	530	5	6438000	682400	
----	------	-----	---	---------	--------	--

Alkohol (21 Proc.) und Terpentinöl (79 Proc.)

59	1065	630	5	615230	77519	
60	1047		2	337000	106080	
61	424,8			380000	119650	
62	1047		20	2574000	81080	

Alkohol (30 Proc.) und Terpentinöl (70 Proc.)

63	1047	700	20	522400	18284	
64	1011		5	142140	19900	
65	403,6			151140	21160	

Alkohol (43 Proc.) und Terpentinöl (57 Proc.).

66	988,2	530	5	44260	4692	
67	403,6			49310	5227	
68	932,6		20	146440	3879	

Viel Alkohol und wenige Tropfen Terpentinöl.

69	1006	340	6	34270	1942	
----	------	-----	---	-------	------	--

Noch einige Tropfen Terpentinöl zu.

70	981,5			31440	1780	
----	-------	--	--	-------	------	--

Alkohol (91 Proc.) und Terpentinöl (9 Proc.).

71	972	380		30000	1900	
----	-----	-----	--	-------	------	--

Alkohol (80 Proc.) und Terpentinöl (20 Proc.).

No.	ε	q	l	R	ϱ	Bemerkungen
		mm	mm	S.-E.	Million.	
72	955,4	440		28000	2051	
73	268,5			33100	2427	
74	268,5		21	99500	2085	
75	947			87100	1825	

Alkohol (91 Proc.) und Terpentinöl (9 Proc.).

76	1006	380	21	95610	1730	
----	------	-----	----	-------	------	--

Alkohol (65 Proc.) und Terpentinöl (35 Proc.).

77	989,5	445	21	95210	2063	
78	972		6	29280	2220	
79	(61,1)			(47700)	(3616)	
80	(58,2)		3	(23710)	(3599)	

Alkohol (68 Proc.) und Terpentinöl (32 Proc.).

81	(42,7)	490	3	(17490)	(2857)	
82	76,6			27040	4417	
83	94			25100	4017	

Reiner Alkohol.

84	1109,7	530	60	365320	3227	
85	1070		30	190400	3364	
86	1070		9	63510	3740	
87	287			72000	4240	

Von jetzt an platinirte Platinelektroden.

88	193,2	150	5	105910	3177	
89	312,4			92820	2785	
90	746,2			85680	2570	
91	730,9		40	675920	2535	
92	701		10	178500	2677	
93	291,3	115	10	154700	1779	
94	1215,6			148750	1710	
95	1243,5	490		58786	2880	
96	301,9			63427	3108	
97	297	480	40	210630	2527	
98	1263,5			210035	2520	
99	1253		4	21658	2599	
100	290,2			24633	2956	
101	319,4	520	2	24038	6250	
102	502,8			15315	3982	
103	1284,8	500	2	14637	3659	
104	1087,7			14994	3748	
105	1058,6		10	58429	2921	
106	1050		40	221340	2767	
107	1032,2	700		161840	2832	

Von jetzt an platinirte Platinelektroden.

No.	ϵ	q	l	R	q	Bemerkungen
		$\square$ mm	mm	S.-E.	Million.	
108	1012,4	210		522410	2742	
109	1218	175	10	147560	2582	
110	1197	440		68782	3026	
111	1177	640		49861	3191	
112	1157,6		4	23800	3808	
113	270,3			29988	4798	

Tabelle III.

Alkohol, der durch ein Versehen mit einer Spur Zinkvitriollösung verunreinigt war. Grofser Inductor. Blanke Platinelektroden.

No.	ϵ	q	l	R	q	Bemerkungen
		$\square$ mm	mm	S.-E.	Million.	
114	1418	420	30	55216	773	
115	1185	380		56049	710	
116	1311,1			51527	653	
117	1024,1	150	40	80634	302	
118	281,4		5	19159	575	Schließungsströme.
				14994	450	Oeffnungsströme.
119	271,2		2	12792	959	Schließungsströme.
				8687	651	Oeffnungsstr.
120	779,4			7068	530	Schließungsstr.
				5426	407	Oeffnungsstr.
121	900	40	2	9877	198	
122	919,1			9841	197	
123	433,2			14399	288	Schließungsstr.
				11305	226	Oeffnungsstr.
124	280,1			18564	371	Schließungsstr.
				13804	276	Oeffnungsstr.
125	1087,7	100	2,5	12257	490	
126	220,4			27489	1099	Schließungsstr.
				20242	810	Oeffnungsstr.
127	286,6		4,5	44506	989	Schließungsstr.
				35700	793	Oeffnungsstr.
128	433,2			37366	830	Schließungsstr.
				31654	703	Oeffnungsstr.

Tabelle IV.

Sehr wenig Zinkvitriol in Wasser gelöst. Beide Inductoren, die Zahlen für den kleineren eingeklammert. Blanke Platinelektroden.

No.	ϵ	q	l	R	ϱ	Bemerkungen
		mm	mm	S.-E.	Million.	
129	517,8	270	60	2580	11,6	
130	520		20	3120	42,1	
131	515,5		10	2677	72,2	
132	500			2975	80,3	
133	516,5		60	4133	18,6	
134	515,5		10	2880	77,7	
135	500			3201	86	

Jetzt eine größere Zahl von Stromesdurchgängen ohne Messung vorgenommen.

136	489			4000	108	
137	481		60	4600	20,7	

Nach 24stündigem Stehen verdunstet vom Querschnitt 270 auf 250.

138	458,6	250	60	4540	19,1	
139	464,6		10	4020	100,5	
140	62,7			15020	375,6	
141	752,7			1390	34,8	
142	185,7			7600	190	
143	185,7		60	8550	35,7	
144	695,3			3400	14,2	

Nach mehrtägigem Stehen auskrystallisirt, von neuem dasselbe Salz gelöst.

145	557,5	150	10	3249	48,7	Schließungsstr.
				2761	41,4	Oeffnungsstr.
146	(34,5)			(2068)	(31)	Schließungsstr.
				(1741)	(26,1)	Oeffnungsstr.
147	(56,2)			(1887)	(28,3)	Schließungsstr.
				(1545)	(23,2)	Oeffnungsstr.
148	(55,1)		60	(3537)	(8,8)	Schließungsstr.
				(3390)	(8,4)	Oeffnungsstr.
149	554			4260	10,6	
150	540,6		10	3213	48,2	
151	(54,6)			(2125)	(31,9)	Schließungsstr.
				(1593)	(23,9)	Oeffnungsstr.
152	(52,1)		60	(3633)	(9,1)	Schließungsstr.
				(3390)	(8,5)	Oeffnungsstr.
153	(51,5)		10	(1825)	(27,4)	Schließungsstr.
				(1650)	(24,7)	Oeffnungsstr.
154	(16,5)			(3322)	(49,8)	
155	(46,3)			(1808)	(27,1)	Schließungsstr.
				(1672)	(25)	Oeffnungsstr.
156	319,7			4867	73	
157	279,1			5057	75,8	
158	77,4			11364	170,5	

Durch Wasser verdünnt und nur mehr die Hälfte der Lösung benutzt.

No.	ϵ	q	l	R	ϱ	Bemerkungen
		□mm	mm	S.-E.	Million.	
159	153,3	250	10	7140	178,5	
160	330			4880	122	
161	(68)			(2080)	(52)	Schliefs.
				(1670)	(41,8)	Oeff.
162	(51,5)			(2181)	(54,4)	Schliefs.
				(1946)	(48,6)	Oeffn.
163	(58,4)			(2086)	(52,1)	Schliefs.
				(1808)	(45,2)	Oeffn.
164	(67,2)			(1977)	(49,4)	Schliefs.
				(1672)	(41,8)	Oeffn.
165	(22,3)			(3620)	(90,4)	
166	(29,6)			(3160)	(79)	
167	(46,7)			(2486)	(62,1)	Schliefs.
				(2147)	(53,7)	Oeffn.
168	(61,9)			(2226)	(55,6)	Schliefs.
				(1853)	(46,3)	Oeffn.

Nach 24stündigem Stehen etwas verdunstet.

169 | 292,7 | 230 | 10 | 5000 | 115 |

Die früher fortgestellte Hälfte hinzugenommen.

170	246,4	460		4570	210,2
171	374,4			3570	164,2
172	330			4760	218,9
173	324		60	5715	43,8

Tabelle V.

Neue Zinkvitriollösung, ähnlich der vorigen. Beide Inductoren, die Zahlen des kleineren eingeklammert. Anfangs blanke Platinelektroden.

No.	ϵ	q	l	R	ϱ	Bemerkungen
		□mm	mm	S.-E.	Million.	
174	460,8	70	4	4522	79,1	Schliefs.
				2951	51,6	Oeffn.
175	286,8			7616	133,3	Schliefs.
				5236	91,6	Oeffn.
176	(66,2)			(1458)	(25,5)	Schliefs.
				(1186)	(20,7)	Oeffn.
177	(64,4)			(1571)	(27,5)	Schliefs.
				(1212)	(21,2)	Oeffn.
178	(85,7)	60	40	(7164)	(10,7)	Schliefs.
				(6554)	(9,8)	Oeffn.
179	(86,4)		4,5	(1273)	(17)	
180	496			2499	33	

Von jetzt an platinirte Platinelektroden.

No.	s	q	l	R	q	Bemerkungen
		□mm	mm	S.-E.	Million.	
181	444	170	10	1071	18,2	
182	449		60	3760	10,7	
183	449		6	1142	32,4	
184	441			1368	38,7	
185	166,7			2975	84,3	
186	566,3			845	23,9	
187	(36,8)			(1201)	(34)	
188	(28,4)			(1277)	(36,2)	
189	(62,5)			(1040)	(29,4)	
190	400		4	1119	47,5	
191	55			3927	166,9	
192	94,6	160	4	4117	164,7	
193	606,4			1095	43,8	
194	(9,9)			(1356)	(54,2)	
195	(47,8)			(994)	(40)	
196	(47,1)		10	(1401)	(22,4)	
197	(46,8)		40	(2881)	(11,5)	
198	(10,2)			(3288)	(13,2)	
199	(13,4)			(3153)	(12,6)	

Durch Verdunstung während längeren Stehens der Querschnitt verkleinert.

200	115	110	40	5974	16,4
201	161			5831	16
202	377,6			3272	9
203	564			2309	6,3
204	612,5		60	3415	6,2
205	151			5498	10,1
206	193,2			5783	10,6

Von jetzt an amalgamirte Zinkelektroden. Dieselbe Flüssigkeit in einem anderen Glastroge.

207	(26,4)	506	65	(949)	(7,4)
208	(25,7)		11,5	(175)	(8,7)
209	(25,7)		8	(150)	(9,5)

Ein Theil der Flüssigkeit fortgenommen.

210	(24,8)	140	7	(365)	(7,3)
211	(23,9)		14	(757)	(7,6)
212	(16,6)			(881)	(8,8)
213	(48,3)			(582)	(5,8)

Wasser zugegossen.

214	257,5	437	70	2558	16
215	(16,6)			(1921)	(12)

Von derselben Lösung zugegossen.

216	(16,6)	735		(1141)	(11,8)
-----	--------	-----	--	--------	--------

Von derselben Lösung zugegossen.

No.	ϵ	q	l	R	ϱ	Bemerkungen
		mm	mm	S.-E.	Million.	
217	(16,6)	1100		(893)	(14)	
218	(48,3)			(604)	(9,4)	

Lösung fortgenommen.

219	(46,8)	320		(2203)	(10,1)	
220	(66,2)			(2181)	(10)	
221	(34,8)	460	19	(573)	(13,8)	
222	(34,8)	440	50	(1002)	(8,8)	
223	(34,8)	460	10	(521)	(23,9)	

Innerhalb einer jeden dieser Tabellen sind die Resultate in der Reihenfolge verzeichnet, wie sie gewonnen wurden. Jede Nummer entspricht durchweg mehreren hinter einander gemachten Messungen, die, soweit ich nicht im Folgenden speciell darauf aufmerksam mache, übereinstimmende Werthe lieferten. Die wichtigsten Punkte nun, die sich für alle Tabellen gemeinsam ergeben, sind zunächst folgendermaßen zusammenzufassen:

Der spezifische Widerstand der Flüssigkeiten gegen starke Inductionsströme wird im Vergleich mit Drahtwiderständen kleiner,

- 1) wenn die electromotorische Kraft der Induction wächst,
- 2) wenn der Querschnitt der Flüssigkeit abnimmt,
- 3) wenn die Länge der Flüssigkeitsschicht zunimmt.

In Bezug auf den Punkt 2) muß noch bemerkt werden, daß hier die Zahlenverhältnisse etwas unsicher sind, da bei der benutzten Versuchsanordnung die Electroden nicht genau den ganzen Querschnitt des Flüssigkeitstrogcs ausfüllen konnten. Es war vielmehr bei den blanken und platinirten Platinelectroden der wirkliche Flüssigkeitsquerschnitt gegenüber den (in Anrechnung gebrachten) Electrodenflächen wegen seitlichen Nichtanliegens derselben um etwa $\frac{1}{8}$ größer, bei den amalgamirten Zinkelectroden um etwa $\frac{1}{12}$. Dieser Umstand beeinflusst natürlich ebenfalls den Punkt 3) in gewissem Grade. Indessen genügt

ein Blick auf die Tabellen, um erkennen zu lassen, daß die Unterschiede für die verschiedenen Querschnitte und Längen weit über die hierdurch ermöglichte Unsicherheit hinausgehen und die Punkte 2) und 3) also in der obigen Fassung gleichfalls unbezweifelbare Gültigkeit haben.

Die 3 Punkte zusammengenommen schließen nun zunächst die Möglichkeit aus, daß eine bloße Polarisation der Electroden die Erscheinungen erklären könne, wenigstens wenn man diese Polarisation im gewöhnlichen Sinne auffaßt. Eine solche Polarisation würde zwar auch den Widerstand kleiner finden lassen bei wachsender Längsausdehnung der Flüssigkeit, aber der Einfluß einer größer werdenden electromotorischen Kraft und abnehmender Querschnitte könnte höchstens im gerade umgekehrten Sinne der obigen Angaben wirken.

Ich habe nun rücksichtlich der Polarisation noch einige weitere Versuche gemacht und bin dadurch allerdings zu der Folgerung gelangt, daß sie hier eine andere Rolle spielt, als in galvanischen Strömen. Ich will das hierher gehörige kurz zusammenfassen. Zuvörderst ist zu constataren, daß bei Zinkvitriollösung zwischen blanken Platinelectroden schon während der oben beschriebenen Versuche der Einfluß der Polarisation in der Weise zur Geltung kam, daß die Inductionsströme zum Theil eine Neigung zur Abschwächung zeigten. Besonders deutlich tritt dies bei den Versuchen No. 129 bis 137 hervor, die schnell nach einander gemacht wurden; dort ist ein erhebliches stetiges Wachsen der Widerstände in den mitgetheilten Mittelzahlen ausgedrückt und zeigte sich innerhalb jeder Versuchsnummer ebenso. Bei der Zinkvitriollösung verlief auch wohl am Anfange einer Versuchsreihe nach vorangegangener langer Ruhe der erste (nicht in die Tabellen aufgenommene) Schließungsinductionsstrom merklich stärker, als alle folgenden bei gleicher electromotorischer Kraft. Diese folgenden Ströme fanden dann eben schon Gasschichten an den Electroden vor, die der allererste Strom bei frischen Electrodenplatten nicht sogleich antraf.

Man würde diesen Effect offenbar noch sehr steigern können, wenn man nicht, wie gewöhnlich geschah, Schließungs- und Oeffnungsströme stets abwechselnd auf einander folgen, sondern dieselben einseitig wirken liesse. Das habe ich nun mehrfach gethan. So wurde z. B. innerhalb der Versuchsreihe No. 179 folgendes gefunden:

	Ablenkung in Scalentheilen
Schließungsstrom	557
Oeffnungsstrom	555

Jetzt 12 mal den Schließungsstrom durch die Flüssigkeit und den Oeffnungsstrom durch eine daneben angebrachte Drahtleitung geführt, dann durch die Flüssigkeit

Schließungsstrom	462
Oeffnungsstrom	661
Schließungsstrom	543
Oeffnungsstrom	610
Schließungsstrom	559

u. s. f., bald regelmässig.

Hier ist also eine sehr kräftige Polarisationswirkung vorhanden. Dieses selbe Untersuchungsverfahren diene nun dazu, um ein wichtiges Factum festzustellen. Um gerade an das vorangehende Beispiel anzuknüpfen, welches einen mit dem kleinen Inductor angestellten Versuch enthielt, so wurde unmittelbar darauf der Versuch 180 mit dem großen Inductor gemacht und zwar so, daß ein annähernd gleich starker Strom das Galvanometer durchlief. Dabei ergaben sich folgende Zahlen:

	Ablenkung in Scalentheilen
Schließungsstrom	532
Oeffnungsstrom	536

Jetzt 12 mal den Schließungsstrom durch die Flüssigkeit und den Oeffnungsstrom durch die Drahtleitung geführt, dann durch die Flüssigkeit

Schließungsstrom	505
Oeffnungsstrom	540 u. s. f.

Bei ganz denselben Dimensionen der eingeschalteten Flüssigkeit und bei annähernd gleicher Stromstärke ist also

hier die Polarisation bei Anwendung des kleinen Inductors sehr viel größer. Der kleine Inductor hat nun einen inneren Widerstand von 1130 S.-E., wozu der Flüssigkeitswiderstand gemäß der Tabelle V mit der Zahl 1273 tritt, während der große Inductor einen inneren Widerstand von 11900 besitzt und in seinem Schließungskreise die Flüssigkeit sich so verhält, wie ein Drahtwiderstand von 2499. Danach ist klar, daß die ungefähr gleiche Elektrizitätsmenge im Falle des kleinen Inductors viel schneller den Schließungskreis durchläuft, als beim großen Inductor, da bei letzterem das Potential des Stromes auf sich selbst einen sehr viel größeren Werth hat und der weitaus größte Theil des Widerstandes im Inductor selbst liegt. Man hat also zu schließen, *daß die Schnelligkeit, mit welcher eine gegebene Elektrizitätsmenge einen polarisirbaren Flüssigkeitsapparat im starken Inductionsstrome durchfließt, die Größe der Polarisation sehr erhöht.*

Außer in dem angegebenen Beispiele habe ich dieses noch mehrfach constatirt und brauche wohl kaum hinzuzusetzen, daß man dasselbe erhält, wenn man die Elektroden einseitig durch Oeffnungsströme, statt, wie oben, durch Schließungsströme polarisirt.

Die erwähnten Beispiele No. 179 und 180 zeigen nun weiter das sehr beachtenswerthe Resultat, daß im Falle des großen Inductors trotz bedeutend größerer elektromotorischer Kraft der spec. Flüssigkeitswiderstand fast doppelt so groß war, als beim kleinen Inductor, wobei Querschnitt und Länge der Flüssigkeitsschicht in beiden Fällen ganz gleich waren. Die schnellere Ausgleichung des kleinen Inductors bringt also eine stärkere Polarisation und gleichzeitig ein leichteres Durchgehen des Stromes durch die Flüssigkeit mit sich.

Als weitere Beispiele für dieses Verhalten der beiden Inductoren erwähne ich noch für die Zinkvitriollösung

No. 155 mit den Galvanometerablenkungen für den	{ 239	(27,1) ^g
kleinen Inductor	{ 250	(25)
u. No. 156 beim großen Inductor mit Ablenkung	292	73
dann		
No. 160 beim großen Inductor mit Ablenkung	306	122
" 161 " kleinen " " "	{ 333	(52)
	{ 382	(41,8)
endlich		
No. 174 beim großen Inductor mit Ablenkung	{ 428	79,1
	{ 474	51,6
" 175 " " " " "	{ 226	133,3
	{ 257	91,6
" 176 " kleinen " " "	{ 392	(25,5)
	{ 438	(20,7)

In all diesen Fällen hat die elektromotorische Kraft ε bei Anwendung des großen Inductors einen viel größeren Betrag ausgemacht.

Es sind sogar einige Beispiele zu registriren, wo bei erheblich größeren Ablenkungen des großen Inductors der kleine dennoch geringeren spec. Widerstand in der Flüssigkeit lieferte, so

No. 145 beim großen Inductor mit Ablenkung	{ 564	48,7 ^g
	{ 583	41,4
" 146 " kleinen " " "	{ 168	(31)
	{ 187	(26,1)
ferner		
No. 148 beim kleinen Inductor mit Ablenkung	{ 182	(8,8)
	{ 188	(8,4)
" 149 " großen " " "	525	10,6
endlich		
No. 150 beim großen Inductor mit Ablenkung	554	48,2
" 151 " kleinen " " "	{ 259	(31,9)
	{ 309	(23,9)

Dasselbe Resultat, daß eine schneller sich ausgleichende Elektrizitätsmenge geringeren spec. Flüssigkeitswiderstand findet, ist nun auch in ausgedehnter Weise in den Tabellen für Zinkvitriollösung und für den durch Zinkvitriol ein wenig verunreinigten Alkohol gegeben durch die verzeich-

neten Unterschiede zwischen Schließungs- und Oeffnungsströmen. Letztere, als die schneller verlaufenden, haben den kleineren Widerstand. Ich habe in dieser Richtung nur die ausgeprägteren Fälle verzeichnet und in anderen weniger ausgeprägten einfach als einzige Zahl das Mittel aus Schließungs- und Oeffnungsströmen hingeschrieben.

Es sind also zwei gleichzeitig stattfindende Punkte constatirt, einmal, daß der schnellere Verlauf der Inductionsströme die Polarisation, d. h. die Bedeckung der Elektroden mit Gas, wo eine solche stattfindet, reichlicher ergibt, alsdann, daß durch denselben Umstand der spec. Flüssigkeitswiderstand kleiner wird. Wenn man jetzt die sämtlichen beobachteten Erscheinungen auf das Spiel der Polarisation zurückführen wollte, so müßte von derselben angenommen werden, daß sie durch Belegen der Elektroden mit Gas in den erwähnten Fällen das Stromesdurchgehen durch die Flüssigkeit nicht erschwert, sondern erleichtert. Damit wäre ferner allerdings der oben erwähnte günstige Einfluß einer wachsenden elektromotorischen Kraft und einer kleiner werdenden Elektrodenfläche erklärt; bei kleinerer Elektrodenfläche ist die Polarisation ja auch in galvanischen Strömen größer. Daneben wäre aber wohl festzuhalten, daß die Polarisation dennoch ihren Charakter als Gegenkraft bewahrt, wie aus den obigen Abschwächungsversuchen folgt. Es bestände also eine schwer begreifliche Doppelwirkung der Polarisation und es müßten jedenfalls ganz besondere Annahmen über die Rolle, welche die Quantitäten der auftretenden Gase hierbei spielen, hinzugenommen werden. Daraus geht zur Genüge hervor, daß durchaus andere Vorstellungen, als die gewöhnlich mit dem Begriffe der Polarisation verknüpften, zur Erklärung hier herangezogen werden müssen, und werde ich später darauf zurückkommen.

Ich glaube übrigens auch nicht, daß die Bedeckung der Elektroden mit Gas für das Eintreten der vorliegenden Erscheinungen geradezu nöthig ist, sondern nur, daß sie dieselben in der angegebenen Weise sehr begünstigt. Um hierüber Aufklärung zu erhalten, habe ich namentlich noch

die Versuche mit der Zinkvitriollösung zwischen platinirten Platinelektroden und zwischen amalgamirten Zinkelektroden gemacht. Bei beiden Versuchsanordnungen ist nun ein directer Nachweis der Polarisirung in der oben erwähnten Art mit Sicherheit nicht mehr zu führen gewesen, ebenso wenig war auch beim Alkohol zwischen blanken Platin-elektroden die Polarisirung direct nachweisbar. In all diesen Fällen brachten auch innerhalb jeder Versuchsreihe zahlreiche auf einander folgende Inductionsströme stets dieselbe Galvanometerablenkung hervor. Und doch finden die drei allgemeinen Eingangs hervorgehobenen Punkte für den spec. Flüssigkeitswiderstand auch hier statt, wenn auch in nicht so colossalem Maassstabe, wie bei Zinkvitriollösung zwischen blanken Platinplatten. Selbst der Einfluß eines schnelleren Verlaufes des Inductionsstromes, der in den Unterschieden zwischen Schließungs- und Oeffnungsströmen hier nur in geringem Grade sich äußerte, ist durch Vergleichung beider Inductoren deutlich nachweisbar. So zeigte Zinkvitriollösung zwischen amalgamirten Zinkplatten

No. 214 beim grossen Inductor die Ablenkung	274,2	ϵ 16
„ 215 „ kleinen „ „ „	83	(12)

Ferner für Alkohol

No. 81 beim kleinen Inductor die Ablenkung	34,5	(2857)
„ 82 „ grossen „ „ „	29,7	4417
„ 83 „ „ „ „ „	39,2	4017

In diesen Fällen ohne nachweisbare Polarisirung, wo innerhalb jeder Versuchsreihe constante Verhältnisse herrschen, haben die Zahlen nun viel mehr Bedeutung, als in den Fällen entschiedener Polarisirung, die also auch als Gegenkraft die Ströme abschwächt. Ich erlaube mir deshalb die Zahlen für die beiden Präparate von reinem Alkohol nochmals in den folgenden beiden Tabellen geordnet nach den Werthen von q , l und ϵ zusammenzustellen, um eine bessere Uebersicht zu ermöglichen.

Tabelle VI.

Erster Alkohol.

No.	q	l	ε	ρ	Mittel
6	2000	3	398,7	7839	} 7691
8			423,7	7868	
7			433,9	7514	
3	2000	5	487,2	6780	} 6972
1			494,2	7163	
2			1050,4	6637	
9		13	423,7	4560	
4		16	498,8	4263	
5			1013,5	3914	
18		21	356,1	3270	} 3593
20			379,7	3916	
22			599	3240	
19			770	3088	
24			854,3	3270	
25			918,7	3350	
23			935,7	3258	} 3304
21			1624	3046	
27					
27	680	3	864,5	2655	} 2487
28			905,7	2536	
26			920,6	2439	
33		3,4	183	3903	
34			318,5	3360	
32			872,5	2600	
35			905,7	2475	
31			890	2720	
29			905,7	2416	
30		60,5	872,5	2032	

Tabelle VII.

Zweiter Alkohol.

No.	q	l	ε	ρ	Mittel
107	700	40	1032,2	2832	
38	650	5	(56,2)	(6680)	
40			792,5	3754	
39			834,2	3611	
37		10	(58,4)	(5780)	
36			993,6	3328	

No.	q	l	r	ϱ	Mitte
41		60	752,7	2907	
113	640	4	270,3	4798*	
112			1157,6	3808*	
111		10	1177	3191*	
87	530	9	287	4240	
86			1070	3740	
85		30	1070	3364	
84		60	1109,7	3227	
101	520	2	319,4	6250*	
102			502,8	3982*	
104	500	2	1087,7	3748*	
103			1284,8	3659*	
105		10	1058,6	2921*	
106		40	1050	2767*	
96	490	10	301,9	3108*	
95			1243,5	2880*	
100	480	4	290,2	2956*	
99			1253	2599*	
97		40	297	2527*	
98			1263,5	2520*	
46	460	5	264	3361	
47			1047,2	2641	
44		10	264	3262	
45			1022,6	2530	
42		60	266,6	2692	
43			942	2238	
110	440	10	1197	3026*	
108	210	40	1012,4	2742*	
109	175	10	1218	2582*	
88	150	5	193,2	3177*	
89			312,4	2785*	
90			746,2	2570*	
92		10	701	2677*	
91		40	730,9	2535*	
93	115	10	291,3	1779*	
94			1215,6	1710*	

Die mit einem Stern versehenen Zahlen gelten für platinirte Platinelektroden.

Die specifischen Widerstände des ersten Präparats, beeinflusst durch die angegebenen Punkte, liegen also zwischen 2032 und 7839 Millionen, die des zweiten Präparates zwischen 1710 und 6680 Millionen. Beide Präparate verhalten sich nicht sehr verschieden. In einer ganz kürzlich veröffentlichten Arbeit¹⁾ giebt Hr. Oberbeck den Widerstand von Alkohol, in schnell aufeinanderfolgenden wechselnden Inductionsströmen gemessen, 13000 mal größer als den Widerstand einer concentrirten neutralen Kupfer-vitriollösung an. Setzt man für letzteren den im galvanischen Strome gefundenen Werth für gewöhnliche Temperatur mit etwa 300000 an, so ergiebt sich für Alkohol 3900 Millionen. Hr. F. Kohlrausch giebt gleichfalls kürzlich²⁾ die Leitungsfähigkeit des Alkohols zu ungefähr $\frac{4.0,7}{10^{10}}$ also den Widerstand zu etwa 3470 Millionen an. Hr. Kohlrausch hat ferner Wasser von solcher Reinheit dargestellt, daß es noch 4mal schlechter leitete, als sein Alkohol, also einen Widerstand von 13888 Millionen besaß. Das Wasser, wofür oben in der Tabelle I. No. 10 der Widerstand zu 2194 Millionen angegeben wurde, war in gewöhnlicher Weise dargestelltes destillirtes Wasser, welches außerdem längere Zeit in einer verschlossenen Glasflasche gestanden hatte. Immerhin ist aber hervorzuheben, daß die Zahlen des Hrn. Kohlrausch mit viel schwächeren elektromotorischen Kräften gefunden wurden, daß sich also dieselben Präparate an meinem Apparat untersucht, besser leitend erwiesen haben würden. Hr. Oberbeck, der mit starken Inductionsströmen arbeitete, hat für gewöhnliches destillirtes Wasser Werthe gefunden, die etwa zwischen 120 und 600 Millionen liegen. Es sey noch erwähnt, daß meine sämmtlichen Versuche bei der nie weit von 20° C. abweichenden Zimmertemperatur gemacht wurden. Ein einziges Mal habe ich ein paar Versuche mit dem auf circa

1) Diese Annal. CLV, S. 601.

2) Münchener Sitzungsberichte 5. Nov. 1875.

50° erhitzten Alkohol angestellt und dabei eine entschieden bessere Leitung gefunden.

An dieser Stelle möge auch der interessante Punkt hervorgehoben werden, der sich zuerst bei der Mischung des Wassers mit dem Alkohol ergab. Einige Tropfen Alkohol zu dem Wasser mit einem Widerstande von 2194 Millionen gefügt, erniedrigen den Widerstand auf 1900. Und bei einer Mischung gleicher Volumina von Wasser und Alkohol ergaben sich Widerstände, die den des Wassers allein nur um weniges überragen, obschon der Alkohol allein unter denselben Umständen einen doppelt großen Widerstand zeigt. Weitere Aufklärungen hierüber geben die Mischungen Alkohol-Aether und Alkohol-Terpentinöl. Beide Substanzen, Aether und Terpentinöl, haben für sich einen außerordentlich großen Widerstand. In gewissen Verhältnissen dem Alkohol zugemischt, können sie aber dessen Widerstand sogar noch verringern. An den Alkohol-Terpentinmischungen läßt sich die Sache am besten verfolgen und hier zeigt sich:

dafs wenig Alkohol zu viel Terpentinöl gemischt, kaum besser leitet, als das Terpentinöl allein;

dafs mit steigendem Alkoholgehalt das Verhältnifs sich schnell günstiger stellt und bald sogar eine noch reichlich Terpentinöl enthaltende Mischung entsteht, die keinen größeren Widerstand hat, als der Alkohol allein;

und dafs endlich bei sehr überwiegendem Alkoholgehalt die Zumischung einiger Procente Terpentinöl einen kleineren Widerstand, als den des reinen Alkohols liefert.

Die Analogien, welche das hier constatirte Verhalten sehr schlechter Leiter bei gut leitenden Flüssigkeiten und bei Quecksilberlegirungen findet, sind bekannt.

Ich gehe nunmehr zu einer näheren Erklärung der Beeinflussungen über, welche nach den vorliegenden Versuchen von Seiten der elektromotorischen Kraft der Induction, des Querschnitts und der Länge der Flüssigkeitsschicht und

endlich des schnellen Verlaufes der Inductionsströme auf die specifischen Flüssigkeitswiderstände ausgeübt werden. Alle diese Beeinflussungen sind allgemein gültig, selbst bei möglichster Vermeidung der Polarisation, sie werden aber wesentlich erhöht, wenn gewisse Mengen von Gas an den Elektroden erzeugt werden. Man wird aus diesen gesammten Erscheinungen den wahrscheinlichen Schluss ziehen, daß *die Ausgleichung der bewegten Elektricitäten beim Eintritt in die Flüssigkeit verzögert wird und dann schließlich bei entsprechendem Potentialwerthe größtentheils durch eine Art Entladung erfolgt*. Die Verzögerung steht dabei in inniger Beziehung zu den allenfalls auftretenden Gasen der Polarisation und kann bei einem gewissen kleinen Quantum derselben ihr Einfluß den der Gegenkraft der Polarisation bedeutend überwiegen. Die zwischen Metallelektroden eingeschlossene Flüssigkeit würde so die größte Aehnlichkeit mit einem Condensator besitzen, zwischen dessen Belegen dann Ausgleichungen durch die Isolirschicht stattfinden. (Man vergleiche die Entwicklungen des Hrn. Helmholtz.¹⁾)

Dagegen scheint eine Erklärung der Erscheinungen durch Annahme einer kleinen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Stromes in der Flüssigkeit, der im Uebrigen wie bei Drähten gleichmäfsig abfließend zu denken wäre, ausgeschlossen werden zu müssen. Diesen Fall, der allerdings vielleicht die Ungültigkeit des Ohm'schen Gesetzes zur Folge haben würde, hatte ich, wie ich in der Einleitung sagte, Anfangs im Auge gehabt und es möge gestattet seyn, kurz einen rohen Versuch zu erwähnen, den ich in dieser Richtung anstellte.

Von dem großen Inductor führte der Stromesweg an eine gewöhnliche Geißler'sche Wasserstoffröhre, dann an eine circa 400^{mm} lange Schicht destillirten Wassers, hierauf an eine zweite Geißler'sche Röhre und über eine zweite ähnliche Wasserschicht von 400^{mm} zurück. Die beiden Röhren waren mit ihren capillaren Theilen un-

1) Diese Annal. CL, S. 483.

mittelbar nebeneinander gestellt und zwar so, daß sie im Inductionsstrome leuchtend einen Winkel mit scharf markirtem Scheitel bildeten. Man beobachtete sie nun in einem entfernten Spiegel, der mittelst der Centrifugalmaschine sich in eine ziemlich schnelle Rotation versetzen ließ, während einzelne Inductionsstöße hindurchgingen. Dabei ließ sich aber nicht die geringste Verschiebung des Scheitels wahrnehmen und ist nur roh, da kein feiner Rotationsapparat zur Verfügung stand, zu sagen, daß jedenfalls die Entladung in der dem Inductor unmittelbar anschließenden Röhre und in der von 2 längeren Wasserschichten eingeschlossenen Röhre nicht um $\frac{1}{10000}$ Secunde auseinanderfiel. Der specifische Widerstand des Wassers, ohne die Geißler'schen Röhren bei derselben Kraft der Induction untersucht, betrug dabei rund 2000 Millionen.

Kurz nach Ausführung dieses Versuches wurde von Hrn. Siemens¹⁾ ein analoger Versuch an einer Zinkvitriollösung von 100 Fuß Längsausdehnung veröffentlicht. Dabei hatte sich keine Zeitdifferenz von $\frac{1}{5000000}$ Secunde ergeben. Hr. Siemens setzt den Widerstand seiner Lösung mindestens 200 Millionen Mal größer als Kupfer (oder etwa 3 Millionen Mal größer als Quecksilber), so dass, falls nicht ein Irrthum in dieser Notirung stattfand, eine sehr verdünnte Lösung vorgelegen hätte. Sein Resultat geht jedenfalls, auch insoweit es sich um den Einfluß des specifischen Widerstandes auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit handelt, noch weiter als das meinige, und hielt ich deshalb fernere Versuche in dieser Richtung für überflüssig.

Für die andere Auffassung der Sache hingegen, wonach die Ausgleichung der Elektricitäten in der Flüssigkeit mehr nach Art einer Entladung erfolgt, habe ich wesentlich nach zwei Verfahren instructive Versuche angestellt. Einmal stellte ich durch einen Hebelapparat, der durch einseitige Gewichtsbeschwerung in Bewegung

1) Diese Annal. CLVII, S. 314.

gesetzt wurde, und durch Quecksilbergefäße eine einfache Wippe her, die gestattete, kurz nach Schließung des primären Stromes den Inductionskreis zu unterbrechen. *Vermittelt dieses Apparates ergab sich* bei passend gewählter Bewegungsgeschwindigkeit, wodurch das Intervall zwischen beiden Actionen entsprechend klein gemacht wurde, *eine bedeutende Mehrwirkung am Galvanometer gegenüber dem gewöhnlichen Untersuchungsverfahren*, wobei der Inductionskreis stets geschlossen blieb. Von vielen Fällen will ich nur ein paar Beispiele anführen. So ergab sich mit dem kleinen Inductor bei der Zinkvitriollösung unter Umständen, die etwa dem Versuche No. 177 entsprechen würden,

	mit Unterbrechung die Galvanometerablenkung	526
	ohne " " "	422
ähnlich mit	" " "	512
	ohne " " "	408;

beim großen Inductor ferner für dieselbe Zinkvitriollösung	mit Unterbrechung die Ablenkung	527
	ohne " " "	475.

Hierbei mußte natürlich, dem langsameren Verlaufe des Inductionsstromes entsprechend, das Intervall viel größer gewählt werden, als beim kleinen Inductor, und es ließ sich sogar durch bloße Manipulation mit der Hand bequem operiren;

	ähnlich mit Unterbrechung die Ablenkung	560
	ohne " " "	474.
Beim kleinen Inductor wurde sogar einmal gewonnen	mit Unterbrechung die Ablenkung	740
	ohne " " "	462.

Diese Beispiele werden genügen, um es klar hervortreten zu lassen, daß die Elektricitäten an die Flüssigkeit hingeströmt, dort aufgehalten werden und sich theilweise wieder rückwärts durch den Inductionsdraht ausgleichen, wenn der Inductionskreis geschlossen bleibt. Unterbricht man den Inductionskreis zu passender Zeit, so ist diese entgegengesetzte Strömung ganz oder zum Theil unmöglich gemacht und die Wirkung im ursprünglichen Strömungs-

sinne tritt viel stärker hervor. Es findet hier also zum Theil ein ähnlicher Vorgang statt, wie bei einer offenen Inductionsspirale, und wird man also wohl auch hier, um ein vollständiges Bild der Vorgänge zu haben, an die bei offenen Inductionsspiralen stattfindenden bekannten Oscillationen denken müssen, wie sie von den Herren Helmholtz, Blaserna und Bernstein beobachtet sind. In innigem Zusammenhange hiermit steht es jedenfalls, daß Hr. Bernstein bei anderen Versuchen¹⁾ beobachtet hat, wie in Flüssigkeiten nach dem Aufhören eines hindurchgehenden Stromes gleichfalls Oscillationen auftraten. Ich erwähne noch, daß, wenn statt der Flüssigkeit bifilare Drahtrollen eingeschaltet waren, etwas ähnliches nicht beobachtet werden konnte.

Mit größerer Leichtigkeit, als die genannten Versuche, für welche die richtige Wahl der Intervalle durch Probiren festgestellt werden mußte, lassen sich andere ausführen, wobei man die beiden früher genannten Galvanometerumwindungen (deren eine 7,5 Mal so wirksam ist, als die andere) gleichzeitig benutzt und die eine noch mit einer passenden bifilaren Drahtrolle, die andere mit der Flüssigkeit in Verbindung setzt. Führt man den also getheilten Stromesweg dann so, daß beide Umwindungen den Magnet entgegengesetzt ablenken, und gleicht die Drahtrolle gegen die Flüssigkeit so aus, daß ungefähr eine gleiche Wirkung jeder einzelnen Umwindung auf den Magnet erfolgt, so läßt sich beobachten, wie *die Elektricitäten nur im ersten Augenblick auch den Flüssigkeitsweg zur Ausgleichung wählen und gleich darauf vorwiegend auf dem Drahtwege zur Ausgleichung kommen*. Am besten richtet man es so ein, daß die Flüssigkeit im ersten Augenblick um ein geringes besser die Elektricität durchläßt. Hierzu ist übrigens, wie ich besonders hervorheben will, nicht erforderlich, daß der Flüssigkeitszweig mit demjenigen Widerstande, den er als einziger Schluß des Stromweges zeigen würde, sich unter Berücksichtigung der Wirkungsfähigkeit beider Gal-

1) Berliner Monatsberichte 1871, S. 384.

vanometerwindungen ein wenig im Vortheil befindet gegenüber dem Widerstande des Drahtzweiges. Es darf vielmehr der Flüssigkeitswiderstand um einiges größer seyn, als es der gleichen Beeinflussung des Galvanometers von beiden Zweigen her entsprechen würde, und dennoch findet zunächst durch die Flüssigkeit eine vorwiegende Ausgleichung statt, die aber sehr bald einer sehr erheblichen Mehrwirkung des Drahtzweiges Platz macht. Einige Beispiele werden das Verhalten klar machen.

1) Bei Zinkvitriollösung unter Anwendung des großen Inductors fanden folgende Scalenstellungen bei den ersten Schwingungen für einen einzigen Inductionsstoß statt (für die Ruhelage = 0)

Schließungsstrom	0	+ 11,5 im Flüssigkeitssinne
		— 99,5 im Drahtsinne,
Oeffnungsstrom	0	— 12 im Flüssigkeitssinne
		+ 94 im Drahtsinne.

Der Drahtweg, der in seinem Zweige einen Widerstand von 225 S.-E. enthielt, würde als einziger Schluß des Inductionskreises den unverzweigten Theil desselben ergänzend eine Ablenkung von 159 ergeben haben.

2) Aehnlich wie oben

Schließungsstrom	0	+ 4,5	— 107
Oeffnungsstrom	0	— 6	+ 98.

Der Drahtweg als einziger Schluß gäbe 155.

3) Dasselbe am kleinen Inductor

Schließungsstrom	0	+ 3	— 64
Oeffnungsstrom	0	— 4	+ 56,5.

Der Drahtweg als einziger Schluß gäbe 91. Ueber die Unterschiede zwischen Schließungs- und Oeffnungsströmen in diesen Beispielen braucht nach dem Früheren nichts mehr gesagt zu werden.

4) Großer Inductor, wie vorhin

Schließungsstrom	0	+ 1	— 75,5
Oeffnungsstrom	0	— 1	+ 76.

Der Drahtweg als einziger Schluß gäbe 89,5.

5) Bei Alkohol unter Anwendung des großen Inductors

Schließungsstrom	0	+ 17	— 56
Oeffnungsstrom	0	— 18	+ 56,5.

Der Drahtweg, der hierbei in seinem Zweige einen Widerstand von 2140 S.-E. enthielt, würde als einziger Schluß 179 geben.

6) Aehnlich wie oben.

Schließungsstrom	0	+ 1	— 73,5
Oeffnungsstrom	0	— 1	+ 72,5.

Der Drahtweg als einziger Schluß gäbe 177.

Der Magnet wird bei diesen Versuchen, wenn er im Flüssigkeitssinne sich in Bewegung zu setzen eben begonnen hat, plötzlich ruckweise gehemmt und in solcher Weise im umgekehrten Sinne getrieben, daß noch über die ursprüngliche Ruhelage hinaus Beschleunigung stattfindet. Die Zeit, welche zwischen den beiden angegebenen Ablenkungen verstreicht, ist dabei natürlich entschieden kleiner, wie die Schwingungsdauer des Galvanometers, welche letztere erst bei der folgenden Schwingung wieder in Kraft treten kann. Es findet also hier eine kurz dauernde Verlegung der Ruhelage des Galvanometers statt, d. h. die Rückströmung dauert eine gewisse Zeit.

Es ist klar, daß etwas ganz ähnliches auch bei dem gewöhnlichen Beobachtungsverfahren vorgehen muß, wo die Flüssigkeit den einzigen Schluß des Inductionskreises bildet. Und in der That läßt sich dabei, wenn man außer der ersten für die Widerstandsberechnung oben benutzten Ablenkung auch die nächstfolgenden in Betracht zieht, eine geringe anfängliche Verrückung der Ruhelage in diesem Sinne constatiren. Hierdurch ist nun eine gewisse Unsicherheit in die Beobachtung gebracht, die jedoch nur klein ist. Bei dem großen Inductor ging die aus den drei ersten Ablenkungen (unter Berücksichtigung der Dämpfung) berechnete Verrückung der Ruhelage nach mehrfachen Versuchen bis zu 3 Proc. der ersten Ablenkung,

bei dem kleineren Inductor mit weniger innerem Widerstand bis zu fast 6 Proc. Die größeren Beeinflussungen finden für kleinere Ablenkungen, wo zu dem inneren Inductorwiderstande ein bedeutender Flüssigkeitswiderstand tritt, statt. Die Zahlen für den großen Inductor unter sich verglichen und ebenso die für den kleinen Inductor sind also keinesfalls in ihren allgemeinen Verhältnissen hierdurch erheblich alterirt, und auch das über das Verhältniß des großen Inductors zum kleinen Gesagte wird nicht berührt, da es ja eine bessere Leitung der Flüssigkeiten unter Anwendung des kleinen Inductors aussprach. Es sey noch erwähnt, daß bei dem kleineren Inductor mit der Rückströmung ein sehr deutliches Zittern des Galvanometers während seiner Schwingungen zusammenhing.

Die Versuche mit der Differentialgalvanometervorrichtung habe ich nun in großer Ausdehnung für alle verschiedenen Umstände durchgeführt und die beschriebenen Erscheinungen beim Alkohol und bei Zinkvitriollösung sowohl zwischen blanken, als auch zwischen platinirten Platinelektroden gefunden, dagegen kaum mehr bei Zinkvitriollösung zwischen amalgamirten Zinkplatten. Für bifilare Drahtrollen in beiden Zweigen des Differentialgalvanometers zeigte sich nichts dergleichen.

Der Entladungscharakter, den der Durchgang der Inductionsströme durch Flüssigkeiten trägt, dürfte durch das Vorangehende sehr wahrscheinlich gemacht seyn.

Nach den Ergebnissen dieser Untersuchung sind die Bewegungsvorgänge stark gespannter Ströme in Schließungskreisen, die eine Flüssigkeit enthalten, nicht wenig complicirt. Die folgenden Differentialgleichungen würden das Problem, wie es bei den Versuchen vorlag, ganz allgemein ausdrücken: Es sey

- P das Potential des inducirten Kreises auf sich selbst,
- P_1 das des inducirenden auf sich selbst,
- P_2 das des letzteren auf den ersteren,
- i die zur Zeit t im inducirten Kreise herrschende Stromesintensität,

- J* die im inducirenden Kreise herrschende,
E die elektromotorische Kraft der Batterie im induci-
 renden Kreise,
W der Widerstand des inducirenden Kreises,
w der Drahtwiderstand des inducirten,
c die Capacität des als Condensator aufgefaßten und
 durch die Inductionsspirale rückwärts verbundenen
 Flüssigkeitsapparates,
Q die Differenz der Potentiale an dessen beiden Belegen,
v der Widerstand der Isolirschicht des Condensators,

so gilt für den Fall des Schließungsinductionsstromes das folgende System von Gleichungen, woraus für den Fall des Oeffnungsinductionsstromes nur *E* zu streichen ist:

$$wi = -P \frac{di}{dt} - P_2 \frac{dJ}{dt} - Q \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

$$WJ = E - P_1 \frac{dJ}{dt} - P_2 \frac{di}{dt} \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

$$i - \frac{Q}{v} = c \frac{dQ}{dt} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Die beiden ersten Gleichungen drücken die Gesamtsumme der wirksamen elektromotorischen Kräfte (unter Vernachlässigung der Gegenkraft der Polarisirung) jedesmal durch die vorhandene Intensität multiplicirt mit dem Widerstande aus, während die dritte Gleichung die Differenz der durch den Draht des Inductionskreises und durch die Flüssigkeit getriebenen Elektricitäten in jedem Moment der gleichzeitigen Anhäufung im Condensator gleichsetzt. In diesen Gleichungen ist nun *c* als wesentlich abhängig von der Polarisirung zu denken, d. h. den Versuchen gemäß nicht nur abhängig von *i*, sondern auch von $\frac{di}{dt}$; ebenso ist $\frac{1}{v}$ variabel. Es ist ersichtlich, daß selbst die einfachsten in diesen Richtungen gemachten Annahmen, die doch nur willkürlich seyn könnten, schon bedeutende analytische Schwierigkeiten bieten würden. Vor einer eingehenderen theoretischen Behandlung dürfte deshalb zunächst noch eine weitere Ausdehnung des Versuchsfeldes wünschenswerth erscheinen.

Nachschrift.

Ich darf vielleicht diese Gelegenheit benutzen, um einer etwas irrthümlichen Auffassung zu begegnen, welche kürzlich Hr. G. Wiedemann ¹⁾ über die Hypothese geäußert hat, die ich vor einiger Zeit in Betreff des galvanischen Leitungswiderstandes veröffentlichte ²⁾. Nach dieser Hypothese sollten elektrische Atmosphären die Körpermoleküle umgeben und an ihren Bewegungen mehr oder weniger Antheil nehmen. In einem durch ein Metall gehenden Strome sollte dann die elektromotorische Kraft Elektricitätstheilchen aus der Atmosphäre eines Körpertheilchens in die eines benachbarten Körpertheilchens überführen und dabei um so mehr Widerstand finden, je mehr dieses Hinüberwandern durch die Beschaffenheit des Leiters erschwert sey. Ich kam zu dem Schlusse, daß, falls ein elektrisches Theilchen aus der Atmosphäre eines Körpertheilchens in die eines andern übergeführt werden solle, von den elektromotorischen Kräften den inneren Körperkräften gegenüber außer der bloßen Ortsveränderung dieses Theilchens auch die Bewegungsänderung geleistet werden müsse, welche einer Stellung in der einen oder anderen Atmosphäre eventuell entspreche und daß darin die Hauptbedeutung des Widerstandes liege.

Hr. Wiedemann versteht diese Hypothese und zwar wohl wesentlich den zuletzt citirten Satz nun so, daß die Arbeit, welche bei der Aenderung der Bewegungsrichtung des elektrischen Theilchens geleistet werde, dem Widerstande entsprechen solle. Ich habe jedoch nirgends von wirklich *geleisteter Arbeit* gesprochen und glaube auch nicht, daß diese im Sinne meiner Hypothese über die eigentliche Bedeutung des Widerstandes überhaupt Auskunft geben kann. Die *geleistete Arbeit kann nur dann als Maafs des Widerstandes dienen, wenn man ein und dieselbe bestimmte Stromesstärke im Auge behält*. Bezieht man aber

1) Leipziger Berichte, 12. Febr. 1876.

2) Diese Annal. Bd. 153, S. 411.

die Betrachtung, wie es in meiner Hypothese geschehen muß, auf *eine und dieselbe bestimmte elektromotorische Kraft*, so ist *die geleistete Arbeit dem Widerstande umgekehrt proportional*. Was Hr. Wiedemann deshalb in Betreff der wirklich hinüberwandernden Elektricitätstheilchen, welche die Stromesstärke bedingen, sagt, ist zwar ganz richtig, trifft aber nicht den Punkt, um den es sich hier handelt. Es kommt vielmehr darauf an, daß die Bewegungszustände der elektrischen Theilchen ein Hinderniß für das reichlichere Hinüberwandern selbst sind und daß sie also, je intensiver sie ausgeprägt sind, um so weniger die gegebene elektromotorische Kraft zum wirklichen Arbeiten (Fortbewegung, d. h. Hinüberschaffung der elektrischen Theilchen in ihrem Sinne) kommen lassen. Auf diese Weise nimmt die Zahl der in einer bestimmten Zeit durch eine bestimmte elektromotorische Kraft hinübergeschaffter Theilchen mit wachsender Intensität der Eigenbewegung der Theilchen ab, d. h. der Widerstand wächst.

Wenn Hr. Wiedemann dann weiter an Stelle dieser Hypothese „eine Art Reibung der Elektricitätstheilchen an den Körpermoleculen“ setzen und damit den Widerstand erklären will, so bin ich ganz und gar damit einverstanden, glaube aber, daß diese „Reibung“ ohne speciellere Definition doch wohl kaum mehr als einen anderen Ausdruck für Widerstand selbst bedeutet, daß dagegen eine nähere Definition derselben gerade in meiner Hypothese liegen könnte. Wenigstens war es deren eigentlicher Zweck, von dieser Reibung, d. h. von dem Anhaften der Elektricitätstheilchen an den Körpertheilchen, ein bestimmteres Bild zu geben.

Darmstadt, den 1. Mai 1876.