$$i = \frac{2\theta}{\pi} \frac{\alpha\alpha'}{\kappa\alpha' + \kappa'\alpha} \frac{\mu^2}{ksR^2} \left\{ \int_0^\infty \frac{du}{u^2 + \alpha^2 b^2} e^{-u^2 t} - \int_0^\infty \frac{du}{u^2 + \alpha^2 b^2} e^{-u^2(t+\vartheta)} \right\},$$

welche Gleichung sich für grosse Werthe von t zu:

$$i = \frac{\alpha}{\sqrt{t}} - \frac{\alpha}{\sqrt{t+\vartheta}}$$

vereinfacht. Man bemerkt auch hier eine Uebereinstimmung der für die Intensität der Thermoströme geltenden Gleichungen mit jenen für die electrolytischen Polarisationsströme, sodass das analoge Verhalten beider Erscheinungen eine Bezeichnung der erstern als thermoelectrische Polarisation, rechtfertigen würde. —

Lemberg, im September 1880.

III. *Ueber die durch Electricität bewirkten Form- und Volumenänderungen von dielectrischen Körpern; von W. C. Röntgen;*

(Aus den Ber. d. Oberhess. Gesellsch. f. Natur- u. Heilk. 20. mitgetheilt vom Herrn Verfasser.)

Die Literatur über die sogenannte „electrische Ausdehnung“¹⁾ ist in der letzten Zeit durch eine sehr umfangreiche und ausführliche Abhandlung des Hrn. Quincke²⁾ vermehrt worden. Jene Abhandlung enthält im wesentlichen: erstens eine experimentelle Prüfung der insbesondere von Hrn. Duter und Hrn. Righi aufgefundenen Gesetzmässigkeiten über die „electrische Ausdehnung“, zweitens eine Begründung der vom Hrn. Verf. adoptirten Ansicht, dass die beobachteten Erscheinungen nur durch die Annahme einer neuen, merkwürdigen Wirkung der Electricität zu erklären seien, und drittens den Versuch zu einer auf dieser Ansicht basirten Erklärung der

1) Volta, Lettere inedite di Volta. Pesaro. p. 15. 1834. — Govi, Compt. rend. 87. p. 857. 1878. — Duter, Compt. rend. 87. p. 828. 960. 1036. 1878; und 88. p. 1260. 1879. — Righi, Compt. rend. 88. p. 1262. 1879. — Korteweg, Wied. Ann. 9. p. 48. 1880.

2) Quincke, Wied. Ann. 10. p. 161, 374, 513. 1880.

von Hrn. Kerr und mir beobachteten electro-optischen Erscheinungen.

Ich habe die Abhandlung des Hrn. Quincke sorgfältig studirt und die darin mitgetheilten Resultate verglichen mit den Ergebnissen von Versuchen und Berechnungen, die ich zum Theil schon in den Jahren 1876 und 1877 über denselben Gegenstand angestellt habe. Es ist mir nun nicht gelungen, immer zu denselben Schlussfolgerungen zu gelangen, wie Hr. Quincke; insbesondere kann ich die soeben erwähnte Auffassung des Hrn. Verf. nicht theilen, dass die von ihm beschriebenen Erscheinungen nur zu erklären seien durch die Annahme einer eigenthümlichen, durch die Electricität erzeugten, allseitigen Dilatation oder Contraction des Dielectricums, welche der durch Temperaturänderungen verursachten durchaus ähnlich, aber nicht etwa durch solche hervorgerufen wäre. Ich habe keine Veranlassung meine früher gefasste Meinung zu ändern, dass die bisherigen Versuche über die Form- und Volumenveränderungen von Dielectrica, auf welche electricische Kräfte wirken, durchaus nicht gestatten mit einiger Sicherheit auf das Vorhandensein einer besonderen Wirkung der statischen Electricität auf die Theilchen des Dielectricums zu schliessen; ich glaube, dass keine als unzweifelhaft richtig verbürgte Beobachtung vorliegt, welche in directem Widerspruche stünde mit der zunächst liegenden Annahme, dass die betreffenden Aenderungen hervorgebracht werden einmal durch die gegenseitige Anziehung der ungleichnamig electricischen Theilchen des Dielectricums und die dadurch bedingte Compression („electricische Compression“) desselben, und zweitens durch Temperaturänderungen des Dielectricums, welche beim Electrisiren desselben eintreten.

Das Folgende enthält eine eingehende Prüfung der auf p. 513 ff. der angeführten Abhandlung zusammengestellten Ueberlegungen und Thatsachen, welche nach Angabe des Hrn. Quincke gegen die Annahme einer electricischen Compression sprechen, sowie der Einwände, welche Hr. Quincke gegen eine Erklärung der beobachteten Erscheinungen durch Erwärmung des Dielectricums erhebt. Zum Schluss möchte ich einige Versuche mittheilen, welche ich mit Flüssigkeiten im

Laufe des vergangenen Winters und in diesem Sommer angestellt habe, und welche zu wesentlich anderen Resultaten geführt haben als die des Hrn. Quincke.

Auf p. 513 heisst es:

„§ 27. Unwahrscheinlichkeit einer electricischen Compression. Man könnte denken, dass durch die Anziehung der entgegengesetzten Electricitäten auf beiden Condensatorbelegungen die Glasdicke verkleinert und durch diese „electricische Compression“ indirect das Volumen der Thermometerkugel vergrössert werde.“

Darauf wird die Voraussetzung gemacht:

„Die mittlere Schicht der Glaskugel vom Radius ρ bleibt bei der Compression ungeändert.“

Und nun folgt eine kurze Berechnung, durch welche gezeigt wird, dass bei dieser Voraussetzung die Volumendilatation des Hohlraums der Kugel $\frac{4v}{v}$ umgekehrt proportional dem Durchmesser der Kugel sein müsste.

„Meine in Tabelle 5 und Tabelle 10 zusammengestellten Versuche lassen jedoch keinen Einfluss des Kugeldurchmessers erkennen.“

Die der Rechnung zu Grunde gelegte Voraussetzung, dass die mittlere Schicht der Kugel unverändert bleibe, ist nun jedenfalls ganz und gar willkürlich, das Resultat der Rechnung hat deshalb keine Beweiskraft; dasselbe spricht ebenso wenig gegen als für das Vorhandensein einer electricischen Compression. — Wenn jene Voraussetzung in der That eine nothwendige Consequenz der Annahme einer electricischen Compression wäre, so hätte es gar nicht der Rechnung bedurft um die Unhaltbarkeit dieser Annahme nachzuweisen; denn eine unveränderte Mittelschicht ist in directem Widerspruch mit der auf p. 180 ff. mitgetheilten Thatsache, dass das innere und das äussere Volumen der Glaskugeln beim Electriciren um nahezu gleichviel zunehmen.

Ich darf vielleicht hier hinzufügen, dass mir jene Voraussetzung nicht nur willkürlich, sondern auch sehr unwahrscheinlich vorkommt. Geht man nämlich von dem Vorhandensein einer electricischen Compression aus, so lassen sich zwar die Gesetze der Formveränderungen vor der Hand nicht mit

Hülfe der Gesetze der Electrostatik und der Electricitätslehre streng ableiten, da über die Vertheilung der Electricität auf der Oberfläche und im Innern des Dielectricums zur Zeit nichts Sicheres bekannt ist, und die Erscheinung meiner Ansicht nach sehr complicirter Natur ist; soviel ergibt aber doch eine eingehende Betrachtung, dass die Beobachtung einer nahezu gleichen Zunahme des innern und äussern Volumens der Thermometercondensatoren nicht unvereinbar ist mit jener Annahme, und dass folglich die besprochene Voraussetzung höchst unwahrscheinlich ist.

Hr. Quincke fährt nun fort:

„Gegen die Annahme einer electricischen Compression spricht ferner der Umstand, dass weicher und wenig elastischer Kautschuk, der zwei Tage mit Wasser in Berührung war, unter sonst gleichen Umständen etwa dieselbe Volumenänderung zeigt wie das viel elastischere und weniger leicht comprimirbare Glas.“

Um die Bedeutung dieses Einwandes beurtheilen zu können, ist es nöthig, dass man den § 13, welcher die Beobachtungen mit Kautschuk enthält, zu Rathe zieht.

Nach dem Durchlesen dieses § gewann ich die Ueberzeugung, dass Kautschuk, wenigstens wenn derselbe in der dort angegebenen Weise verwendet wird, kein Material ist, mit welchem zuverlässige Resultate erhalten werden können. So gibt z. B. Hr. Quincke an, dass der auf beiden Seiten von Wasser umgebene Kautschukschlauch für Wasser durchlässig sei, indem dasselbe durch electricische Fortführung durch die Kautschukwand hindurch getrieben wurde; die dadurch verursachte Vermehrung oder Verminderung der Wassermenge im Hohlraum des Schlauches verdeckt zum grössten Theil die zu beobachtende Volumenänderung. Dann soll sich die Isolationsfähigkeit des Kautschuks bedeutend ändern, wenn derselbe einige Zeit mit Wasser in Berührung ist; dieselbe soll durch Aufnahme von Wasser grösser werden (!) Die Folge von diesen und anderen sehr störenden Eigenschaften des Kautschuks ist, erstens dass die Erscheinungen noch unregelmässiger und complicirter werden als bei Glas, und zweitens, dass die erhaltenen Zahlenwerthe eine sehr mangelhafte Uebereinstimmung

zeigen. Jedenfalls würde ich diesen Zahlen wenig Gewicht beilegen und dieselben nicht als Stütze für die eine oder die andere Hypothese benutzen.

Uebrigens ist noch zu bemerken, dass Hr. Quincke auf p. 200 angibt, frischer Kautschuk zeige eine ungefähr zehnmal so grosse Volumenänderung als Glas.

Der nun folgende dritte Einwand gegen die Annahme einer electricischen Compression stützt sich auf die von Hrn. Quincke behauptete Uebereinstimmung zwischen den beobachteten Volumenänderungen von Thermometercondensatoren aus Flintglas und solchen aus Thüringer Glas bei gleicher Glasdicke und bei gleicher Potentialdifferenz der Belegungen. Eine derartige Uebereinstimmung dürfte nämlich nach der Ansicht des Hrn. Verf. nicht vorhanden sein, wenn die Formveränderungen durch electricische Compression erzeugt wären; es müsste infolge der Verschiedenheit der Leitungsfähigkeiten der beiden Glassorten die Volumenzunahme beim Thüringer Glas grösser sein als beim Flintglas. Um den Grad der Uebereinstimmung beurtheilen zu können, theile ich die zwei folgenden Tabellen mit; dieselben enthalten eine grössere Anzahl von Hrn. Quincke beobachteter Wanddicken und Volumendilatationen (aus Tab. 5, p. 176 und Tab. 10, p. 190 entnommen), sowie die von mir auf Grund der von Hrn. Quincke aus jenen Beobachtungen abgeleiteten Gesetzmässigkeit, dass unter sonst gleichen Umständen die Volumendilatationen dem Quadrate der Wanddicken umgekehrt proportional sind, berechneten Volumendilatationen für die Wanddicke = 1 mm.

Wenn die oben erwähnte Beziehung zwischen Wanddicke und Volumenänderung in aller Strenge durch die mitgetheilten Zahlen wiedergegeben wäre, und wenn Flintglas und Thüringer Glas wirklich dieselbe Volumendilatation zeigten, so müssten die in je einer mit „Volumenänderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$ für die Wanddicke = 1 mm“ überschriebenen Columnne enthaltenen Zahlen einander gleich sein.

Ueber den Grad der vorhandenen und der erforderlichen Uebereinstimmung kann man verschiedener Meinung sein; ich glaube aber, dass die obigen Zahlen überhaupt nicht gestatten,

Tabelle I.

Wanddicke in mm	6 Leydener Flaschen m. Electricitätsmenge 20		6 Leydener Flaschen m. Electricitätsmenge 10	
	Volumen- änderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$	Volumenänderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$ für die Wand- dicke = 1 mm	Volumen- änderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$	Volumenänderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$ für die Wand- dicke = 1 mm
Englisches Flintglas.				
0,142	9,865	0,199	2,984	0,060
0,207	9,036	0,387	2,669	0,115
0,258	6,491	0,432	2,300	0,153
0,321	5,234	0,539	1,579	0,163
0,297	5,425	0,479	1,600	0,141
0,271	4,533	0,333	1,589	0,117
0,319	3,631	0,369	1,154	0,117
0,286	3,258	0,267	—	—
0,346	3,149	0,377	0,940	0,112
0,407	0,866	0,144	0,287	0,048
0,591	0,273	0,095	0,069	0,024
Thüringer Glas.				
0,220	11,69	0,566	3,532	0,171
0,238	5,010	0,284	1,327	0,075
0,283	3,994	0,320	0,610	0,049
0,294	5,459	0,472	1,746	0,152
0,494	2,102	0,512	—	—
0,590	2,471	0,860	1,304	0,452
0,700	0,755	0,370	—	—

Tabelle II.

Wanddicke in mm	Schlagweite = 1 mm		Schlagweite = 2 mm	
	Volumen- änderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$	Volumenänderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$ für die Wand- dicke = 1 mm	Volumen- änderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$	Volumenänderung $\frac{\Delta v}{v} \cdot 10^6$ für die Wand- dicke = 1 mm
Englisches Flintglas.				
0,142	2,883	0,058	10,67	0,215
0,203	1,756	0,073	7,440	0,307
0,258	1,310	0,087	3,960	0,263
0,271	0,980	0,072	3,014	0,221
0,286	0,739	0,060	2,662	0,217
0,319	0,604	0,062	1,971	0,201
0,346	0,742	0,089	2,042	0,245
0,407	0,149	0,025	0,736	0,122
0,591	0,058	0,020	0,190	0,066
Thüringer Glas.				
0,238	1,131	0,064	4,606	0,261
0,283	0,441	0,035	1,747	0,140
0,294	0,548	0,047	2,299	0,199
0,700	0,102	0,050	0,358	0,175
0,304	6,882	0,636	18,29	1,65

dass man dieselben zu dem von Hrn. Quincke verfolgten Zweck verwendet; denn erstens garantirt die Versuchsmethode des Hrn. Verf. durchaus nicht, dass bei allen in je einer Abtheilung der obigen Tabellen zusammengestellten Versuchen auch wirklich gleiche Potentialdifferenz der Belegungen vorhanden gewesen ist, und zweitens ist es mir doch sehr fraglich, ob es eine nothwendige Consequenz der Annahme einer electricischen Compression ist, dass die Volumenänderungen von Flint- und Thüringer Glaskugeln so sehr verschieden ausfallen; da die Gesetze der Vertheilung der Electricität auf dem Dielectricum und im Innern desselben bis jetzt gänzlich unbekannt sind, und ebenfalls nichts Bestimmtes vorliegt über die Grösse der auftretenden Erwärmung des Dielectricums, so halte ich es mindestens für sehr gewagt, die Behauptung aufzustellen, dass die Formveränderungen der einen Glassorte grösser sein müssen als die einer andern.

Schliesslich kann die Frage erhoben werden, wie Hr. Quincke die seiner Meinung nach vorhandene Uebereinstimmung in Einklang bringt mit seiner Hypothese einer electricischen Ausdehnung.

Und nun die letzte Einwendung, die Hr. Quincke auf Grund seiner Beobachtungen an festen Körpern gegen die Annahme einer electricischen Compression macht.

„Gegen die Annahme einer electricischen Compression spricht ferner das Verhältniss von Volumendilatation $\frac{\Delta v}{v}$ und Längendilatation $\frac{\Delta l}{l}$ bei Condensatoren derselben Wanddicke für dieselbe Schlagweite oder Potentialdifferenz beider Belegungen. Eine Vergleichung der Beobachtungen der §§ 11 und 16“ (sowie die in dem folgenden § 28 mitgetheilte Untersuchung über jenes Verhältniss bei Glascylindern) „zeigt, dass die Volumendilatation $\frac{\Delta v}{v}$ dreimal grösser ist als die Längendilatation $\frac{\Delta l}{l}$, unter sonst gleichen Umständen.“

Dass dieses, meiner Ansicht nach nicht überraschende Resultat gegen die besagte Annahme spricht, kann ich unmöglich zugeben. Auf p. 519 befindet sich folgende, darauf bezügliche Ueberlegung: „Angenommen, die Volumenänderung des Glas-

cylinders rühre von electrischer Compression her, so wird die mittlere Schicht des Cylinders vom Radius ρ ungeändert bleiben.“

Darauf folgt eine Berechnung, welche zu dem Resultat führt, dass

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{4}{3} \frac{\Delta l}{l}$$

sein müsste, während die Versuche ergeben:

$$\frac{\Delta v}{v} = 3 \frac{\Delta l}{l}.$$

„Es spricht dies also ebenfalls gegen die Annahme einer Ausdehnung durch electrische Compression.“

Wir finden somit auch hier wieder die willkürliche Voraussetzung über das Verhalten der mittlern Schicht; es ist folglich an dieser Stelle dasselbe zu wiederholen, was oben bei der Besprechung des ersten Einwandes gesagt worden ist. Dadurch wird aber meines Erachtens auch dieser letzte Einwand hinfällig.

Es sei mir zum Schluss gestattet zu bemerken, dass ich nicht recht einzusehen vermag, wie Hr. Quincke zu der Aufstellung des für seine Hypothese allerdings wichtigen Satzes p. 515 gelangt:

„Das Resultat $\left(\frac{\Delta v}{v} = 3 \frac{\Delta l}{l}\right)$ ist insofern überraschend, als daraus folgen würde, dass die Ausdehnung des Glases durch electrische Kräfte wie die Ausdehnung durch die Wärme nach allen Richtungen gleichmässig erfolgt, unabhängig von der Richtung der wirkenden electrischen Kräfte.“

Es ist doch mit $\frac{\Delta v}{v}$ immer die relative Zunahme des von den Condensatoren eingeschlossenen Hohlraumes bezeichnet und nicht etwa die relative Volumenzunahme des Glases; es müsste meiner Meinung nach doch wohl erst durch Versuche gezeigt werden, dass zwischen der zuletzt genannten Volumenzunahme und der Längenzunahme die angegebene Beziehung bestünde, wenn man zu dem obigen Satz gelangen will. Das ist aber nirgendwo geschehen, es ist nicht einmal nachgewiesen, dass die Glaswand überhaupt dicker wird unter dem Einfluss der electrischen Kräfte.

In Bezug auf die Erklärung der beobachteten Volumenänderungen durch Temperaturerhöhung der Glaswand verhält sich Hr. Quincke weniger ablehnend. Auf p. 179 heisst es:

„Der etwas geringere Werth der Senkung“ (der Volumenvermehrung des Thermometercondensators) „bei Quecksilber als bei Wasser könnte von der bessern Wärmeleitung der erstern Flüssigkeit herrühren. Wenn nämlich die Ausdehnung der Glaswand der Thermometerkugel von der Wärme herrührte, die der schwache Entladungsstrom der Leydener Batterie in der Glaswand von grossem electricischen Leitungswiderstand entwickelt, so müsste — — — — — — — — — — die Volumenänderung der Thermometerkugel bei Füllung mit Wasser grösser als bei Füllung mit Quecksilber sein; bei dünner Glaswand auffallender, als bei dicker Glaswand, wie es in der That die Versuche ergeben.“

Allerdings wird auf p. 183 aus dem gleichen Verhalten eines mit Wasser gefüllten, aussen versilberten Thermometercondensators, wenn derselbe das eine mal mit Luft, das andere mal mit Wasser umgeben ist, geschlossen, dass die Volumenänderung nicht wohl von einer Erwärmung der Glaswand herrühren könne. Aehnliche Beobachtungen mit einem Glasfadencondensator p. 384 führen Hrn. Quincke zu demselben Resultat, trotzdem die darauf bezügliche Tabelle 17 zeigt, dass die Formveränderungen eines mit Luft umgebenen Glasfadencondensators immer grösser sind als die eines solchen, welcher mit Wasser umgeben ist, und jene Beobachtungen folglich eher für als gegen das Vorhandensein einer Erwärmung der Glaswand sprechen. Ich gebe hier die Tabelle 17 wieder:

Gerader Flintglasfaden innen und aussen versilbert.

Flaschenzahl	Electricitäts- menge	Verlängerung in Milliontel der ursprünglichen Länge	
		in Luft	in Wasser
6	10	0,99	0,81
„	20	2,80	2,39
„	30	5,71	4,41
3	5	0,72	—
„	10	2,17	1,99
„	15	4,41	3,69
„	20	—	5,86

Nach meiner Ansicht findet bei den Versuchen mit festen Körpern sowohl eine electricische Compression als eine Erwärmung des Dielectricums statt; wir sind aber ganz und gar im Unklaren über die Frage, welchen Antheil die eine oder die andere Ursache an der Erscheinung hat, da die Gesetze beider bis jetzt unbekannt sind.

Die Versuche, welche Hr. Quincke über die durch Electricität bewirkte Volumenänderung von Flüssigkeiten angestellt hat, haben zu einem höchst auffälligen und interessanten Resultat geführt: eine grössere Anzahl von Flüssigkeiten verhält sich derartig, dass die beobachtete Volumenänderung durch eine den Durchgang der Electricität begleitende Erwärmung erklärt werden könnte; dagegen findet bei Rüböl und Mandelöl eine Volumencontraction statt, welche selbstverständlich nicht mit der Annahme einer Temperaturerhöhung der Flüssigkeit vereinbar ist; Schwefeläther und Olivenöl zeigen das eine mal eine Vermehrung, das andere mal eine Verminderung des Volumens; die zuletzt genannten Flüssigkeiten verhalten sich überhaupt ganz unregelmässig.

Es ist begreiflich, dass Hr. Quincke diese Beobachtung als eine besonders starke Stütze für seine Hypothese betrachtet.

Im vergangenen Winter habe ich im Anschluss an meine Untersuchung über die electricische Doppelbrechung eine Reihe von Versuchen über das Verhalten von Flüssigkeiten unter dem Einfluss von electricischen Kräften angestellt, welche nicht zu demselben Resultat führten, zu welchem jetzt Hr. Quincke gelangt. Da unsere Versuchsmethoden etwas verschieden waren, so habe ich sofort nach Kenntnissnahme von der Quincke'schen Arbeit die Versuche mit einem Apparat wiederholt, welcher dem des Hrn. Quincke nachgebildet war. Aber auch mit diesem Apparat ist es mir nicht möglich gewesen, bei Rüböl und Mandelöl eine electricische Contraction nachzuweisen.

Da ich möglichst sorgfältig experimentirte und selbstverständlich dasselbe von Hrn. Quincke voraussetze, so liegt ein Widerspruch vor, den ich nicht zu lösen vermag; derselbe veranlasst mich, im Folgenden meine Versuche in ausführlicher Weise mitzutheilen.

Der erste von mir benutzte Apparat ist in Taf. VII Fig. 1 abgebildet. Derselbe besteht aus einer 10 cm weiten und circa 20 cm hohen Glasglocke *ABC*, die durch eine 0,7 cm dicke Spiegelglasplatte *AC* verschlossen ist; die letztere war der eingefüllten Flüssigkeit entsprechend mit Hausenblase oder Canadabalsam aufgekittet. Die Mitte der Spiegelglasplatte ist durchbohrt und trägt ein Glasrohr, das sich bei *a* verzweigt; der eine Zweig geht vertical aufwärts und kann durch einen Glashahn verschlossen werden; der andere ist bei *b* zu einer ungefähr 0,03 cm weiten Röhre ausgezogen. — Die Füllung geschieht durch einen Trichter mit langem und engem Stiel, der bei *c* aufgesetzt wird; der Stiel geht bis in die Glocke hinein. Nachdem die Glocke und die Ansatzröhren vollständig gefüllt und alle Luftblasen sorgfältig entfernt sind, wird der Trichter abgenommen und dafür ein Kautschukschlauch aufgesetzt; indem man das Ende des Kautschukschlauches in den Mund nimmt, kann man durch Saugen, resp. Blasen den Stand des Niveau der Flüssigkeit in dem Schenkel *ab* passend ändern; wenn dasselbe sich ungefähr in der Mitte des engen Theils der Glasröhre befindet, wird der Hahn geschlossen.

Die Flüssigkeitskuppe im engen Glasrohr wurde meistens mit einem stark vergrößernden Fernrohr beobachtet; indessen habe ich auch verschiedene male ein Mikroskop mit Ocularmikrometer benutzt.

Der beschriebene Apparat stand auf einem Holzklotz und war bis zum Hahn ganz von Sägespännen umgeben; die Temperatur des Beobachtungsraumes wurde möglichst constant gehalten, und kein Versuch wurde angestellt, so lange die Flüssigkeitskuppe im engen Glasrohr ihren Stand noch merklich änderte.

Um auf die Flüssigkeit, und zwar auf einen möglichst grossen Theil derselben elektrische Kräfte wirken zu lassen, befindet sich in der Glasglocke ein Condensator *DE*. Die eine mit der Electricitätsquelle in Verbindung stehende Belegung wird durch achtzehn äquidistante, kreisrunde Zinkscheiben (Durchmesser 5,5 cm) gebildet, die in ihren Mittelpunkten auf einem starken, geraden Neusilberdraht *DE* festgelöthet sind (Abstand der Platten 0,8 cm). Die andere mit

der Erde verbundene Belegung besteht ebenfalls aus kreisrunden Zinkplatten, von denen jedesmal eine zwischen zwei aufeinander folgenden Platten der ersten Belegung liegt. Durch kreisförmige Ausschnitte (Durchmesser 1,5 cm) in der Mitte der Platten der zweiten Belegung wird erreicht, dass dieselben den Neusilberdraht *DE* nicht berühren, unter einander und mit der Erde sind diese Platten durch zwei seitlich angebrachte Neusilberdrähte *FG* und *HI* verbunden; kleine an den Platten befindliche vorstehende Läppchen sind zu diesem Zweck an den Neusilberdrähten festgelöthet.

In welcher Weise die Verbindung der Belegungen mit der Electricitätsquelle, resp. mit der Erde hergestellt wurde, geht zur Genüge aus der Zeichnung hervor. Die für den Austritt der Neusilberdrähte benöthigten Durchbohrungen in der Glasplatte werden durch runde Metallscheibchen und zwischengelegte Lederscheibchen, sowie durch je eine Druckschraube geschlossen. Derjenige Neusilberdraht, welcher zur Electricitätsquelle führt, wird durch ein auf die Glasplatte aufgekittetes Glasrohr von den den Apparat umgebenden Sägespännen isolirt.

In Anbetracht des relativ grossen Abstandes der Condensatorschreiben von der Wand der starkwandigen Glasglocke hielt ich es für überflüssig, die letztere besonders, etwa durch ein zur Erde abgeleitetes, den Condensator umgebendes Drahtgewebe gegen electricische Einflüsse zu schützen.

Die Flüssigkeiten, welche nacheinander mit diesem Apparat untersucht wurden, waren: Schwefelkohlenstoff, Rüböl und Wasser.

Das Electrisiren geschah in der mannigfachsten Weise: 1) durch directe metallische Verbindung mit dem Conductor einer kräftigen Reibungselectrisirmaschine, welche entweder stossweise oder continuirlich, langsam oder rasch gedreht wurde; 2) in derselben Weise, nur mit dem Unterschied, dass eine Funkenstrecke von variabler Länge zwischen Conductor und Condensator eingeschaltet wurde; 3) durch Verbindung mit der innern Belegung einer geladenen Batterie von veränderlicher Flaschenzahl und von veränderlicher Stärke.

Mochte nun der Condensator in der einen oder in der

andern Weise geladen werden, immer fand ich bei Schwefelkohlenstoff und Rüböl eine Volumenvermehrung, welche in demselben Augenblick anfang, wo die Electricität auf den Condensator übergang, und so lange dauerte, bis der Condensator nicht mehr merklich geladen war, bis keine merkliche Menge Electricität durch die Flüssigkeit ging. Wurde der Condensator plötzlich entladen, so hörte auch sofort die Volumenvermehrung auf und der Stand der Flüssigkeitskuppe änderte sich nicht merklich.

Wasser von nahezu 10 bis 12° C. verhielt sich im wesentlichen gerade so, nur musste die Ladung des Condensators durch Berührung mit einer geladenen Batterie geschehen; bei einfacher Verbindung des Condensators mit der Electrisirmaschine war keine Wirkung zu beobachten; die relativ gute Leitungsfähigkeit des Wassers verhindert im letztern Falle das Zustandekommen einer erheblichen Potentialdifferenz der Belegungen.

Der ganze Verlauf der Erscheinung entsprach so durchaus der Annahme, dass die Volumenvermehrung durch eine durch Electricität erzeugte Erwärmung der Flüssigkeiten entstanden sei, dass ich ohne Bedenken diese naturgemässe und zunächst liegende Erklärung als die richtige ansah.

Bei der zweiten nach der Veröffentlichung der Quincke'schen Arbeit von mir unternommenen Untersuchung wurde der folgende Apparat benutzt (Taf. VII Fig. 2).

Ein 3 cm weites, ungefähr 8 cm hohes cylindrisches Glasgefäß *AB* ist oben mit einem Hals und einem Trichter versehen; in den Hals passt ein gut eingeschliffenes 0,5 cm weites und 13,5 cm langes Glasrohr *AC*, an dessen oberem Ende ein 0,04 cm weites, 6 cm langes Capillarrohr *CD* angeschmolzen ist.

In halber Höhe des Cylinders sind in diametraler Stellung zwei Platindrähte eingeschmolzen, welche im Innern des Gefäßes je eine rechteckige, 1,5 cm breite und 4,5 cm hohe Platinplatte *P* tragen; der Abstand der parallelen Platten beträgt ungefähr 1,5 cm. Die aus dem Cylinder herausragenden Enden der Drähte tauchen in Quecksilber, welches die angeschmolzenen 22 cm langen Glasröhren *EF* und *GH* ausfüllt; die eine

Quecksilbersäule wurde mit der Electricitätsquelle, die andere mit der Erde in Verbindung gesetzt.

Die Füllung des Apparats mit der zu untersuchenden Flüssigkeit geschah in einfacher Weise, welche wohl nicht beschrieben zu werden braucht; es ist nur zu bemerken, dass die eingeschliffene Glas- und Capillarröhre immer mit derselben Flüssigkeit gefüllt war, welche sich auch im Gefäss befand.

Um den Apparat gegen Wärmezufuhr von aussen zu schützen, wurde derselbe in eine umgestülpte, mit destillirtem Wasser gefüllte Glasglocke *IKL* gebracht und diese durch einen grossen Kork *IL* verschlossen; die drei Glasröhren gingen selbstverständlich durch den Kork hindurch. Durch diese Einrichtung gewinnt der Apparat an Handlichkeit, und man braucht nicht zu befürchten, dass die eingeschliffene Glasröhre gelockert werde beim Einsetzen des ganzen Apparats in ein recht grosses Gefäss, welches mit einem Gemisch von fein gestossenem Eis und destillirtem Wasser gefüllt war.

Mit der grössten Sorgfalt wurde darauf Acht gegeben, dass die Temperatur vor einer Beobachtung auch wirklich überall im Apparat 0° betrug; erst viele Stunden nach dem Einsetzen des Apparates in das Eiswasser und nach öfterem Schütteln war dies erreicht. Da nämlich einige der untersuchten Flüssigkeiten sehr schwerflüssig und die Wärme schlecht leitend sind, so könnte es sonst vorkommen, dass etwa in der Mitte der Flüssigkeit eine etwas höhere Temperatur als 0° vorhanden wäre und nun beim Durchleiten der Electricität, welches eine heftige Bewegung der Flüssigkeit zur Folge hat, diese wärmeren Theile mit der kalten Wand in Berührung kämen; dadurch würde dann eine Temperaturerniedrigung und eine Volumenabnahme der Flüssigkeit entstehen, welche die eigentliche Beobachtung fälschen würde.

Die Glaswand des Apparates wurde absichtlich recht dick gewählt, um dem Einwand zu begegnen, dass möglicherweise die wahrgenommenen Volumenänderungen wenigstens zum Theil von einer Einwirkung der Electricität auf die Glaswand herühren, dass m. a. W. der Apparat als Thermometercondensator functionirt hätte. Es bildet doch das den Apparat um-

gebende Wasser eine äussere Belegung und bei der schlechten Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit und dem geringen Abstand der Platinplatten von der Wand könnte eine Condensation von Electricität auf die Glaswand stattfinden.

Der Stand der Flüssigkeit in dem bloss um ungefähr 3 cm aus dem Eiswasser hervorragenden Capillarrohr wurde mit einem horizontal aufgestellten, mit Ocularmikrometer versehenen Mikroskop beobachtet.

Untersucht wurden: Schwefelkohlenstoff, Rüböl, Mandelöl und Wasser.

Das Resultat der Untersuchung entspricht vollständig dem mit dem ersten Apparat gefundenen. Rüböl und Mandelöl verhalten sich im wesentlichen wie Schwefelkohlenstoff und Wasser; bei der letzten Flüssigkeit fand in Uebereinstimmung mit der Voraussetzung, dass eine Erwärmung der Flüssigkeit durch die Electricität erzeugt werde, und der Temperatur von 0° entsprechend eine Volumenverminderung statt.

Niemals habe ich etwas anderes gefunden, wie oft die Versuche auch wiederholt wurden, und in wie verschiedener Weise die Electrisirung auch vorgenommen wurde. Auch der Charakter der Erscheinung stimmt vollständig mit der Annahme überein, dass bloss eine Erwärmung der Flüssigkeit stattgefunden habe.

Nach dem was oben mitgetheilt worden ist, wird es begreiflich sein, dass ich meine Versuche und Berechnungen über die durch Electricität bewirkte Form- und Volumenveränderungen von dielectricischen Körpern nicht früher und auch jetzt nur zum kleinern Theil veröffentlicht habe.

Zum Schluss möchte ich denjenigen Fachgenossen, welche vielleicht eine electricische Deformation eines festen Körpers zu sehen wünschen, ohne dieselbe messend verfolgen zu wollen, folgenden Versuch empfehlen, den ich im Jahr 1876 angestellt und bei Gelegenheit der Naturforscherversammlung zu Baden-Baden (1879) unter anderen mitgetheilt habe.¹⁾ Ein ungefähr 16 cm breiter und 100 cm langer, rechteckiger Streifen aus

1) Röntgen, Tageblatt der 52. Versammlung, p. 184 1879.
Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XI.

dünnem, rothem Kautschuk wird oben und unten zwischen je zwei Holzleistchen festgeklemmt; die obere Klemme wird an irgend einem Arm oder Haken so befestigt, dass das Kautschukband frei herunterhängt; an die untere Klemme werden Gewichte gehängt, welche den Streifen ungefähr auf die doppelte Länge ausdehnen. Nachdem man gewartet hat, bis die elastische Nachwirkung unmerklich geworden ist, beobachtet man den Stand des untern Endes des Streifens, etwa an einer daneben aufgestellten Papierscala, und lässt nun den Kautschuk von einem Gehülfen electricisiren. Der Gehülfe hält zu diesem Zweck in jeder Hand einen isolirten Spitzenkamm, von denen der eine mit der positiven, der andere mit der negativen Electrode einer kräftigen Holtz'schen Maschine in leitender Verbindung steht; zwischen den parallel gehaltenen Kämmen hängt das Kautschukband, dasselbe wird aber nicht von den Spitzen berührt. Indem nun der Gehülfe etwa am obern Ende anfängt und allmählich mit beiden Kämmen herunterfährt, wird ein immer grösserer Theil des Kautschuks electricisirt; dem entsprechend beobachtet man eine fortwährende Längenzunahme des Bandes, welche schliesslich, wenn der ganze Streifen electricisirt ist, mehrere Centimeter beträgt. Da trockener Kautschuk ein guter Isolator ist, dauert diese Verlängerung längere Zeit. Dieselbe kann aber, wenigstens zum grössern Theil aufgehoben werden, indem man den Streifen entladet, was in ähnlicher Weise geschieht wie das Laden; nur müssen jetzt beide Kämmе zur Erde abgeleitet sein.

Auch Herr Quincke hat (1880) ähnliche Versuche veröffentlicht und glaubt aus denselben schliessen zu dürfen, dass die Elasticität der festen Körper durch electricische Kräfte geändert werde; ich halte eine solche Schlussfolgerung wiederum für sehr gewagt und habe nach einer Prüfung der Quincke'schen Versuche keine Veranlassung gefunden, diese Auffassung zu der meinigen zu machen; da ich jedoch befürchte, dass der vorliegende Aufsatz eine zu grosse Ausdehnung erhalten würde, so möchte ich die Mittheilung der Motive zu meinem ablehnenden Verhalten unterlassen.

Giessen, September 1880.

Röntgen Fig. 1-2. von Bezold Fig. 3-4^a. Goldstein Fig. 5-13. Lamansky Fig. 14.