Über den Durchgang von Elektricität durch sehr schlechte Leiter

von

Hugo Koller.

(Mit 6 Textfiguren.)

Nach Maxwell's elektromagnetischer Lichttheorie soll bekanntlich die Diëlektricitätsconstante (D) eines vollkommenen Diëlektricums dem Quadrate seines Brechungsexponenten (n^2) für unendliche Wellenlängen gleich sein. Während sich nun diese Beziehung bei vielen Diëlektricis gut bestätigt hat, zeigen andere als ausgezeichnete Isolatoren bekannte Substanzen bedeutende Abweichungen von derselben, und zwar erscheint bis auf wenige Ausnahmen die Diëlektricitätsconstante zu gross. So findet z. B. Hopkinson 1 für

	n^2	\boldsymbol{D}
Olivenöl.	$2 \cdot 131$	$3 \cdot 16$
Ricinusöl.	$2 \cdot 153$	$4 \cdot 78$
Flintglas (extra dicht).	$2 \cdot 924$	10.1

Da Maxwell's Regel nur für vollkommene Diëlektrica gilt, welche wir in der Natur ausser unter Gasen kaum antreffen dürften, gestatten diese scheinbaren Ausnahmen von derselben noch keinen Schluss auf die Unrichtigkeit der elektromagnetischen Lichttheorie. Jedenfalls muss früher der Versuch gemacht werden, die Factoren näher kennen zu lernen, welche bei der Bestimmung von Diëlektricitätsconstanten von Einfluss sind. In

¹ Hopkinson, Phil. Trans. (2) 1881. Phil. Mag. (5) 13. 1882.

dieser Beziehung kommt vor allem Leitung in Betracht; denn, vergleichen wir die Capacitäten zweier gleichgeformter Condensatoren mit zwei Diëlektricis als Zwischenmitteln, von welchen das eine etwas leitet, das andere nicht, so wird die Capacität des ersteren um die durch Leitung weggeschaffte Elektricitätsmenge vergrössert scheinen. Mit Leitung nahe verwandt sind die Erscheinungen der diëlektrischen Nachwirkung, welche besonders von Boltzmann 1 studirt worden ist.

Von dieser Überlegung ausgehend, war das Ziel meiner experimentellen Untersuchung zu prüfen, ob die Abweichungen der Diëlektricitätsconstante einiger Isolatoren von dem Quadrate des zugehörigen Brechungsexponenten in einem Verhältnisse zu ihrer Leitungsfähigkeit stünden. Zugleich sollte die in neuerer Zeit aufgeworfene Frage beantwortet werden, inwieweit überhaupt bei Diëlektricis von einer Leitung im Sinne des Ohm'schen Gesetzes die Rede sein kann. Zwar konnte eine endgiltige Entscheidung aller dieser Fragen nicht getroffen werden, doch ergaben sich im Verlaufe der Untersuchung nicht uninteressante Beobachtungen über die Coëxistenz von diëlektrischer Verschiebung, Leitung und über Rückstandsbildung.

Die Versuche wurden auf Anregung des Herrn Prof. Franz $\mathbf{E}\,\mathbf{x}$ ner im physikalischen Cabinete der Wiener Universität ausgeführt.

T.

Die in der Literatur mitgetheilten Messungen des Widerstandes von Diëlektrieis sind recht spärlich. Nur Glas wurde seiner grossen, praktischen Wichtigkeit halber einer wiederholten, eingehenden Prüfung unterzogen. Über den Widerstand isolirender Flüssigkeiten fehlen bis auf die der neueren Zeit angehörigen classischen Untersuchungen Kohlrausch's und seiner Schüler — die sich aber auch nur auf Wasser, Alkohol und Äther erstrecken — überhaupt numerische Angaben.²

Die Frage, ob die Leitung in Diëlektricis dem Ohm'schen Gesetze entspricht, wurde von Quincke angeregt³, welcher bei

¹ Boltzmann, Wiener Ber. (2) LXX. S. 380. 1874.

² Über die einschlägige Literatur s. Wied. Lehrbuch I. Bd. S. 565.

³ Quincke, Wied. Ann. XXVIII. S. 529. 1886.

hohen Spannungen ein viel rascheres Anwachsen der Stromstärke beobachtete, als aus dem Ohm'schen Gesetze für die entsprechende Steigerung der elektromotorischen Kraft gefolgt wäre. Zwar konnten J. J. Thomson und H. F. Newall¹ diese Angaben nicht bestätigen, doch wurden ihre Versuche unter ganz anderen Bedingungen und hauptsächlich mit viel geringeren Spannungen als jene Quincke's angestellt.

Eine kurze Angabe über Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze bei niederen Spannungen (unter einem Daniell) macht endlich Schulze-Berge.²

Alle diese Untersuchungen leiden aber an dem gemeinsamen Übelstande, dass die Versuchsanordnungen nicht genügend variirt werden konnten, und die gewonnenen Resultate daher nur einen unvollkommenen Einblick in die Natur der zu erforschenden Phänomene gestatten. In den meisten Fällen kommt noch hinzu, dass eben bei den interessanten schlechtesten Leitern zur Erzeugung eines Ausschlages am Galvanometer oder zur Messung von Elektricitätsmengen sehr hoch gespannte Ströme benützt werden mussten. Unter diesen Umständen sind Nebenwirkungen, wie Elektrolyse, disruptive Entladungen etc. kaum zu vermeiden und können leicht den eigentlich zu beobachtenden Vorgang ganz verdecken.

TT.

Mein Bestreben war hauptsächlich darauf gerichtet, den Durchgang von Elektricität durch schlechte Leiter unter sehr mannigfachen Bedingungen, aber, um möglichst reine Resultate zu erhalten, bei Verwendung nur geringer elektromotorischer Kräfte, zu untersuchen.

In diesem Falle lassen sich auf galvanometrischem Wege nicht Resultate von genügender Genauigkeit erwarten. Bei der Bestimmung der in einer gewissen Zeit durch das Diëlektricum gedrungenen Elektricitätsmenge verzichtet man aber, abgesehen von anderen Unannehmlichkeiten, auf eine Beobachtung des Ver-

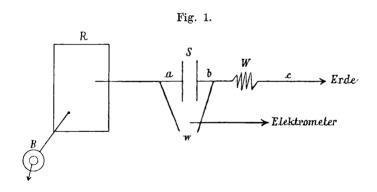
¹ J. J. Thomson und H. F. Newall, Proc. Roy. Soc. XLII, Nr. 256, pag. 410, 1887.

² Schulze Berge, Verh. der phys. Ges. in Berlin 14, 1, S. 90, 1885.

laufes der Erscheinungen mit der Zeit. Es war daher nur eine Messung des Widerstandes durch ein Elektrometer möglich. Die bekannte Methode, welche sich stets recht gut hewährte, beruht auf folgendem Principe.

Wird eine galvanische Batterie geschlossen, so ist das in jedem einzelnen Theile des Schliessungskreises auftretende Potentialgefälle dem Widerstande desselben proportional. Bestimmt man daher das Potentialgefälle in einem Theile des Schliessungskreises von bekanntem Widerstande, so kann aus diesem und der elektromotorischen Kraft der Batterie der Widerstand berechnet werden, welcher dem Reste des Schliessungskreises entspricht.

Danach ergab sich eine Versuchsanordnung, welche Figur 1 schematisch darstellt.



Der Kupferpol einer galvanischen Batterie (B) war direct, der Zinkpol durch einen Siemens'schen Stöpselrheostaten (R) leitend mit der Erde verbunden. Von dem Siemenskasten ging eine Zweigleitung ab, welche durch die zu untersuchende Substanz (S) und einen bekannten Vergleichswiderstand (W) auch zur Erde führte. In ihr war der Verlauf des Potentiales zu messen, und zu diesem Zwecke konnten zwei Punkte a und b vor und nach dem zu bestimmenden Widerstande abwechselnd durch eine Quecksilberwippe (w) mit dem Elektrometer verbunden werden. Bezeichnet a das dem Punkte a, b das dem Punkte b entsprechende Potential, so ist der gesuchte Widerstand gegeben durch die Formel:

$$x = \frac{a - b}{b} W,$$

wenn W den bekannten Vergleichswiderstand bezeichnet.

Das Herausziehen der Stöpsel des Siemenskastens gestattete eine bequeme, genau bestimmte Variation des in der ganzen Zweigleitung stattfindenden Potentialgefälles (a).

Obige Formel ist nur dann genau richtig, wenn der innere Widerstand der Batterie im Vergleiche zu jenem des Siemenskastens und dieser wieder im Vergleiche zu jenem der Zweigleitung zu vernachlässigen ist, was bei meinen Versuchen selbstverständlich stets der Fall war.

Als Elektricitätsquelle diente eine Batterie von 1 bis 8 sorgfältig zusammengestellten Daniell-Elementen; um übrigens von deren Constanz ganz unabhängig zu sein, wurde der einem Daniell entsprechende Elektrometerausschlag im Verlaufe einer Versuchsreihe mehrmals bestimmt.

Die zu untersuchende Flüssigkeit befand sich in einer Krystallisirschale, welche eben die Elektroden aufnehmen konnte. Letztere wurden gebildet von zwei gut polirten, vergoldeten Kupferplatten von kreisförmiger Gestalt und 3420 mm² Oberfläche. Nur bei jenen Substanzen, in welchen Wasser vermuthet werden konnte, kamen etwas kleinere, sorgfältig amalgamirte Zinkplatten in Verwendung. Die Elektroden waren durch Glasstückehen von genau bestimmter Dicke getrennt.

Bei festen Körpern wird die Versuchsanordnung von Fall zu Fall beschrieben werden.

Die einzige nennenswerthe Schwierigkeit bot die Herstellung geeigneter und so grosser Widerstände, dass mit denselben selbst jener von Isolatoren vergleichbar ist, denn die Forderungen, welche an einen guten Vergleichswiderstand gestellt werden müssen, sind folgende: Dass er constant bleibe, keine Spur von Polarisation zeige und einen nicht zu grossen, bestimmbaren Temperatur-

¹ Bei sehr zähen Flüssigkeiten, z. B. bei Ricinusöl legen sich oft die Glasplättchen nicht ganz an die Elektroden an, man muss, um Fehler zu vermeiden, die Elektroden gegen einander pressen, eventuell sehr geringe Elektrodendistanzen meiden. Der Widerstand der Glasstückehen war stets unendlich gross im Vergleiche zu jenem der untersuchten Flüssigkeitsschichte.

coëfficienten besitze. Diese Bedingungen liessen sich allerdings nur bis zu einer bestimmten Grenze ganz erfüllen, darüber hinaus musste ich mich mit einer möglichst guten Annäherung begnügen.

Bis 10⁶ S. E. wurden Widerstände aus Zinkvitriollösung von der Concentration der besten Leitungsfähigkeit hergestellt, indem zwei mit dieser Flüssigkeit gefüllte Gefässe durch ein heberförmiges Glasrohr untereinander verbunden wurden. Als Elektroden dienten dicke, gut amalgamirte Zinkdräthe. Bis 10⁸ S. E. wurden ähnliche Widerstände mit weniger concentrirter Zinkvitriollösung benützt. Die Änderungen mit der Temperatur wurden nach Kohlrausch's Bestimmungen in Rechnung gezogen.

Für noch grössere Widerstände fand ich nach manchen vergeblichen Versuchen eine concentrirte Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff am besten entsprechend. (Destillirtes Wasser, Alkohol und Äther erwiesen sich als unbrauchbar wegen nie ganz zu vermeidender Polarisation, Graphitwiderstände waren zu inconstant.) Zwei Platindräthe wurden in ein Glasröhrchen eingeschmolzen, so dass die Distanz ihrer Spitzen 0.5-10 mm betrug. besondere Sorgfalt musste dann auf die Entfernung der aussen und innen fest am Glase haftenden Feuchtigkeitsschichte verwendet werden, da sonst die Oberflächenleitung des Glases bei weitem jene der Lösung übertrifft. Zu diesem Zwecke wurde das Röhrchen mit eingeschmolzenen Platinelektroden an dem einen Ende zugeschmolzen, an dem anderen dünn ausgezogen und hier erst, nachdem das Glas durchaus auf Rothglut erhitzt worden war, rasch geschlossen. Während des Auskühlens wurde die Oberfläche, sobald es das Glas ohne zu zerspringen gestattete, vorsichtig mit Schellack bestrichen und nach vollkommener Erkaltung die Spitze des ausgezogenen Endes unter der Oberfläche der Jodlösung abgebrochen. Die Flüssigkeit stieg auf, das Röhrchen wurde nun wieder zugeschmolzen und endlich ganz in Paraffin eingebettet.

Auf diese Weise lassen sich sehr leicht Widerstände bis zu 10¹¹ S. E. herstellen, ja man kann durch Verringerung der Concentration der Lösung und Vergrösserung der Elektrodendistanz fast zu beliebig hohen Werthen fortschreiten, aber die Verwendung so grosser Leitungswiderstände findet eine Grenze in der mangelhaften Isolation des Elektrometers und seiner Zuleitungen selbst.

Es wurde z. B. im Sommer der scheinbare Widerstand des Elektrometers auf 10¹³ S. E., im Winter allerdings auf viel mehr geschätzt.

Bevor die Jodschwefelkohlenstoffwiderstände zu Messungen benützt wurden, ruhten sie zum Mindesten einen Monat aus. Dann erwiesen sie sich als recht constant und zeigten auch einen verhältnissmässig nicht bedeutenden Temperaturcoëfficienten, immerhin mussten sie bei jedesmaligem Gebrauche mit den ganz verlässlichen Zinkvitriolwiderständen verglichen werden. zwei unerwartete Übelstände machten sich bemerkbar. Widerstand schien, erstens nach langer Durchströmung bis um 8% zuzunehmen, und zweitens sich mit dem Potentialgefälle des durchfliessenden Stromes zu vergrössern. Beide Unregelmässigkeiten sind wahrscheinlich durch das Lösungsmittel bedingt. indem wir im Verlaufe der Untersuchungen denselben Erscheinungen bei allen Diëlektricis begegnen werden. 1 Die folgende Tabelle I zeigt die Änderungen des kleinsten Jodschwefelkohlenstoffwiderstandes mit der elektromotorischen Kraft (E) des durchfliessenden Stromes.

	Tabelle I.
	t = 24° C.
E.	W.
1 Dan.	172·107 S. E.
1	$172 \cdot 10^7$, ,
2	$174 \cdot 10^7$
4	$178 \cdot 10^7$
8	$182 \cdot 10^7$

Der Widerstand bei 8 Daniell übertrifft um 5·5°/0 seines Werthes jenen bei einem Daniell. Für elektromotorische Kräfte unter einem Daniell ergaben sich indess stets gleiche Werthe und, da in den Versuchen das Gefälle im Vergleichswiderstande nie diese Grenze erreichte, können diese Unregelmässigkeiten keinen Einfluss auf die Resultate ausüben.

Als grösste Widerstände kamen schliesslich solche ausreinem Schwefelkohlenstoffe zur Verwendung; dann konnte es sich aber nur darum handeln, mit ihrer Hilfe überhaupt noch eine Spur von Leitungen zu entdecken, denn bei reinem Schwefelkohlenstoffe

¹ Reine Jodwiderstände sind hingegen unbrauchbar, weil das Jod auskrystallisirt, und dadurch sich sein Widerstand ändert.

steigern sich die erwähnten Unregelmässigkeiten so bedeutend, dass er als Vergleichswiderstand zu quantitativen Messungen ganz unbrauchbar ist.

Auf diese Weise wurde ein Rheostat hergestellt, welcher von 10⁴ bis über 10¹¹ S. E. reichte, so zwar, dass im Mittel das Verhältniss je zweier aufeinander folgender Widerstände 1:5 betrug. Die Calibrirung desselben geschah eben nach der beschriebenen Methode, indem von einem Siemens'schen Metallrheostaten ausgehend, zu immer grösseren Widerständen vorgeschritten wurde.

Als Messapparat diente ein Thomson'sches Quadrantelektrometer nach dem vereinfachten Modelle des Professors v. Lang in gewöhnlicher Schaltung. Die Lemniscate wurde durch eine Zamboni'sche Säule geladen. Die Ablesung erfolgte mittelst Spiegel und Fernrohr, das in einer Distanz von 4m aufgestellt war. Den verschiedenen Anforderungen entsprechend, wurde auch dem Elektrometer verschiedene Empfindlichkeit gegeben. Sie variirte von 80 bis 400 Theilstrichen für ein Daniell. Die Ausschläge waren den Potentialen zwar nicht vollkommen proportional, konnten aber leicht durch ein quadratisches Correctionsglied proportional gemacht werden. Da die Genauigkeit in diesem Punkte von der grössten Wichtigkeit für die folgenden Untersuchungen ist, führe ich zwei Messungsreihen genau bekannter Potentiale bei verschiedener Empfindlichkeit des Elektrometers an. Die erste Colonne gibt durch den Stöpselrheostaten variirte Potentiale E, die zweite den beobachteten Ausschlag I, die dritte den Quotienten $\frac{l'}{E}$ an, wenn l' den nach der beigefügten

Formel corrigirten Ausschlag bedeutet.

		Tab	elle II.		
E	l	$rac{l'}{m{E}}$	$oldsymbol{E}$	l	$\frac{l'}{E}$
$\frac{1}{8}$ D.	20	1 60	$\frac{1}{8}$ D.	34	272
$\frac{1}{8}$ D. $\frac{1}{4}$ n	$39 \cdot 8$	160	1/4 27	$67 \cdot 5$	272
.1 2	$79 \cdot 2$	160	<u>1</u> n	$133 \cdot 8$	$271 \cdot 6$
1 "	156.8	160	1 "	$264 \cdot 8$	$272 \cdot 1$
ľ	$= l + \frac{1}{8000} l^2$		ľ	$= l + \frac{1}{9000}$	l^2

Man sieht, dass die Unproportionalität selbst bei den grössten Ausschlägen nicht $3^{\circ}/_{\circ}$ erreicht und durch die Formel vollkommen corrigirt wird.

Zum Schutze gegen Luft und Wärmeströmungen war das Elektrometer ganz von einem Pappgehäuse umgeben, und selbst der Zuleitungsdraht wurde, um ihn von der äusseren Luft abzuschliessen, durch eine Reihe mittelst Kautschukschläuchen verbundener Glasröhren geführt, welche einen wirksamen Schutz gegen elektrischen Staub boten. Einen kleinen Übelstand brachte diese Anordnung allerdings durch Vergrösserung der Capacität des Messapparates mit sich.

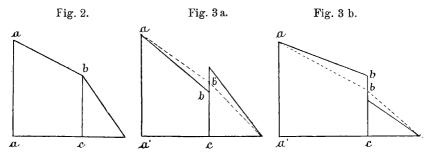
Die Ausführung der Versuche gestaltet sich nun folgendermassen: Nach Bestimmung des Nullpunktes und des einem Daniell entsprechenden Ausschlages wurde der Punkt b mit dem Elektrometer verbunden und das Potential desselben bei durch den Stöpselrheostaten verändertem Gefälle in der Zweigleitung bestimmt, stets von niederen zu höheren elektromotorischen Kräften vorschreitend. Es ist sehr wichtig eben diese Reihenfolge einzuhalten, da jeder Strom ein unvollkommenes Diëlektricum verändert, so dass nur bei noch nie, oder annähernd, bei nur von Strömen geringeren Gefälles durchflossenen Substanzen reine Resultate zu erwarten sind. Leider ist es unmöglich, diese Regel immer, auch für die Messungen nach langer Durchströmungsdauer einzuhalten. Dieselbe Messungsreihe wurde für jede Elektrodendistanz durchgeführt, auch hier von kleineren zu grösseren fortschreitend, indem stets von Zeit zu Zeit der einem Daniell entsprechende Ausschlag wieder bestimmt wurde.

Mehrere Fehlerquellen können erst im Verlaufe der Versuche besprochen werden, da sie enge mit der Theorie der unvollkommenen Diëlektrica verknüpft sind, hier will ich nur auf eine aufmerksam machen.

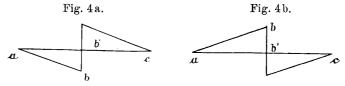
Das wahre Verhältniss der Potentialgefälle in den beiden, der Zweigleitung eingeschalteten Widerstände kann nur dann aus den in den Punkten a und b beobachteten Potentialen berechnet werden, wenn im Verlaufe der Zweigleitung keine andere als die elektromotorische Kraft der galvanischen Batterie wirksam ist. Diese Bedingung lässt sich aber sehr selten erfüllen, da selbst die sorgfältigst gleich hergestellten Elektroden oft noch

mit dem Diëlektricum ein schwaches Element geben. Ja auch die Zinkvitriolwiderstände erwiesen sich als sehr constante Elemente von 0.005 bis 0.01 Daniell elektromotorischer Kraft, wahrscheinlich in Folge des Angriffes, welchen das Zink durch im Wasser occludirten Sauerstoff erfährt; nur die Jodschwefelkohlenstoffwiderstände zeigten nie eine Potentialdifferenz ihrer Elektroden.

Der wahre Verlauf des Potentialgefälles in der Zweigleitung stellt sich daher nicht, wie man erwarten sollte, nach Figur 2, sondern nach Figur 3 (a oder b, je nach der Richtung des neu auftretenden Potentialsprunges) dar. ¹



Das am Elektrometer abgelesene Potential des Punktes b entspricht der Strecke bc. Diese ist um die Grösse bb' von dem wahren, d. i. jenem Werthe verschieden, welchen der Punkt b ohne die im Verlaufe der Zweigleitung hinzutretenden elektromotorischen Kräfte annehmen würde. Für diese Grösse bb' ist eine Correction anzubringen, welche leicht auf folgende Weise bestimmt werden kann:



Verfolgen wir den Ausgleich nur jener Potentialsprünge, welche in der Zweigleitung selbst entstehen, ohne dass sie ein fremder Strom durchfliesst, so wird sich derselbe, wie Figur 4

¹ Das Diagramm ist nur ein schematisches, da ja in Wirklichkeit viel mehr Potentialsprünge stattfinden, doch genügt es wohl zur Veranschaulichung des auftretenden Fehlers.

zeigt, darstellen. Die Punkte a und c werden das Potential der Erde annehmen, der Punkt b hingegen um die Grösse bb' von demselben abweichen. Da sich nun bei Durchströmung der Zweigleitung die Potentiale des Punktes b einfach superponiren, so wird auch in diesem Falle das beobachtete Potentiale des Punktes b, d. i. bc um dieselbe Grösse bb' von dem wahren Werthe abweichen. Es genügt daher eine einmalige Bestimmung der Grösse bb', d. i. das Potential des Punktes b, wenn kein Strom die Zweigleitung durchfliesst, nur ist darauf zu achten, dass überhaupt noch kein Strom das Diëlektricum passirt hat, da die nach einer Durchströmung zu Tage tretenden Rückstände keine genaue Bestimmung so kleiner Grössen mehr gestatten.

An und für sich ist die Correction meist unbedeutend (nur in einem Falle erreichte sie —12 Theilstriche), doch würde ihre Nichtbeachtung bei variablen Potentialgefällen in der Zweigleitung einen constanten Fehler bedingen, welcher selbst bei ganz normal leitenden Körpern Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze vortäuschen würde.

III.

Die Untersuchung erstreckte sich auf folgende Substanzen:

- 1. Petroleumäther, Terpentinöl.
- 2. Leinöl (kalt und warm gepresst), Ricinusöl, Olivenöl, Mandelöl.
 - 3. Benzol, Toluol, Xylol.
 - 4. Schwefelkohlenstoff, Vaselinöl.
 - 5. Wasser, Alkohol, Äther.
 - 6. Schwer und leicht schmelzbares Glas.
 - 7. Guttapercha, Paraffinpapier, Ebonit, Hartgummi.

Die untersuchten unvollkommenen Diëlektrica sind meist schlecht definirte, in ihrer chemischen Zusammensetzung sehr variable Körper, so dass den erhaltenen absoluten Werthen nur eine beschränkte Bedeutung beizulegen ist. Ich suchte diese Unsicherheit zum Theile durch Messung mehrerer, zu verschiedenen Zeiten gekaufter Proben zu beheben. Hiebei stimmten die Resultate für die Öle ziemlich gut überein, während sie für noch bessere Isolatoren in weiten Grenzen variirten. Am ungleich-

mässigsten erwiesen sich, wie zu erwarten, die Destillationsproducte des Petroleums, selbst das so häufig gebrauchte Vaselinöl leitete manchmal verhältnissmässig gut, während es gewöhnlich zu den besten flüssigen Isolatoren zu zählen ist. Stets ganz verlässlich isolirte nur Benzol.

Bei den schlechtesten Leitern ergab schon eine oberflächliche Beobachtung bedeutende Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze: Der scheinbar specifische Widerstand nimmt mit der Durchströmungsdauer zu und ändert sich sowohl mit der elektromotorischen Kraft des durchgeleiteten Stromes als auch mit der Dicke der durchflossenen diëlektrischen Schichte. Eine genauere Prüfung ergab ferner, dass diese Erscheinungen sich bei allen unvollkommenen Diëlektricis verfolgen lassen, nur in verschieschiedenem Grade und Charakter je nach der Substanz.

In dem folgenden Abschnitte sollen die bei der Durchströmung von Petroleumäther und Terpentinöl erhaltenen Resultate discutirt werden. Beide Diëlektrica zeigen auffallende Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze, nehmen aber in Bezug auf die Art derselben gerade extreme Stellungen ein.

Die Beobachtungen sind in der Weise in Tabellen zusammengestellt, dass die erste Verticalreihe das gesammte Potentialgefälle der Zweigleitung (E) in Daniells angibt, die folgenden das dem Vergleichswiderstande entsprechende Potentialgefälle in Scalentheilen des Elektrometerausschlages. Wäre der zu untersuchende Körper ein vollkommener Leiter, so würde aus einer leichten Überlegung folgen, dass diese Grösse bei gleichbleibendem Vergleichswiderstande der Stromstärke proportional ist. Nun verliert aber für unvollkommene Diëlektrica das Ohm'sche Gesetz seine Giltigkeit, wir können daher nicht mehr von Strömen im gewöhnlichen Sinne sprechen, dessenungeachtet soll in dem folgenden dieser Ausdruck gebraucht werden, um die irgendwie beschaffenen, aber Strömen äquivalenten Vorgänge in dem Diëlektricum zu bezeichnen, in demselben Sinne, wie man ja auch diëlektrische Verschiebung als einem Strome äquivalent annimmt. Das Diëlektricum soll wie ein vollkommener Leiter von variablem Widerstande aufgefasst werden und dem entsprechend die scheinbare Stromstärke mit i bezeichnet werden. (In Figur 3 würde E der Strecke aa, i der Strecke be entsprechen.) Ferner wurden der Quotient $\frac{\imath}{E}$ berechnet, welcher dem reciproken Werthe des jeweiligen scheinbaren Widerstandes der ganzen Zweigleitung proportional ist. Er gewährt den leichtesten Überblick der Veränderungen der scheinbaren Leitungsfähigkeit des Diëlektricums, da dieses ja den einzigen variablen Bestandtheil der Zweigleitung bildet.

Zur Abkürzung sei:

d. = Elektrodendistanz.

W. = Vergleichswiderstand.

D. = Daniell.

Th. = Theilstrich.

A. d. $\pm 0.15 \, mm$

60 ,

T. = Durchströmungsdauer.

Wenn nicht ausdrücklich bemerkt, wurden als Elektroden die vergoldeten Kupferplatten benützt.

Alle mitgetheilten Beobachtungen sind schon corrigirt.

1. Petroleumäther.

Der Siedepunkt der untersuchten Probe lag bei 68° C.

B. d. = 1.135 mm

Tabelle III. W. = 179.10 ⁷ S. E. D. = 330Th.			Tabelle IV.		
			$W = 1181.10^7 \text{ S. E.}$		
$t = 22^{\circ}$.			D. =	330 Th. t =	22°.
\boldsymbol{E}		$rac{i}{E}$	$\boldsymbol{\mathit{E}}$		$rac{i}{E}$
½ Dan.	14 (?)	112	1	46	46
1	10	40	2	58	29
1 8	11	22	4	78	$19 \cdot 5$
1	12	12	8	97	$12 \cdot 1$
2	$15 \cdot 2$	7.6			
4	20	5	T = 60	m	
8	$24 \cdot 6$	$3 \cdot 1$			
777			1	22	22
W = 1181.	107 S. E.	E = 8 D.	2	32	16
T			4	4 5	11.25
1 m		127 Th.	8	62	7.7

100

C. d. = $7 \cdot 49 \, mm$.

	Tabelle V.		Tabelle V	I.
	$W. = 1181.10^7 \text{ S.}$ D. = 330 Th. t =		$W. = 236.10^8 \text{ S. E.}$ D. = 330 Th.	$t = 22^{\circ}$. $E = 8D$.
E		$\frac{i}{E}$	$m{T}$ 1 m	$i \\ 179$
1 2 4 8	23 38 66 103	23 19 16.5 12.3	8 18 30 35 60	151 129 119 115 100
			600	4 9

Tabelle VII.
Absoluter Widerstand des Petroleumäthercondensators.

E	1/4	1	8	8
т.	1 m	1 m	1 m	lang 1
d. 0·15 mm 1·135 ,, 7·49	130.108 S.E.	474.108 729.108 1580.108	1888.108 3166.108 3070.108	2398.108 5066.108 12750 108

Tabelle VIII.

Aus Tabelle VII sich ergebende scheinbare specifische
Widerstände des Petroleumäthers.

E	1/4	1	8	8
T.	1 m	1 m	1 m	lang
d. 0·15 mm 1·135 " 7·49	296.10 ¹⁵ S. E.	$1081.10^{15} \\ 220.10^{15} \\ 72 \cdot 1.10^{15}$	4304.10 ¹⁵ 940.10 ¹⁵ 141.10 ¹⁵	5465 10 ¹⁵ 1531.10 ¹⁵ 582.10 ¹⁵

 $^{^{\}rm 1}$ Die Zahlen gelten für die längste in den vorigen Tabellen angegebene Durchströmungsdauer.

Ähnliches Verhalten zeigen alle Destillationsproducte des Petroleums.

Rectificirte	es Petroleum:	Käufliche	es Petroleum:
$\mathbf{d.} = 0.875 mm$	E = 1 D.	$d_{\cdot} = 0.875 mm$	E = 1 D.
$t.=24\cdot4^{\circ}$	T. = 15 m	$\mathrm{t.}=22^{\circ}$	T. = 2 m
Sp. W. $=$	288 · 1015 S. E.	Sp. W. =	188·10 ¹⁴ S. E.

2. Terpentinöl.

Die zu den folgenden Versuchen benützten Proben waren käufliches, rectificirtes Terpentinöl, wie es unter dem Namen "Terpentingeist" in den Handel kommt. Die Proben sind sehr ungleich. Weitaus am deutlichsten zeigte die erste die für ein unvollkommenes Diëlektricum charakteristischen Eigenschaften.

1. Probe.

A. d. = $0.15 \, mm$.

	Tabell W. = 179.10 ⁷ S D. = 33	. E. t. = 24°	W = 102	abelle X. 1 2.10 5 S. E. D. = 330 Th.	t. = 24°
E		$rac{i}{E}$	\boldsymbol{E}		$rac{i}{E}$
10	28	224	1	22	22
1 6	56	224	2	36	18
18 14 12	109	218	4	62	15 ·5
1	212	212			
		$W. = 179 \cdot 10^7 \text{ S. I}$ $D. = 330 \text{ Th.}$	E. $E = 1 D$ $t = 24^{\circ}$	-	
		T.			
		$1\frac{1}{2}$ m	212		
		3	207		
		6	198		

¹ Ich mache darauf aufmerksam, dass wegen der Änderung des Vergleichswiderstandes Tabelle X keine directe Fortsetzung von Tabelle IX ist, denn von dem gleichen Potentialgefälle in der Zweigleitung (= 1Dan.) kommt im ersten Falle nur ein Drittel, im zweiten fast das ganze auf den Terpentinölcondensator.

B. d. $= 1.135 \, mm$.

 $W. = 1022.10^5 \text{ S. E.}$ D. = 305 Th. t. = 24°

Tabelle XIa.

Tabelle XIb.

Т.	1 ₁ m	1 ^h	2 ^h	4 ^h
E				
1 2 4 8	40 72 116 172	8 14 24 46	$6 \cdot 4$ $11 \cdot 6$ 20 $37 \cdot 4$	5·6 10 17 32

T.	$1_{rac{1}{2}^{ ext{m}}}$	4 b
E	$\frac{i}{E}$	$\frac{i}{E}$
1 2 4 8	$ \begin{array}{c c} 40 \\ 36 \\ 29 \\ 21 \cdot 5 \end{array} $	5·6 5 4·25 4

$C. d. = 7.49 \, mm.$

W. = 1022,10⁵ S. E. für T. = $1\frac{1}{2}$ ^m bis 3^h15ⁿ W. = 179,10⁷ S. E. für T. = 3^h25^m bis 4^h30^m D. = 330 Th. t. = 24°

Tabelle XII a.

Tabelle XIIb.

Ī	Т.	1 <u>1</u> m	1 ^h	3 ^h 15 ^m	3 ^h 25 ^m	4 ^h	4 ^h 30 ^m
	E						
	1 2 4 8	49·9 99·7 196·8 388·4		- 6·5 13	 82 153·5	20 38·2 67·4 124·5	$52 \cdot 4$

Ī	Т.	1 ₁ m	4 ^h 30 ^m
	E	$\frac{i}{E}$	$\frac{i}{E}$
	1 2 4 8	49·9 49·8 49·2 48·6	15 13·8 13·1 12·6

Tabelle XIII.

$$E = 1 D. t. = 24^{\circ}$$

d.	Absoluter Widerstand des Terpentinölcondensators		Specifischer Widerstand des Terpentinöles	
	$T=1_{\frac{1}{2}^m}$	T = lang	T=11 m	T = lang
0·15 mm 1·135 7·49	91.10 ⁷ S. E. 67·7.10 ⁷ 51·8.10 ⁷	$120.10^{7} \\ 581.10^{7} \\ 3460.10^{7}$	$\begin{array}{c} 228 \cdot 10^{14} \\ 20 \cdot 5 \cdot 10^{14} \\ 2 \cdot 37 \cdot 10^{14} \end{array}$	$273.10^{14} \\ 176.10^{14} \\ 158.10^{14}$

2 Probe

Zinkelektroden.

d. =
$$0.885 \, mm$$
 W. = 145.10^8 S. E. T. = 2^m t. = 17°

E		$rac{i}{E}$	Sp. W.
1	19	19	851,10 ¹⁴ S. E.
2	$37 \cdot 5$	$18 \cdot 7$	890.1014 "
3	54	18	935.10^{14}
4	$70 \cdot 4$	17.6	952.1014
5	$85 \cdot 6$	$17 \cdot 1$	1008.10^{14}

3. Probe.

$$E=2$$
 D. d. = 0.145 mm W. = $179\cdot10^7$ S. E. T. = 1^h t. = 22^o Sp. W. = $158\cdot10^{15}$

IV.

Zur leichteren Übersicht will ich die gewonnenen Resultate in drei Gruppen eintheilen.

- 1. Änderungen des scheinbaren specifischen Widerstandes des Diëlektricums mit der Durchströmungsdauer.
- 2. Änderungen des scheinbaren specifischen Widerstandes mit der elektromotorischen Kraft des durchfliessenden Stromes.
- 3. Änderungen des scheinbaren specifischen Widerstandes mit der Dicke der durchströmten diëlektrischen Schichte.

1. Änderungen des scheinbaren specifischen Widerstandes des Diëlektricums mit der Durchströmungsdauer.

Es ist eine schon seit langer Zeit bekannte und ganz regelmässig auftretende Erscheinung, dass der beobachtete Widerstand eines Diëlektricums keine constante Grösse ist, sondern mit der Durchströmungsdauer zunimmt. Die Intensität des durch dasselbe geschickten Stromes scheint auch dementsprechend mit der Zeit kleiner zu werden, und zwar entfällt der grösste Theil der Veränderungen auf die ersten Secunden der Durchströmung.

In dem Momente, da ein unvollkommenes Diëlektricum den Kreis einer Batterie schliesst, entsendet diese einen starken Stromstoss, dessen Intensität aber so rasch abnimmt, dass der beobachtete Ausschlag in wenigen Secunden oft auf ein Fünftel seines Werthes sinkt. Die wahren Änderungen der Stromstärke sind noch viel bedeutender und rascher, können aber von der Elektrometernadel wegen ihrer Trägheit nicht wiedergegeben werden. Dieselbe Erscheinung tritt auf bei jeder Vergrösserung der elektromotorischen Kraft des durchfliessenden Stromes.

Die Integralsumme fidt der in den ersten Secunden nach Schluss der Batterie auftretenden sehr veränderlichen Ströme will ich im Folgenden als Schliessungsstrom bezeichnen. Die ihnen entsprechenden Werthe sind in den vorstehenden Tabellen nicht aufgenommen, da ihre Bestimmung wegen der grossen Veränderlichkeit kaum möglich ist. Es wird aber später bemerkt werden, dass der scheinbare Widerstand der untersuchten Diëlektrica im ersten Momente nach Stromschluss verschwindend klein im Vergleiche zu jenem des bekannten, eingeschalteten Widerstandes ist, so dass die in diesem Zeitpunkte auftretende Stromstärke in dem gewählten freien Masse durch jenen Elektrometerausschlag dargestellt werden müsste, welcher dem vollen Potentialgefälle in der Zweigleitung (= E) entspricht.

Nach Ablauf des Schliessungsstromes hat die bleibende Stromintensität noch keinen constanten Werth erreicht, sondern nimmt oft Stunden hindurch weiter ab, anfangs schneller, später langsamer, bis sie sich endlich einer bestimmten Grenze nähert. Wir haben hier ganz dieselben Erscheinungen vor uns, wie sie englische Physiker für den Verlauf von Strömen durch Kabelisolirungen beschrieben haben.

Der Übergang des Schliessungstromes in diesen Zustand langsamer Abnahme der Stromstärke mit der Zeit erfolgt nie ganz schroff, sondern mehr weniger allmälig. Der Unterschied der beiden Zustände ist nur ein gradueller und beruht auf der Raschheit der Veränderungen mit der Zeit. Er verschwindet umsomehr, je kleiner die Potentialdifferenz und je grösser die Distanz der Elektrodenplatten ist; d. h. je weniger die im Condensator herrschende diëlektrische Spannung beträgt. Für extreme Fälle kann man die Resultate dahin zusammenfassen, dass die Veränderungen der Stromstärke mit der Zeit bei grosser Spannung hauptsächlich unmittelbar nach Stromschluss und nur zu geringem Theile in der folgenden Periode stattfinden, hingegen bei nie-

derer Spannung gleichmässig vertheilt sich auf ein grösseres Zeitintervall erstrecken.

Verfolgen wir diese Erscheinungen an den als Beispiele gewählten Diëlektricis:

Bildet Petroleumäther das Diëlektricum des durchströmten Condensators, so war der Schliessungsstrom sehr stark, und der Übergang desselben in den Zustand allmäliger Abnahme der Stromstärke erfolgte am unvermitteltsten von allen untersuchten flüssigen Diëlektricis. Eine Minute nach Stromschluss, zu welcher Zeit die mitgetheilten Beobachtungen beginnen, betrugen die Veränderungen des Ausschlages kaum einen Theilstrich in der Minute, und man musste längere Zeit warten, um eine merkliche Abnahme der Stromstärke mit der Zeit constatiren zu können. Sie betrug in einer Stunde für Condensatordicken von 0.15, 1.135, 7:49 mm, respective 21, 36, 44% (Tab. III, IV, VI). Man sieht, die in dieser späteren Periode erfolgte Abnahme der Stromstärke wächst mit der Condensatordicke, während die Intensität des entsprechenden Schliessungsstromes kleiner wird. Es war eben diese Beobachtung, welche zur Aufstellung obiger Behauptung führte, dass, je grösser die diëlektrische Spannung im Condensator ist, ein desto grösserer Theil der Abnahme der Stromintensität mit der Zeit auf die ersten Augenblicke nach Stromschluss, ein desto kleinerer auf die folgende Periode entfällt.

Die Untersuchung von Terpentinöl ergab bei gleicher Condensatordicke schwächere Schliessungsströme als Petroleumäther, die Veränderungen der Stromstärke in späteren Perioden erreichen aber einen viel grösseren Betrag, so dass das Verhalten des Terpentinöls bei grossen Spannungen vergleichbar ist mit jenem des Petroleumäthers bei kleinen Spannungen, wie man sie etwa durch weitere Vergrösserung der Elektrodendistanz hätte herbeiführen können. In diesem Sinne lassen sich die Beobachtungen an Terpentinöl wie eine Fortsetzung jener an Petroleumäther auffassen.

Die ersten Ablesungen wurden bei Terpentinöl erst 1½^m nach Stromschluss vorgenommen, in welcher Zeit die Abnahme des Elektrometerausschlages in 5^s keinen ganzen Theilstrich mehr betrug.

Bei einer Elektrodendistanz von 1·15 mm war nach einer Stunde die Stromstärke auf ¹/₄ ihres Werthes nach 1 ¹/₂ ^m, (von

172 auf 46 Th. Tab. XIa), bei 7·49mm sogar auf $^{1}/_{14}$ gesunken (von 388·4 auf 28 Th. Tab. XIIa). Doch während die ferneren Veränderungen mit der Zeit im ersten Falle nicht gross waren, erfolgte im zweiten innerhalb $3^{1}/_{2}$ eine weitere so bedeutende Abnahme der Stromstärke, dass dieselbe nur $^{1}/_{66}$ jener nach $1^{1}/_{2}$ betrug. Ja berücksichtigen wir die noch auf die letzte halbe Stunde entfallende Veränderung von 23 Theilstrichen, so können wir selbst diese Stromstärke nicht für die zu erreichende untere Grenze ansehen.

2. Änderungen des scheinbaren specifischen Widerstandes mit der elektromotorischen Kraft.

Der zweite Punkt, in welchem sich unvollkommene Diëlektrica von wahren Leitern unterscheiden, besteht darin, dass der scheinbare specifische Widerstand von der elektromotorischen Kraft des durchfliessenden Stromes nicht unabhängig ist, sondern mit derselben wächst. Die Stromstärke nimmt langsamer zu als die sie erzeugende elektromotorische Kraft. Die durch dieses Verhalten bedingten Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze sind am leichtesten in jenen Tabellen zu überblicken, welche den Verlauf des Quotienten $\frac{\hat{i}}{E}$ angeben. Man sieht, diese Abwei-

chungen sind bei Petroleumäther sehr bedeutend, nehmen aber mit der Elektrodendistanz ab. Für Terpentinöl sind sie viel geringer, bei kleinster Elektrodendistanz erreichen sie jene des Petroleumäthers für grösste Condensatordicke, nehmen aber ebenfalls mit fortschreitender Condensatordicke ab. Hat diese endlich 7·49 mm erreicht, so scheint das Ohm'sche Gesetz wenigstens unmittelbar nach Stromschluss nahezu befolgt. Auch in dieser Beziehung bilden die Beobachtungen an Terpentinöl gleichsam eine Fortsetzung jener an Petroleumäther.

Dass Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze auftreten müssen, folgt schon aus der im vorigen Abschnitte besprochenen Thatsache, dass der Charakter des zeitlichen Verlaufes von Strömen in einem unvollkommenen Diëlektricum von der elektromotorischen Kraft derselben abhängt. Ja aus den geschilderten Stromstärkenänderungen im Condensator bei verschiedenen

diëlektrischen Spannungen könnte man alle Abweichungen vorausbestimmen. Es würde sich ergeben, dass ein Maximum der Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze existiren muss, welches für grosse Spannungen sehr bald nach Stromschluss eintritt, für geringe zeitlich immer weiter hinausrückt.

Eine genaue Bestimmung der verschiedenen elektromotorischen Kräften zukommenden Stromstärken unter ganz gleichen Bedingungen stösst aber auf grosse experimentelle Schwierigkeiten, da, wie erwähnt, der scheinbare Widerstand des Diölektricums mit der Durchströmungsdauer zunimmt: Die erste Beobachtung wurde in der Weise angestellt, dass die Stromstärke bei niederster elektromotorischer Kraft bestimmte Zeit nach Stromschluss gemessen wurde. Gieng man aber nun zu höheren elektromotorischen Kräften über, so trafen diese eine schon von schwächeren Strömen veränderte Substanz an, so dass genau gleiche Bedingungen für die Versuche bei verschiedenen elektromotorischen Kräften selbst in der ersten Beobachtungsreihe nicht hergestellt werden können.

Dessgleichen sind die Stromstärkenbestimmungen nach langer Durchströmungsdauer nicht ganz zuverlässig, und zwar aus folgendem Grunde: Der Condensator blieb, vom stärksten Strome durchflossen stehen, und nach längerer Zeit wurde die der grössten elektromotorischen Kraft entsprechende Stromstärke beobachtet. Diese Bestimmung ist einwurfsfrei, aber die darauf folgenden bei niederen elektromotorischen Kräften können durch Rückstände getrübt werden, welche einem dem primären entgegengesetzten Strome nach Art eines Polarisationsstromes äquivalent sind und daher die scheinbare Stromstärke verringern, wie dies noch genauer besprochen werden wird. Um daraus entspringende gröbere Fehler zu vermeiden, wurde allerdings mit der Beobachtung einige Zeit nach Verringerung der Potentialdifferenz der Condensatorplatten gewartet, bis der grösste Theil des wieder zu Tage tretenden Rückstandes fortgeschafft war, doch lässt sich nie volle Sicherheit gewinnen, dass dieser Zustand bereits eingetreten sei.

Aus diesen Gründen ist ein Vergleich der Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze, wie sie nach verschiedener Durchströmungsdauer auftreten, sehr unsicher, und es fehlte nicht an einander widersprechenden Beobachtungsreihen. Immerhin ergab sich aus einer grossen Reihe von Messungen, dass für Petroleumäther die Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze nach langer Durchströmungsdauer kleiner waren als unmittelbar nach Stromschluss. (Tab. IV.) Dasselbe Resultat wurde für Terpentinöl bei mittlerer Elektrodendistanz erhalten, (Tab. XIb) betrug diese jedoch 7·49 mm, so war eine deutliche Zunahme der Abweichungen mit der Durchströmungsdauer bemerkbar. (Tab. XIIb.)

3. Änderungen des scheinbaren specifischen Widerstandes mit der Elektrodendistanz.

Unter sonst gleichen Bedingungen scheint der specifische Widerstand eines Diëlektricums um so kleiner, je grösser die Elektrodendistanz ist. Die Veränderungen sind so auffallend, dass bei Vergrösserung der Elektrodendistanz der scheinbare absolute Widerstand des Condensators oft nicht wächst, sondern abnimmt. So scheint z. B. bei Terpentinöl der Widerstand des Condensators kurz nach Stromschluss um so kleiner, je weiter die Elektroden von einander entfernt sind. (Tab. XIII.) Dieses Verhalten schliesst jede Erklärung durch Übergangswiderstände und verwandte Vorgänge aus, doch lassen sich diese Erscheinungen mit den im vorigen Abschnitte beschriebenen in Verbindung bringen, wenn man die Veränderung der Potentialdifferenz und der Elektrodendistanz von einem gemeinsamen Gesichtspunkte aus betrachtet, d. h. von dem Begriffe der diëlektrischen Spannung ausgeht.

Wir haben gesehen, dass der scheinbare Widerstand mit der Spannung im Condensator zunimmt. Eine Abnahme der Spannung kann nun sowohl durch Verkleinerung der Potentialdifferenz der Condensatorplatten als auch durch Vergrösserung ihrer Distanz erreicht werden. Wir haben daher bei Vergrösserung der Distanz der Condensatorplatten aber gleichbleibender Potentialdifferenz dieselben Resultate zu erwarten, welche bei gleichbleibender Elektrodendistanz durch eine Verringerung der Potentialdifferenz herbeigeführt worden wäre, denn beiden Vorgängen entspricht eine Verkleinerung der im Diëlektricum herrschenden Spannung; in beiden Fällen wird daher der scheinbare specifische Widerstand abnehmen.

Zur Erklärung der bedeutenden scheinbaren Widerstandsänderungen besonders bei Terpentinöl reicht aber dieser Grund nicht aus. Wir werden später bei Besprechung der Ursachen der Widerstandszunahme mit der Zeit einen weiteren wichtigen Factor kennen lernen.

Da, wie im ersten Abschnitte hervorgehoben wurde, die Zunahme des scheinbaren specifischen Widerstandes mit der Zeit um so bedeutender und andauernder ist, je weniger die diëlektrische Spannung beträgt, so gleichen sich auch die grossen Unterschiede des scheinbaren specifischen Widerstandes mit der Elektrodendistanz nach langer Durchströmungsdauer aus. Bei Terpentinöl fast vollständig, viel weniger bei Petroleumäther, so dass bei letzterer Substanz selbst nach langer Durchströmung, zu einer Zeit, da die Stromintensität constant geworden ist, und wir wahrscheinlich schon von wahrer Leitung sprechen können, noch Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze beobachtet werden.

V.

Von den oben beschriebenen, für die Durchströmung unvollkommener Diëlektrica charakteristischen Erscheinungen sind die Veränderungen der Stromstärke mit der Zeit die wichtigsten, da sich, wie erwähnt, auf diese die meisten Unregelmässigkeiten zurückführen lassen dürften. Wir werden uns daher vor allem mit diesem Vorgange zu beschäftigen haben, und zwar will ich als Ausgangspunkt der folgenden Untersuchung die Auffassung Maxwell's wählen, welcher den scheinbaren, ein Diëlektricum passirenden Strom auf drei Ursachen zurückführt.

- 1. Auf Ladung des Diëlektrieums als Condensator, d. h. auf diëlektrische Verschiebung.
- 2. Auf einen "in Ermanglung eines besseren Ausdruckes als Polarisation zu bezeichnenden" Vorgang, welcher sehr enge mit der Rückstandsbildung zusammenhängt.
 - 3. Auf wahre Leitung.

Der Einfluss des ersten Factors erschöpft sich sehr rasch, der des zweiten im Verlaufe einiger Stunden und nur der des letzten ist von der Zeit unabhängig.

¹ Maxwell, Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus, §. 366.

1. Diëlektrische Verschiebung.

Es liegt nahe anzunehmen, dass der intensive, aber sehr kurz dauernde Stromstoss, welchen die Batterie unmittelbar nach erfolgter Schliessung durch den Condensator sendet, nicht der wahren Leitung in demselben, sondern seiner Capacität entspricht, indem die Elektrodenplatten mit der diëlektrischen Flüssigkeit eine Franklin'sche Tafel von nicht unbedeutender Capacität bilden, deren Ladung eben durch den ersten Stromstoss erfolgt. Die Intensität desselben zeigt auch in Übereinstimmung mit dieser Ansicht einen der Capacität des Condensators proportionalen Gang. Ferner ist ja aus den Untersuchungen über die Diëlektricitätsconstante bekannt, dass Petroleumäther und Terpentinöl vollständig die Eigenschaften eines Diëlektricums zukommen.

Setzt man nun nach Maxwell die der Ladung eines Condensators entsprechende diëlektrische Verschiebung einem Strome äquivalent, so kann man in gewissem Sinne auch von einem Widerstande sprechen, welchen ein Diëlektricum der Erzeugung eines Zwangszustandes entgegengesetzt. Dieser Widerstand wird in meinen Versuchen im ersten Momente nach Stromschluss mit jenem der übrigen Leitung verglichen. Er erscheint stets sehr gering, doch ist der Verlauf des Processes ein so rascher, dass er nicht gemessen werden kann. Aus Versuchen Herwig's 1 fst aber bekannt, dass der scheinbare Widerstand eines Paraffincondensators in Bruchtheilen der ersten Hundertelsecunde nach Stromschluss nur etwa 100 S. E. beträgt. Nehmen wir dieselbe Grössenordnung für die scheinbaren Widerstände der Flüssigkeitscondensatoren in unseren Versuchen an, so verschwindet derselbe vollständig gegen den eingeschalteten Vergleichswiderstand. Die grösste Intensität des Ladungsstromes wird daher durch den Vergleichswiderstand (wenn ich diesen als vollkommenen Leiter auffasse) allein bestimmt sein, was auch bei Besprechung der Versuche angenommen wurde.

Der Capacität des Condensators entspricht also sicher ein kurzer, intensiver Ladungsstrom, aber nun entsteht die weitere Frage, ob dieser allein zur Erklärung der Integralsumme *fidt* der unmittelbar nach Schliessung der Batterie auftretenden

¹ Herwig, Wied. Ann. XIII, S. 169, 1881.

Ströme von sehr rasch abnehmender Intensität ausreicht, welche unter der Bezeichnung "Schliessungsstrom" zusammengefasst wurden. Dies ist nicht der Fall. Vor allem spricht dagegen die kurze Zeit, welche diëlektrische Verschiebungen zu ihrer Entwicklung bedürfen. Nach Root¹ genügen hiezu weniger als 0·000082 Secunden. Bei der grossen Capacität meines Elektrometers und der Trägheit seiner Nadel hätte ein so kurzer Stromstoss eine viel geringere Wirkung als die beobachtete hervorgebracht, wie dies auch durch Vergleich mit dem Ladungsstrome eines Luftcondensators bestätigt wurde. Ferner war der Schliessungsstrom für ganz gleich geformte Condensatoren bei Petroleumäther viel grösser als bei Terpentinöl, obwohl die Diëlektricitätsconstanten dieser beiden Substanzen nicht sehr verschieden ist.

Andererseits wurde aber schon früher die Continuität der Stromstärkenänderungen, den Schliessungsstrom mit einbezogen, hervorgehoben, so dass wohl auch für die raschen Änderungen in den ersten Secunden zum grössten Theile dieselben Ursachen massgebend sein dürften, wie für die viel langsameren, welche in späteren Perioden stattfinden. Mit diesen wollen wir uns im folgenden Abschnitte beschäftigen.

2. Rückstandsbildung.

Die allmälige Abnahme der Intensität eines durch Kabelisolirungen geschickten Stromes erklärt Maxwell² auf folgende Weise:

"Man wird annehmen können, dass die Erscheinung einer eigenthümlichen, in Ermanglung eines besseren Ausdruckes als Polarisation zu bezeichnenden Bedingung, in die Guttapercha unter dem Einflusse einer elekrischen Kraft tritt, ihre Entstehung verdankt. Sowie die Polarisation begonnen hat, tritt eine innere elektromotorische Kraft auf, die in der Substanz dem Strome entgegenwirkt und soweit anwächst, bis sie entweder einen dem primären Strome entgegengerichteten und an Stärke ihm gleichen Strom hervorgebracht hat, oder bis der Polarisationszustand durch die wirkliche Leitungsfähigkeit der Substanz sich allmälig verliert."

¹ Root, Pogg. Ann. CLVIII, S. 1, 425.

² Maxwell, l. c.

Durch Heranziehung einer elektromotorischen Gegenkraft scheint Maxwell einen Vorgang anzunehmen, welcher mit elektrolytischer Polarisation Ähnlichkeit besitzt, man dürfte aber zu einem leichteren Verständnisse dieser Erscheinungen gelangen, wenn man die Verwendung betrachtet, welche die von der Batterie gelieferten Elektricitätsmengen im Schliessungskreise erfahren.

Ich will in dem Folgenden von allen Wirkungen des Stromes nach aussen absehen und nur die Vorgänge im Inneren des Schliessungskreises berücksichtigen.

Von den Zuständen, welche die einer Batterie entnommenen Elektricitätsmengen im Schliessungskreise hervorbringen, sind nur zwei genauer studirt:

1. Die diëlektrische Verschiebung, durch Bestimmung von Diëlektricitätsconstanten.

2. Die Leitung.

Der wesentliche Unterschied dieser beiden Zustände besteht darin, dass die verbrauchten Elektricitätsmengen in der diëlektrischen Verschiebung als elektrische Energie erhalten bleiben und auch als solche zurückgewonnen werden können, während die Leitung auf einer fortdauernden Umwandlung von Elektricität in Wärme beruht. Während ferner die diëlektrische Verschiebung zu ihrer Erhaltung keines weiteren Elektricitätszuflusses bedarf, müssen zur Unterhaltung der Leitung fortwährend die als Wärme verlorenen Elektricitätsmengen ersetzt werden. Aus dem Elemente fliessen neue Elektricitätsmengen nach, welche wieder eine Umwandlung in Wärme erfahren und so fort bis sich Gleichgewicht zwischen zufliessender und verbrauchter Elektricitätsmenge hergestellt, d. h. ein constanter Strom entwickelt hat.

Untersuchen wir nun den Zustand, in welchen ein unvollkommenes Diëlektrieum unter dem Einflusse eines constanten Stromes tritt, so begegnen wir alsbad der diëlektrischen Verschiebung, welche dem kurzen, intensiven Ladungsstrome entspricht. Hierauf folgt ein Zustand continuirlicher Abnahme der Stromstärke. Wollten wir schon in diesem Stadium eine reguläre Leitung annehmen, so wären die grossen Veränderungen der Stromstärke mit der Zeit unerklärlich. Es liegt daher nahe, zu untersuchen, ob sich nicht vielleicht neben Leitung Vorgänge

entdecken liessen, welche, wie die diëlektrische Verschiebung, zwar Strömen äquivalent sind, ohne aber auf wahrer Leitung, d. h. auf Umsetzung von Elektricität in Wärme zu beruhen. Ist der Verlauf dieses vermutheten Vorganges mit der Zeit veränderlich, so könnte auf ihn die Abnahme der scheinbaren Stromstärke zurückgeführt werden.

Die erste Frage, welche sich nun aufdrängt, ist folgende: Wenn dieser supponirte Vorgang Strömen äquivalent ist, ohne aber weder diëlektrischer Verschiebung, noch Leitung gleichgesetzt werden zu können, in welcher Energieform befindet sich die ihm entsprechende von der Batterie gelieferte Elektricitätsmenge? Die Versuche lehren, dass sie als Rückstand im unvollkommenen Diëlektricum aufgespeichert ist. Diesen Zustand werden wir nun genauer zu untersuchen haben.

Entladet man einen lang durchströmten von einem unvollkommenen Diëlektricum gebildeten Condensator, dessen eine Belegung zur Erde abgeleitet ist, so wird nach kurzer Zeit die zweite Belegung wieder ein Potential zeigen; welches mit dem ursprünglichen gleiches Vorzeichen hat, aber nicht dessen vollen Werth erreicht. Entfernt man auch diese Ladung, so wird neuerdings eine ähnliche, aber etwas kleinere auftreten und sofort.

Es muss daher in dem Diëlektricum etwas verborgen sein, woraus sich Potentialdifferenzen der Condensatorplatten entwickeln können. Diese Quelle wieder zu Tage tretender Condensatorladungen nennt man Rückstand. Der Erforschung desselben wollen wir uns nun zuwenden.

Die Leichtigkeit, mit welcher sich Rückstände in disponible Ladung, respective in diëlektrische Verschiebung verwandeln, lässt auf ihre nahe Verwandtschaft mit diesem Zustande schliessen, aber doch bestehen bedeutende Unterschiede.

Erstens kommt dem Rückstande an und für sich kein elektrisches Potential zu, denn unmittelbar nach Entfernung der disponiblen Ladung zeigen die Condensatorbelegungen noch keine Potentialdifferenz. Diese entwickelt sich erst allmälig mit der Umwandlung von Rückstand in freie Elektricität.

Zweitens, und darin besteht der Hauptunterschied, haftet der Rückstand fest an dem unvollkommenen Diëlektricum, in welchem er gebildet wurde, während der Polarisationszustand eines Diëlektrieums nur von der Summe der vorhandenen Elektricitätsmengen und der räumlichen Vertheilung von Conductoren und Diëlektricis abhängt. So könnten wir z. B. die der Capacität eines Condensators mit vollkommenem Diëlektricum entsprechende Elektricitätsmenge auf einer der Belegungen concentriren, indem wir dieselbe in das Unendliche entfernen. Nicht so die als Rückstände aufgespeicherten Elektricitätsmengen, sondern diese bleiben an das Diëlektricum gebunden, wie dies klar aus Versuchen von Wüllner¹ erhellt: Wird von einem Rückstände enthaltenden Condensator eine der Belegungen entfernt, so wird dadurch allerdings der Polarisationszustand des Diëlektricums, aber nicht sein Rückstand gestört, dieser entwickelt sich vielmehr ganz unverändert zu freier Elektricität an den nun unbelegten Oberflächen des Diëlektricums.

Durch diese Eigenschaft, fest an dem Diëlektricum zu haften und selbst nach Entladung des Condensators dasselbe nicht leicht zu verlassen, nähert sich die dem Rückstande entsprechende Energieform jener der Wärme und scheint so einen Übergangszustand zu bilden, welchen die Elektricität bei ihrer allmäligen Umwandlung von diëlektrischer Verschiebung in Wärme durchläuft.

Auf eine Eigenschaft des Rückstandes möchte ich noch aufmerksam machen: Wie von Faradey und Maxwell hervorgehoben wurde, befindet sich das Diëlektricum in einem geladenen Condensator in keinem natürlichen, sondern einem gezwungenen Zustande. Dasselbe kann man auch vom Rückstande behaupten, indem dieser nie für sich allein besteht, sondern stets einer freien Elektricitätsmenge, der disponiblen Ladung bedarf, welche ihm wie unter einem Drucke in dem Diëlektricum zurückhält. Wird der Condensator entladen, so erzeugt der Rückstand selbst eine so grosse Ladung, dass ihr Druck seinem Gegendrucke Gleichgewicht hält.

Umgekehrt wird auch die einem Condensator mit unvollkommenem Diëlektricum zugeführte Elektricitätsmenge nicht zur Erzeugung der diëlektrischen Verschiebung allein, sondern alsbald

¹ Wüllner, Wied. Ann. I, S. 247, 361, 1877.

auch zur Rückstandsbildung verwendet, bis zwischen diesen beiden sich gegenseitig bestimmenden Zuständen Gleichgewicht eingetreten ist. Dieser Vorgang ist aus den zahlreichen Bestimmungen des Ladungsverlustes bei Leydnerflaschen bekannt, welche zugleich zeigen, wie primäre diëlektrische Verschiebung sich allmälig in Rückstand verwandelt.

Gehen wir nun zur Betrachtung der constanten Durchströmung eines unvollkommenen Diëlektricums über, so geschieht in diesem Falle die Rückstandsbildung unter dem Drucke der elektromotorischen Kraft der Batterie. Gegen diesen üben aber die schon gebildeten Rückstände einen Gegendruck, dessen Stärke mit der Menge des angesammelten Rückstandes wächst, bis er endlich jenem der äusseren elektromotorischen Kraft Gleichgewicht hält, womit das Ende der Rückstandsbildung erreicht ist. Dieser Gegendruck des angesammelten Rückstandes entspricht vollkommen der elektromotorischen Gegenkraft Maxwell's.

Die zur Erzeugung des Rückstandes in den Condensator gepressten Elektricitätsmengen sind nun in unseren Versuchen Strömen äquivalent, deren Intensität durch die Stärke der jeweiligen Rückstandsbildung bedingt ist, also mit der Zeit abnimmt. Sie entsprechen dem vermutheten zwischen diëlektrischer Verschiebung und Leitung stehenden Vorgange.

Nach vollendeter Rückstandsbildung sollte man nun ein vollständiges Verschwinden der Ströme erwarten, doch tritt dieser Fall nicht ein, sondern die Stromstärke nähert sich einer constanten Grenze. Die diesem bleibenden Strome entsprechende Elektricitätsmenge muss durch Leitung fortgeschafft werden, da wir kaum eine unbegrenzte Anhäufung elektrischer und Rückstandsenergie im Diëlektricum erwarten können. Unter dem Drucke der elektromotorischen Kraft der Batterie findet eben eine weitere Umwandlung der elektrischen Energie bis in Wärme statt.

Fassen wir die gewonnenen Resultate zusammen, so kann die allmälige Abnahme der Elektricitätsaufnahme eines unvolkommenen Diëlektricums nach Art einer Stauung aufgefasst werden, welche in dem Umwandlungsprocesse von Elektricität in Wärme eintritt. Das Diëlektricum ist nur im Stande, eine geringe Elektricitätsmenge durch Leitung fortzuschaffen, es

sammeln sich daher unter dem Drucke der äusseren elektromotorischen Kraft allmälig Elektricitätsmengen in den Übergangsstadien an, welche von der primären diëlektrischen Verschiebung zu dem Endresultate, der Umwandlung in Wärme führen.

Da auf diese Weise die Rückstandsbildung als ein Übergang zur Leitung erscheint, könnte es nahe liegen, aus starker Rückstandsbildung eines Diëlektricums auf dessen bessere Leitungsfähigkeit zu schliessen. Diese Voraussetzung trifft aber durchaus nicht in allen Fällen zu, indem von gleich ausgezeichneten Isolatoren der eine viel, der andere wenig Rückstand aufnimmt.

Die Beobachtung der allmäligen Abnahme der Stromstärke in einem unvollkommenen Diëlektricum erlaubt aber mehr als einen allgemeinen Schluss, dass Rückstandsbildung stattfinde, sie gibt uns auch ein Mittel an die Hand, die Grösse derselben zu bestimmen, indem die Integralsumme $\int_0^t idt$ weniger der Capacität des Condensators und der in dieser Periode durch Leitung fortgeschafften Elektricitätsmenge gleich dem Rückstande sein muss.

Da diese Methode der Rückstandsbestimmung sich von allen gebräuchlichen unterscheidet, welche stets von dem nach Entfernung der disponiblen Ladung wieder zu Tage tretenden Rückstande ausgehen (nur Giese 1 beobachtete die Rückstandsbildung direct), unternahm ich eine Reihe von Versuchen zum Vergleiche der nach beiden Methoden gewonnenen Resultate. In allen bisher angestellten Beobachtungen wurde das Augenmerk nur auf das Potential des wieder zu Tage tretenden Rückstandes gerichtet. Diese gestatten aber keinen directen Schluss auf die dem Rückstande entsprechenden Elektricitätsmengen. Allerdings wird unter sonst ganz gleichen Umständen grösserer Rückstand auch eine stärkere disponible Ladung entwickeln, wenn daher z. B. Dieterici² findet, dass für denselben Paraffincondensator und dieselbe elektromotorische Kraft der ladenden Batterie das Potential des wieder zu Tage getretenen Rückstandes mit der Durchströmungsdauer zunimmt, so kann

¹ Giese, Wied. Ann. IX. pag. 161, 1880.

² Dieterici, Wied. Ann. XXV, pag. 545, 1885.

dieses Resultat sicher die Deutung erfahren, dass die Rückstandsmenge zugenommen hat, doch liefert dieses Verfahren kein Mass für die Elektricitätsmenge.

Eine viel genauere Schätzung der dem Rückstande entsprechenden Elektricitätsmenge gestattet wiederholtes Entladen des rückstanderfüllten Condensators, wie es schon von Kohlrausch¹ geschehen ist. In dieser Weise ausgeführte Versuche Hopkinson's können sämmtlich als Beweise dafür angesehen werden, dass die Rückstandsmenge mit der Durchströmungsdauer zunimmt, was auch mit den Ladungserscheinungen übereinstimmt.

Statt den Condensator oft zu entladen, kann man endlich noch direct die beiden Belegungen durch einen bekannten Widerstand schliessen und den auftretenden Rückstrom messen. Der Condensator verhält sich dann wie eine Secundärbatterie, welche die ganze zu ihrer Ladung verbrauchte Elektricitätsmenge zur Erzeugung eines Rückstromes verwendet. Die Intensität desselben kann entweder galvanometrisch gemessen werden, wie bei Kabelisolirungen, oder elektrometrisch, indem man das Potentialgefälle in einem bekannten, dem Schliessungskreise eingeschalteten Widerstande misst. Die zum Ausgleiche kommenden Elektri-

citätsmengen sind dann durch die Formel $\int_0^\infty I^2 R dt$ gegeben, wenn R den Widerstand im ganzen Schliessungskreise bedeutet. Letzterer Weg wurde von mir eingeschlagen, indem die Verbindung der Condensatorbelegungen durch denselben Widerstand hergestellt wurde, welcher zur Messung des Ladungsstromes gedient hatte.

Es ist zwar auch auf diese Weise keine genaue absolute Messung der dem Rückstande entsprechenden Elektricitätsmenge möglich, da weder die variable elektromotorische Kraft des Rückstromes, noch der wahre Widerstand des Diëlektricums, welcher bei dieser Anordnung dem inneren Widerstande eines Secundärelementes vergleichbar ist, bekannt ist. Die Intensität des Rückstromes blieb scheinbar immer weit hinter der des entsprechenden Ladungsstromes zurück (den auf wahre Leitung entfallenden Bruchtheil desselben natürlich abgerechnet), was sich bei den minimalen in Spiel kommenden Elektricitätsmengen

¹ Kohlrausch, Pogg. Ann. XCI, pag. 56, 1854.

² Hopkinson, Phil. Trans. Roy. Soc. London, CLXVII, pag. 599. 1877.

leicht aus Isolationsfehlern, der Absorption der verwendeten isolirenden Materialien, dem Elektricitätsverbrauche des Elektrometers, dessen Capacität nicht unbedeutend war, und vor allem daraus erklärt, dass der Rückstrom nicht unter dem Drucke einer so starken unveränderlichen elektromotorischen Kraft, wie jener der Batterie entsteht. In Folge dessen waren die Verluste, besonders wenn die Rückstandsbildung, wie bei schwacher diëlektrischer Spannung langsam vor sich gieng, sehr bedeutend; dann schienen die im Diëlektricum aufgespeicherten Elektricitätsmengen nur sehr zähe und unvollkommen aus demselben hervorzutreten.

Wenn es daher überhaupt nicht gelingt, durch Messung des wieder zu Tage tretenden Rückstandes verlässliche absolute Werthe zu erhalten, so liefern die Untersuchungen doch recht gut untereinander vergleichbare Resultate, welche ich in grossen Umrissen mittheile:

Die wieder zu Tage tretenden Rückstände wurden nach kurz dauernder Entladung des Condensators bestimmt. Sie waren verschieden:

- 1. Je nach dem Diëlektricum, sehr gering, meist nicht nachweisbar bei Petroleumäther, bedeutender bei Terpentinöl.
- 2. Sie nahmen bei derselben Substanz zu mit der Durchströmungsdauer und
- 3. bei gleichbleibender Potentialdifferenz der Condensatorplatten mit der Elektrodendistanz.

Wie erinnerlich, halten die zur Erzeugung der betreffenden Rückstände, als Ladungsströme beobachteten Elektricitätsmengen dieselbe Reihenfolge in Bezug auf ihre Grösse ein. ¹

¹ Von vielen Beobachtern konnten in Flüssigkeiten überhaupt keine Rückstände nachgewiesen werden. Die Ursache dieses negativen Resultates dürfte wohl darin zu suchen sein, dass die Ladung zu kurze Zeit gedauert hatte. Die mitgetheilten Elektricitätsmengen sind daher sehr gering und werden leicht durch wahre Leitung und die Entladung selbst fortgeschafft. Immerhin beobachteten J. J. Thomson und H. F. Newall (Proc. R. Soc. XLII, Nr. 256, p. 410, 1887) wieder zu Tage tretenden Rückstand bei Schwefelkohlenstoff und auch Hertz (Wied. Ann. Bd. XX, S. 279) verfolgte nach Giese's Methode die Rückstandsbildung in Benzin. Hertz glaubte allerdings dieselbe durch Convection vermittelst suspendirter Staubtheile erklären zu können.

Das Interesse für den wieder zu Tage tretenden Rückstand knüpft sich aber weniger an die numerischen Resultate als an die Beobachtung des zeitlichen Verlaufes, welchen die Umwandlung von Rückstand in elektrische Energie nimmt. Um die Continuität dieses Entladungsvorganges zu erhalten, ist es jedoch nothwendig, den Condensator nicht erst kurz zu entladen und den dann noch zu Tage tretenden Rückstand zu messen, sondern einfach den zeitlichen Verlauf des Rückstromes zu beobachten. Man sieht bei dieser Anordnung, dass dem Rückstrome durchaus keine constante Stromstärke zukommt, er zeigt vielmehr ganz ähnliche Intensitätsschwankungen, wie der entsprechende, der Richtung nach entgegengesetzte Ladungsstrom, so dass hier die schon oft hervorgehobene Analogie zwischen Rückstand und elastischer Nachwirkung in einem neuen Lichte erscheint.

An der Entladung können wir denselben Unterschied zwischen den in den ersten Augenblicken und den in späteren Perioden auftretenden Strömen bemerken, ja der Gegensatz zwischen diesen beiden Zuständen ist noch schärfer ausgesprochen als bei der Ladung, da der kurze Entladungsstrom dieselbe Intensität wie der ihm vollkommen entsprechende Schliessungsstrom zu besitzen scheint, während aber der bleibende Rückstrom dem lange anhaltenden Ladungsstrome an Intensität, wie oben erwähnt, weit nachsteht. Desgleichen tritt der Unterschied in dem Verhalten der beiden untersuchten Diëlektrica Petroleumäther und Terpentinöl viel deutlicher hervor. Bei nahezu gleicher Capacität der mit den beiden Diëlektricis gebildeten Condensatoren übertrifft der Entladungsstrom des Petroleumäthers um mehr als das Zehnfache jenen des Terpentinöls, so dass an diesem Vorgange wieder zu Tage tretender Rückstand sicher den Hauptantheil haben muss. Dadurch gewinnt zugleich unsere früher ausgesprochene Ansicht, dass auch an der Bildung des Schliessungsstromes nicht nur diëlektrische Verschiebung betheiligt sei, eine mächtige Stütze. Man sieht daraus ferner, einen wie unvollkommenen Einblick in den Zustand eines

¹ Gaugain gibt an, dass gerade die in den ersten zwei Secunden von einem Condensator aufgenommene Elektricitätsmenge durch eine kurz dauernde Entladung entfernt werde. (Ann. de chim. et de phys. 4. série, t. II, p. 264.)

rückstanderfüllten Diëlektricums die gebräuchliche Beobachtungsweise des erst nach der Entladung wieder zu Tage tretenden Rückstandes ohne Berücksichtigung der Entladung selbst, gewährt.

Betrachtet man nun die eigenthümliche Stellung, welche die Energieform des Rückstandes als Übergangszustand zwischen diëlektrischer Verschiebung und Wärme einnimmt, so folgt, dass ihm kein homogener Zustand entsprechen kann, sondern dass sich ein Theil derselben mehr der diëlektrischen Verschiebung, ein anderer mehr der Wärme anlehnen wird. Überlegt man ferner, dass die Verwandtschaft des Rückstandes mit der diëlektrischen Verschiebung hauptsächlich auf der Möglichkeit und Leichtigkeit einer Umwandlung in diesen Zustand beruht, jene mit der Wärme hingegen auf der Zähigkeit, mit welcher Rückstände an dem Diëlektricum haften, und hält damit die Thatsache zusammen, dass unter manchen Umständen die Rückstandsbildung rasch verläuft, eben so rasch aber auch die Wiederumwandlung desselben in diëlektrische Verschiebung, unter anderen langsamer, aber auch der gebildete Rückstand nur langsam, ja selbst gar nicht mehr zu Tage tritt, so wird man zu dem Schlusse geführt, dass diesen verschiedenen Bildungsweisen und Verhalten des Rückstandes auch verschiedene Arten desselben entsprechen. Er wird in dem einen Falle mehr der diëlektrischen Verschiebung, in dem anderen mehr der Wärme ähnlichen Charakter besitzen.

In einem continuirlich durchströmten Diëlektricum sind Rückstände in allen Übergangsstufen von der diëlektrischen Verschiebung bis zur Wärme enthalten. Nur überwiegen in dem einen, wie in Petroleumäther, die der diëlektrischen Verschiebung verwandten Formen, in dem anderen, wie in Terpentinöl, die der Wärme nahe stehenden. Eine Erhöhung der Spannung im Diëlektricum befördert vielmehr die Bildung von Rückständen der ersten, als jene der zweiten Art. Nach dieser Auffassung des Rückstandes wird es auch leicht erklärlich, warum die in späteren Perioden der Durchströmung entwickelten Rückstände, die sich sicher nicht mehr bedeutend von Wärme unterscheiden, so unvollkommen aus dem Diëlektricum wieder zu Tage treten.

Eine quantitative Bestimmung der, dem rasch abnehmenden Schliessungsstrome entsprechenden Rückstandsbildung konnte in meinen Versuchen nicht vorgenommen werden; es finden sich aber in den Untersuchungen mehrerer Physiker numerische Angaben über die Vorgänge während dieser wichtigen Periode.

Domalip¹ und nach ihm Gruss und Biermann² bestimmten die Zeit, welche eine gewisse Elektricitätsmenge zu ihrem Transporte durch Diëlektrica bedurfte. Auf welche Weise dieser Transport erfolgte, ob durch diëlektrische Verschiebung, Rückstandsbildung oder Leitung, kann nach ihren Versuchen nicht entschieden werden. Jedenfalls ist nach unseren Erfahrungen unmittelbar nach Stromschluss Rückstandsbildung der einflussreichste Factor. Die erwähnten Physiker massen daher nicht, wie sie vermutheten, die Leitung der Diëlektrica, sondern die Intensität der kurz nach Stromschluss stattfindenden Rückstandsbildung.

Die zum Transporte gleicher Elektricitätsmengen nothwendigen Zeiten verhielten sich bei:

	\mathbf{Wasser}		Petroleum	Terpentinöl
wie	1	zu	3.2	74.5.

Man sieht, dass der Transport derselben Elektricitätsmenge durch Petroleum mehr als zwanzigmal weniger Zeit als durch Terpentinöl beansprucht in Übereinstimmung damit, dass die von mir beobachteten der Rückstandsbildung dieser Periode äquivalenten Ströme bei der ersten Substanz stärker als bei der zweiten sind. Obwohl Terpentinöl bei langer Durchströmung mehr Rückstände aufnimmt als Petroleum und auch an Leitungsfähigkeit die letzte Substanz übertrifft.

Eben dieselben Versuche lehren, dass der scheinbare Widerstand des Petroleums in den ersten Zeittheilchen nach Stromschluss nur dreimal grösser ist als jener des Wassers, obwohl sein wahrer Widerstand um das viele Millionenfache grösser ist.

Mit gleicher Geschwindigkeit wie sich Rückstand in Petroleumäther ansammelt, geht auch dessen Wiederumwandlung in freie Elektricität vor sich. Wir haben gesehen, dass die disponible Ladung wie ein Druck zu wirken scheint, welcher die als Rück-

¹ Domalip, Wiener Ber. LXXV (2), April 1877.

¹ Gruss und Biermann, Wiener Ber. LXXVII (2) 1878.

stand an den Molekülen haftenden Elektricitätsmengen an dieselben anpresst. Erst mit Nachlassen desselben sollen jene zum Vorscheine kommen. Die Moleküle des Petroleumäthercondensators nehmen nun Elektricität mit grosser Lebhaftigkeit auf, halten sie aber nur in leichter Bindung fest, so dass im Momente der Entladung bei nachlassendem Drucke des Zwangszustandes ein Theil der in den Molekülen als Rückstand zurückgedrängten Elektricitätsmengen sich wieder in freie Elektricität verwandelt und gleich an der Entladung theilnimmt. Dieses Verhalten erklärt die Erscheinung, warum bei einigermassen länger dauernder Entladung keine Rückstände mehr in dem Petroleumäthercondensator zu entdecken waren. Je kürzere Zeit aber die Verbindung der beiden Condensatorplatten gedauert hatte, desto sicherer konnte man auf wieder zu Tage tretende Rückstände rechnen.

Geschieht endlich die Rückstandsbildung so schnell, dass ein merklicher Theil derselben schon auf die kurze Zeit entfällt, welche die Ladung des Condensators bei Messung von Diëlektricitätsconstanten beansprucht, so muss diese zu gross ausfallen. Bei Petroleum tritt diese Erscheinung noch nicht ein, denn die beobachtete Diëlektricitätsconstante stimmt ziemlich mit dem von der Maxwell'schen Theorie verlangten Werthe überein, wohl aber bei den meisten festen Diëlektricis.

Flintglas zeigt in dieser Beziehung das auffallendeste Verhalten. Die Elektricitätsmengen, welche ein aus diesem Materiale hergestellte Leydnerflasche aufnimmt, sind ungemein variabel, aber selbst bei kürzester Ladungsdauer erscheint die entsprechende Diëlektricitätsconstante noch zu gross. Analoges Verhalten bietet die Entladung dar, welche zwar stets sehr stark ist, aber wesentlich von der Entladungsdauer abhängt, indem Gaugain nachwies, dass die nach derselben im Condensator noch zurückbleibende Elektricitätsmenge um so grösser ist, je kürzer die Entladung gedauert hatte. Wurde der Knopf einer Leydnerflasche nur einen Moment ableitend berührt, so konnte der Rück-

¹ Vergl. Hopkinson, Proc. Roy. Soc. t. XXVI., p. 298.

² Schwedoff, (Pogg. B. CXXXV S. 418) bestimmte calorimetrisch den Betrag der Entladung zweier gleichgeformter aus Flintglas und aus Ebonit hergestellter Condensatoren und fand erstere dreimal so gross, als die zweite.

stand bis gegen ein Drittel der zur Ladung verbrauchten Elektricitätsmenge betragen. Alle diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass wir bei Ladung eines Flintglascondensators neben diëlektrischer Verschiebung noch bedeutende, aber ungemein rasch verlaufende Rückstandsbildung vor uns haben, welche sich zeitlich von dem ersten Vorgange gar nicht trennen lässt. Ja ich glaube, dass eben dieser Eigenschafteines unvollkommenen Diëlektricums, rasch Rückstand zu bilden, denselben aber eben so rasch wieder in freie Elektricität zu verwandeln, der Flintglascondensator seine grosse Wirksamkeit verdankt. Die nach einer Entladung von zwei Secunden noch zu Tage tretenden Rückstände sind nach Hopkinson 1 nur mehr ganz unbedeutend.

Die Ansicht, dass die an der Entladung einer Leydnerflasche participirenden Elektricitätsmengen auch von Rückständen herstammen, findet in den Beobachtungen Rjike's,² dass der Rückstand einer Flintglasleydnerflasche wesentlich von dem Widerstande des sie entladenden Körpers abhängt, eine weitere Stütze. Denn dieser Widerstand bedingt die Schnelligkeit, mit welcher der Druck der jeweiligen disponiblen Ladung auf den Rückstand nachlässt, und dadurch die Umwandlung desselben in freie Elektricität, welche mit an der Entladung Theil nimmt, gestattet. Rjike fand für das Verhältniss des Potentiales der Ladung zu jenem des Rückstandes bei Entladung der Flasche durch Hanf oder Messing folgende Werthe:

	Entladung durch				
_	Hanf	Messing			
$\frac{R}{L}$	0.117, 0.137.	0.073, 0.076.			

Endlich scheinen Versuche Hopkinson's dafür zu sprechen, dass die einem Flintglascondensator mitgetheilte Elektricitätsmenge auf ganz besondere Weise in demselben festgehalten werde. Hopkinson lud eine Flintglasleydnerflasche, deren innere und äussere Belegung Schwefelsäure bildete, durch mehrere Stunden mit 48 Elementen. Wurde hierauf die eine Belegung

¹ Hopkinson, Phil. Trans. Roy. Soc. of London, vol. CLXVII pag. 599.

² Rjike, Pogg. Ann. CXIII, S. 327, 1861.

³ Hopkinson, l. c.

abgeleitet, die andere mit dem Elektrometer verbunden, so zeigte dieses einen Ausschlag von 240 Theilstrichen, der sich im Laufe der Zeit auf folgende Weise verringerte:

15.	Juli	. 240 Theilstriche.
23.	Juli	.183
9.	August	. 175
14.	September.	. 163
14.	October.	. 140

Die der Zerstreuung an die Luft ausgesetzte Oberfläche ist allerdings klein, aber dieser Umstand könnte doch nicht den minimalen Elektricitätsverlust erklären. Es würde ja z. B. der dem Ladungsverluste vom 23. Juli bis 9. August entsprechende Zerstreuungscoëfficient weniger als ½,00 des gewöhnlich angenommenen betragen, obwohl auch fortwährend, wenn selbst unbedeutende Verluste durch Leitung eintreten. Dieses aussergewöhnliche Verhalten wird aber leicht verständlich, wenn wir in dem nur leicht zurückgehaltenen Rückstande des Condensators ein Reservoir freier Elektricität sehen, welches die durch Zerstreuung an die Luft und durch Leitung eintretenden Verluste der disponiblen Ladung nach Möglichkeit ersetzt.

3. Leitung.

Unter dem Drucke der äusseren elektromotorischen Kraft wird ein Theil, der in ein Diëlektricum hineingepressten Elektricitätsmengen in Wärme immer ähnlichere Formen und endlich in Wärme selbst übergeführt. Während mir nun in dem vorigen Abschnitte hauptsächlich die Übergangsstufen zwischen diëlektrischer Vorschiebung und Rückstand betrachtet haben, kämen wir jetzt zur Untersuchung der Übergangsformen zwischen Rückstand und Wärme. Diese entziehen sich aber leider ganz der Beobachtung, wie die Wärmeerscheinungen selbst; wir müssen nur aus theoretischen Gründen auf ihre Existenz schliessen, da mehr Elektricität in das Diëlektricum eintritt als durch Leitung fortgeschafft wird und durch Entladung wieder zurückgewonnen werden kann.

Die der wahren Leitung entsprechenden Ströme können erst nach beendeter Rückstandsbildung beobachtet werden, d.i.wenn die Stromstärke einen constanten Werth angenommen hat, weil nur dann die in jedem Zeittheilchen zugeführte Elektricitätsmenge genau der in Wärme umgesetzten gleich ist. Die Zeit, welche bis zum Eintritte dieses Zustandes verstreicht, ist verschieden je nach der Substanz und den Versuchsbedingungen, am längsten bei grosser Elektrodendistanz.

Jetzt sind wir aber im Stande, eine weitere Ursache der auffallend starken und lange anhaltenden Rückstandströme bei grosser Elektrodendistanz anzugeben: (vergl. Tab. XII a). Es hängt nämlich die Rückstandsmenge, welche ein unvollkommenes Diëlektricum aufnehmen kann, wesentlich von der Menge desselben selbst ab. Sie wird unter sonst gleichen Umständen (gleicher diëlektrischer Spannung) der Dicke des durchströmten Diëlektricums proportional sein. Dementsprechend muss auch die Summe der zur Rückstandsbildung verbrauchten Ströme, — welche wir eben beobachten, — mit der Elektrodendistanz wachsen.

¹ Ich will hier noch eine Fehlerquelle hervorheben, welche bei meinen Stromstärkenbestimmungen auftritt, die aber leider in ihrem Umfange zu spät erkannt wurde, um vermieden zu werden. Die als Elektroden dienenden Metallplatten waren ganz von der diëlektrischen Flüssigkeit umgeben, so dass die durchströmende Elektricitätihren Wegnicht nur durch die zwischen den Elektroden befindliche Flüssigkeit, sondern auch über den Rand derselben in ausgebauchten Stromlinien von einer Platte zu anderen nimmt. Würde nur wahre Leitung stattfinden, wie ich anfangs vermuthete, so wären die aus elektrischer Diffusion entspringenden Fehler gering, da die Flächenausdehnung der Elektroden sehr gross im Vergleiche zu ihrer Distanz war. Anders stellt sich aber die Sache bei Rückstandsbildung. Diese erfolgt in der ganzen Flüssigkeitsmasse, welche von Stromlinien durchzogen wird und hängt wesentlich von der Menge der rückstandaufnehmenden Substanz ab; überdies verläuft sie in den verschiedenen Theilen der Flüssigkeit mit verschiedener Geschwindigkeit, je nach der daselbst herrschenden diëlektrischen Spannung. Die beobachteten Ströme entsprechen daher nicht der zwischen den Elektroden allein, sondern der in der ganzen Flüssigkeitsmenge stattfindenden Rückstandsbildung. Besonders an den schwachen Strömen in späteren Perioden dürfte die Rückstandsbildung in der ausserhalb der Elektroden befindlichen Substanz bedeutenden Antheil haben. Glücklicherweise standen die Elektroden nur 3mm von der seitlich begrenzenden Gefässwand ab, so dass die die Elektroden umgebende, durchströmte Flüssigkeitsmenge sehr gering war.

In der Periode der Rückstandsbildung haben wir Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze mit der diëlektrischen Spannung beobachtet, und da sich die wahre Leitung aus dem Rückstande entwickelt, gewissermassen dessen Endzustand darstellt, finden analoge Abweichungen auch bei der wahren Leitung statt, wie man aus den Werthen der letzten Colonne (für lange Durchströmung) der Tabellen VIII und XIII sieht. Es wächst eben die Fähigkeit eines unvollkommenen Diëlektricums, die ihr mitgetheilte Elektricitätsmenge in Wärme umzusetzen, langsamer als der Druck der entsprechenden elektromotorischen Kraft. Die Abweichungen steigern sich mit der diëlektrischen Spannung, doch gelten diese Sätze nur für die in unseren Versuchen angewandten niederen Spannungen.

Zur Constatirung wahrer Leitung erübrigt es noch, den Nachweis durch den Strom bewirkter Erwärmung des Diëlektricums zu erbringen. Entsprechende Versuche wären bei meiner Anordnung ganz aussichtslos, da die minimalen auftretenden Wärmemengen sich der Beobachtung entziehen. Dass aber bei Verwendung stärkerer Ströme eine merkliche Erwärmung eintritt, ist eine unbestrittene Thatsache. Siemens¹ wies die Erwärmung einer oft geladenen und entladenen Leydnerflasche, Borgmann² und Naccari u. Bellati³ jene flüssiger Isolatoren nach.

Ehe ich zur Mittheilung der mit anderen Diëlektricis gewonnenen Resultate übergehe, will ich eine oft die Versuche störende Erscheinung beschreiben.

Es wird vielleicht aufgefallen sein, dass die Stromstärkenbestimmung in dem Terpentinölcondensator von kleinster Elektrodendistanz mit der Beobachtung bei 4 Daniell abbricht. (Tab. X.) In dem Momente des Überganges von 4 auf 8 Daniell tratnämlich eine Veränderung ein, welche die folgenden Beobachtungen unbrauchbar macht. Während man für 8 Daniell einen Ausschlag von höchstens 120 Theilstrichen hätte erwarten sollen, betrug derselbe weit über 500 Theilstriche, so dass er auf der

¹ Siemens, Pogg. Ann. CXIV, S. 137, 1861.

² Borgmann, Journ. d. russ. phys. chem. Ges. (1), 18, S. 1, 1886.
Beibl. XI, S. 50.

³ Naccari u. Bellati, J. de phys. (2), I, pag. 430.

Scala nicht mehr beobachtet werden konnte. Zwar nahm die Intensität dieses Stromes mit der Zeit ab, übertraf aber immer weit den zu erwartenden Werth.

Diese plötzliche, scheinbare Verringerung des Widerstandes des Diëlektricums will ich als Deformation, und den sie hervorbringenden Strom als deformirenden Strom bezeichnen.

Anfangs meinte ich, dass ein plötzlich eingetretener Contact, etwa durch ein sich aufrichtendes Härchen erzeugt, die bessere Leitung veranlasse,¹ aber oftmaliges, sorgfältiges Filtriren der Flüssigkeit und Wiederzusammensetzen des Condensators brachten diese Erscheinung unter vielen beobachteten Fällen nur einmal zum Verschwinden, hingegen fiel bei diesen Versuchen alsbald auf, dass die Deformation bei derselben Probe fast stets bei derselben Änderung der Potentialdifferenz der Platten eintrat, so z. B. in der erwähnten mit Terpentinöl angestellten Versuchsreihe beim Übergange von 4 auf 8 Daniell. Es macht den Eindruck, als ob, sobald die Spannung im Diëlektricum einen gewissen Werth überschreitet, Deformation eintrete.

Wir hätten demnach in der Deformation eine ganz eigenthümliche, noch nicht näher erforschte Erscheinung vor uns. Für diese Auffassung und gegen die Annahme einer rein accidentellen Entladung spricht ferner der Umstand, dass die plötzliche Deformation nur das Anfangsglied einer Reihe langsam fortscheitender Veränderungen bildet, welche das Diëlektricum unter dem Einflusse des deformirenden Stromes erfährt.

Hat nämlich der deformirende Strom nur kurze Zeit eingewirkt, so ist auch das Diëlektrieum wenig verändert; d. h. geht man auf Versuche mit niederer gespannten Strömen zurück, so ergeben diese nur wenig grössere Stromstärken, als vor eingetretener Deformation beobachtet worden waren. Je länger aber der deformirende Strom einwirkt, desto stärker sind die Veränderungen der durchflossenen Substanz, indem sie auch für niederer gespannte Ströme scheinbar immer besser leitend wird. Die Unterschiede der bei niederen Spannungen vor und nach der Deformation beobachteten Stromstärken werden immer grösser,

¹ An convective Entladung, bedingt durch flottirende Staubtheilchen, ist nicht zu denken, da sich deren eigenthümlicher Charakter wenigstens zum Theile auch bei niedereren Spannungen hätte bemerkbar machen müssen.

bis endlich nach langer Einwirkung des deformirenden Stromes der Widerstand für alle Spannungen dauernd verringert erscheint. Doch selbst nach Ablauf dieses Processes wird das Verhalten der Substanznie mehr ganz constant. Fortwährend treten langsam verlaufende Schwankungen in dem Widerstande derselben auf.

Diese eigenthümliche Deformation trat bei fast einem Viertel der untersuchten Terpentinölproben auf, dessgleichen wurde sie — doch nur in Ausnahmsfällen — bei Petroleumäther, Vaselinöl und Ricinusöl angetroffen. Bedingung ihres Zustandekommens ist vor allem sehr geringe Elektrodendistanz (in meinen Versuchen = $0.145\,mm$). Um ferner den Unterschied zwischen Deformation und gewöhnlichen Ladungsvorgängen beobachten zu können, ist es nothwendig, die Versuche mit geringer Potentialdifferenz der Platten zu beginnen.

Ich führe in der folgenden Tabelle XIV die Werthe an, welche sich für die Eingangs erwähnte Probe Terpentinöl nach $2^{1}/_{4}$ stündiger Einwirkung des deformirenden Stromes ergaben. Sie sind zum Vergleiche mit den vor der Deformation beobachteten Stromstärken zusammengestellt.

Tabelle XIV. d = 0.15 mm W = 1022.10⁵ S. E. D. = 305 Th. $t = 24^{\circ}$

${f E}$	Vor der Deformation:		Nach der D	eformation:
		i		$\cdot i$
		\overline{E}		\overline{E}
1	22	22	43	4 3
2	36	18	$71 \cdot 6$	35·8
4	62	15.5	$122 \cdot 5$	$30 \cdot 6$
8	_		201	$25 \cdot 01$

Terpentinöl ist durch Deformation scheinbar doppelt so gut leitend geworden. Auffallend ist, wie genau die Abweichungen vom Ohmschen Gesetze in beiden Beobachtungsreihen übereinstimmen.

¹ Eine der Deformation verwandte Erscheinung beobachtete wohl auch Quincke bei der Untersuchung der elektrischen Doppelbrechung. Er sagt (Wied. Ann. Bd. XIX, S. 707): "Terpentinöl verlor, nachdem es längere Zeit elektrisirt worden war, plötzlich sein Isolationsvermögen, und war dann keine elektrische Doppelbrechung mehr an ihm zu beobachten."

Mit der Deformation lassen sich vielleicht mehrere vereinzelt auftretende Vorgänge in Diëlektricis in Zusammenhang bringen. So schien in einem Falle der Widerstand von Terpentinöl nach sehr langer Durchströmung (über 12h) sich wieder zu verringern, nachdem er ein Maximum passirt hatte. Manchmal nahm der scheinbare Widerstand einiger Diëlektrica (besonders der Destillationsproducte des Petroleums) vom Beginne der Versuche an ab, passirte ein Minimum, um weiterhin zuzunehmen. Dieselben Proben zeigten gerade entgegengesetzte Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze als die gewöhnlich beobachteten, doch sind alle diese Erscheinungen seltene Ausnahmen.

Zum Schlusse möchte ich noch auf die Ähnlichkeit aufmerksam machen, die in mancher Beziehung zwischen Deformation und Überschreiten der Elasticitätsgrenze besteht.

VII.

In den folgenden Tabellen sind die mit verschiedenen Diëlektricis gewonnenen Resultate zusammengestellt. Da aber die Bedeutung der einzelnen Factoren erst im Verlaufe der Untersuchungen bekannt wurde, sind leider nicht alle Bestimmungen so systematisch durchgeführt, als man wohl zum Zwecke der Erforschung der Eigenschaften unvollkommener Diëlektrica wünschen würde; doch werden sie stets über die Grössenordnung des Widerstandes Aufschluss geben.

Wenn nicht näher angegeben, war die Durchströmungsdauer kurz.

1. Leinöl. (Warm gepresst.)

1. Probe.

 $d. = 0.925 \, mm$

 $t. = 20.6^{\circ}$

E=1 D.

Sp. W. $= 206.10^{12}$ S. E.

2. Probe.

$E = 1 \text{ D. t.} = 24.6^{\circ}$		$d. = 0.875 mm t. = 24.6^{\circ}$		
d.	Sp. W	${f E}$	Sp. W.	
$0\cdot 145mm$	517.10 ¹² S. E.	1 D.	378.10 ¹² S. E.	
0.875 "	374.1012	2 ,	392.10^{12}	
3·015 "	309.10^{12}	4	411.10^{12}	
		8	439.1012	

3. Probe.

			S. Probe.		
d = 0.1	45 mm D.	= 280 Th.	d. =	=0.145 mm	D. = 317 Th.
W = 282	.105 S.E. t.	== 23°	W.=	=176.104 S. E	. t == 24°
$\boldsymbol{\mathit{E}}$		$rac{\imath}{E}$	$oldsymbol{\it{E}}$	i	$rac{i}{E}$
18	$20 \cdot 4$	$\boldsymbol{163 \cdot 2}$	1	$24 \cdot 1$	$24 \cdot 1$
1/4	40.8	$163 \cdot 2$	2	46.6	$23 \cdot 3$
1/4 1/2 1	$81 \cdot 7$	$163 \cdot 4$	4	$93 \cdot 5$	$23 \cdot 4(?)$
1	$163\cdot 4$	$163 \cdot 4$	8	155.1	$19 \cdot 4$
			nac	h 1 h	
			8	$144 \cdot 9$	18.1
$d = 1 \cdot 1$	35 mm D.	=317 Th	. d.=	$3\cdot015mm$	D = 317 Th
W.=101	.105 S.E. t.	=24°	W.=	101.10 ⁵ S.E.	$t \cdot = 24^{\circ}$
$\boldsymbol{\mathit{E}}$		$rac{i}{E}$	E	i	$rac{m{i}}{m{E}}$
1	$22 \cdot 6$	$22\cdot 6$	1	$9 \cdot 5$	$9 \cdot 5$
2	$44 \cdot 4$	$22 \cdot 2$	2	18.8	$9 \cdot 4$
4	$85 \cdot 6$	$21 \cdot 4$	4	36.3	$9 \cdot 1$
8	$170 \cdot 9$	$21 \cdot 4$	8	72	9
		t. =	$= 24^{\circ} E = D.1$		
	d		Sp. W.	\mathbf{T} .	
	0.148	5mm	472.10 ¹² S. E.	kurz	
	0.14	ó	502.10^{12}	5 m	
	0.14	5	537.10^{12}	1 ^h 15 ^m	
	1.10	,	007 1010	kurz	
	1.13) _n	397.10^{12}	Kurz	

Zum Vergleiche der verschiedenen Proben sind die specifischen Widerstände derselben, unter möglichst gleichen Bedingungen gemessen, zusammengestellt.

2. Leinöl. (Kalt gepresst.)

1. Probe.

	-		
E = 1 D.	$t. = 24.8^{\circ}$	d. = 0.875 mm	$t.=24\cdot 8^{\circ}$
d.	Sp. W.	$oldsymbol{E}$	Sp. W.
0.145 mm	980.10 ¹³ S. E.	1	574·10 ¹³ S. E.
0.875	574.10^{13}	2	$586 \cdot 10^{13}$
3.015	519.10^{13}	4	$621 \cdot 10^{13}$
		8	$660 \cdot 10^{13}$

¹ Die Werthe nach langer Durchströmungsdauer wurden aus Beobachtungen bei 8 D. berechnet, welche mit Rücksicht auf die Abweichungen von Ohm's Gesetz auf 1 D. umgerechnet wurden.

2. Probe.

d.= $0.875 mm$	D = 0	292 Th.	d = 3.0	15 mm D. $= 2$	92 T h.
$W = 1022 \cdot 105$	S.E. $t. =$	24°	W = 1022	$2 \cdot 10^5 \text{S.E.} t = 3$	24°
E		$rac{i}{E}$	$\boldsymbol{\mathit{E}}$		$rac{l}{E}$
1	$19 \cdot 4$	$19 \cdot 4$	1	$5 \cdot 7$	5.7
2	37.5	18.7	2	$11 \cdot 2$	$5 \cdot 6$
4	$70 \cdot 2$	$17 \cdot 6$	4	$21 \cdot 4$	$5 \cdot 4$
8	$131\cdot 2$	$16 \cdot 4$	8	$40 \cdot 6$	$5 \cdot 15$
$d. = 7 \cdot 49 mm$	D.=	=292 Th.			
$W.\!=\!\!1022\cdot 10^3$	S. E. t. =	= 24°	E ==	1 D. t. =	=24°
$oldsymbol{E}$		\boldsymbol{E}	d. 0:875 m	Sp. W. n 560.10 ¹³ S. E.	T. kurz
1	$52 \cdot 3$	$52 \cdot 3$	3.015	581.10^{13}	15ա
2	$103 \cdot 8$	$51 \cdot 9$	7 49	$21 \cdot 6.10^{13}$ 1	5 ^m
4	$206 \cdot 5$	$51 \cdot 6$	$7 \cdot 49$	129.10^{13}	$10^{\rm h}$
Nach	10 Stunden.				
1	$10 \cdot 2$	$10 \cdot 2(?)$			
2	$17 \cdot 2$	$8\cdot 6$		$\mathbf{Sp.}\ \mathbf{W}.$	t.
4	33.1	$8 \cdot 3$	1. Probe	574.10 ¹³ S. E.	24.80
8	$64 \cdot 4$	$8 \cdot 05$	2. Probe	560.10^{13}	$24 ^{\circ}$

Die Übereinstimmung des specifischen Widerstandes der beiden Proben ist auffallend, um so mehr, da zwischen den entsprechenden Versuchsreihen ein Zeitraum von sechs Monaten lag. Es mag dies auf einem Zufalle beruhen, ich will aber gleich bemerken, dass die specifischen Widerstände der Öle nie in so weiten Grenzen variirten, wie etwa jene des Wassers. Man ist vielmehr vollkommen berechtigt, jedem reinen Öle einen bestimmten Widerstand zuzuschreiben. Die warmgepressten Öle sind stets unreiner als die kaltgepressten, gewöhnlich schon in der Farbe dunkler und besitzen dementsprechend einen viel variableren zehn- bis zwanzigmal geringeren Widerstand, anderseits treten bei den kaltgepressten Ölen die Eigenschaften eines unvollkommenen Diëlektricums schon deutlicher hervor, indem sich die Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze ganz gut beobachten lassen. In dem Folgenden habe ich nur die mit kaltgepressten Ölen gewonnenen Resultate mitgetheilt.

¹ Die Ursache dieser besonders auffallenden Abnahme des specifischen Widerstandes konnte nicht gefunden werden.

3. Ricinusöl.

1. Probe.

2. Probe.

$\mathbf{d.} = 0.885 \ mm$	$t. = 19^{\circ}$	E = 1 D
Sp. W.	= 165.16	018 S.E.

Sn.	W. == 1	65.1018	S.E.
~թ.	*** — 1	.00.10	D. 11.

d. = 1.53 mm	$t.=24\cdot6$ °
\boldsymbol{E}	Sp. W.
1	321.10 ¹³ S. E.
2	330.10^{13}
4	339.1013
8	257 1013

3. Probe.

d = 0	145	nm	$D.\!=\!305~Th$
$\mathbf{W} = 2$	276·10	⁵ S.E.	$t=24^{\rm o}$
	E	i	$\frac{i}{E}$
	1/8	18	144
	1/4	$35 \cdot 6$	$141 \cdot 2$
	1/2	70.1	$140 \cdot 2$
	1	$\boldsymbol{135 \cdot 9}$	$135 \cdot 9$

d.	=0:	145 mm	D.=	-41 8	Th.
W.	== 17	6 · 104	t. =	24°	
E				$\frac{i}{E}$	
1		16		16	
2		30.5		15.	25
4					
Lr a	twitt	Doform	otion	ain	N.

Es tritt Deformation ein. Nach dem der deformirende Strom 15 m eingewirkt hat, erhalten wir:

1	36.7	36.7
2	$72 \cdot 7$	$36 \cdot 35$
4	145.8	$35 \cdot 4$
nach 1 ^h	10 ^{ra}	
4	$72 \cdot 4$	18.1

$$d. = 1.135 mm$$
 $D. = 418 Th.$

W = 112	9.10 ⁵ S.E.	$t.=25^{\rm o}$
E		$\frac{i}{E}$
1	$21 \cdot 4$	$21 \cdot 4$
2	42	21
4	81.7	$20 \cdot 4$
8	$154 \cdot 3$	$19 \cdot 3$

$$d. = 3.015 mm$$
 D. = 418 Th.

W .=:	119.105 S.E.	
\boldsymbol{E}		$\frac{i}{E}$
1	11.6	11.6
2	22	11
4	41.2	10.3
8	76.6	$9 \cdot 4$
nach	2 ^h 30™	
8	$30 \cdot 1$	$3 \cdot 75$

Sp.W.

1. Probe 165.1013 S. E. 18° 321.1013 2. Probe 24.60

3. Probe 63.6.10¹³

 24°

E =	= 1 D. t. = 24	0	Nach de	r Deformation	
d.	Sp. W.	${f T}$	0.145	432.10^{12}	15ª
0 · 1 45 mm	807 · 1012	kurz	0.145	913 1012	1 ^h 40 ^m
0.145	1042 · 1012	15 ^m	$1 \cdot 135$	636 1012	kurz
			$3 \cdot 015$	476.10^{12}	kurz
			3.015	1214.10^{12}	2h 30m

4. Olivenöl.

1. Probe.

d = 1.53 mm E = 4 D. $t = 24.6^{\circ}$

Sp. W. = 157.10^{15} S. E.

2. Probe.

d. = 1.53 mm	$t. = 24 \cdot 4^{\circ}$	E = 1 D.	$t. = 24 \cdot 6^{\circ}$
\boldsymbol{E}	Sp. W.	d.	Sp. W.
1	$127.10^{15}~\mathrm{S.~E.}$	0 · 145 mm	128.10 ¹⁵ S. E.
2	127.10^{15}	1.53	127.10^{15}
4	133.10^{15}	3.015	105.10^{15}
8	141.10^{14}		

3. Probe.

		5. F	robe.		
d = 0.14	5mm	D = 388 Th.	d. = 0	145mm	D = 388 Th.
W = 183.	107 S.E.	$t. = 24^{\circ}$	W.≔27€	3.10 ⁵ S. E	C. t == 24°
		i			i
$oldsymbol{E}$		$\frac{\iota}{E}$	$\boldsymbol{\mathit{E}}$		$\frac{\iota}{E}$
1/8	$26 \cdot 6$	$212 \cdot 8$	1	6	6
1/4	$53 \cdot 3$	$213 \cdot 2$	2	$11 \cdot 4$	$5 \cdot 7$
1/4 1/2 1	$106 \cdot 2$	$212 \cdot 4$	4	22	$5 \cdot 5$
1	210.8	210.8	8	42	$5 \cdot 25$
d.=1·13	5 mm	D. = 388 Th.	$d = 3 \cdot 0$	15mm	$D.=388\mathrm{Th}.$
W = 1022	2·105S.E	. t. = 24°	W = 179	· 107 S. E.	t. == 24°
$\boldsymbol{\mathit{E}}$		$rac{i}{E}$	$\boldsymbol{\mathit{E}}$		$rac{i}{E}$
1	$6 \cdot 4$	$6 \cdot 4$	1	$27 \cdot 2$	$27 \cdot 2$
2	$12 \cdot 2$	$6 \cdot 1$	2	$54 \cdot 3$	$27 \cdot 1$
4	$24 \cdot 3$	$6 \cdot 08$	4	$106 \cdot 5$	$26 \cdot 7$
8	48.4	$6 \cdot 04$	8	$201 \cdot 6$	$25 \cdot 2$
nach 3	h		nach 2	ь	
1	3.8	3.8	1	$24 \cdot 2$	$24 \cdot 2$
2	$7 \cdot 2$	$3 \cdot 6$	2	$48 \cdot 3$	$24 \cdot 1$
4	$14 \cdot 2$	$3 \cdot 55$	4	96.5	$24 \cdot 1$
S	$27 \cdot 7$	$3 \cdot 46$	8	$187 \cdot 6$	$23 \cdot 8$

t. =	24° $E = 1$ D.				
d.	Sp. W	\mathbf{T}		Sp. W.	t.
0·145 mm	242.10 ¹⁴ S. E.	. 5 ^m	1. Probe	157.10 ¹⁵ S. E.	24.6°
0.145	414.10^{14}	30 ^m	2. Probe	133.10^{15}	24.4°
1.135	184.10^{14}	3^{m}	3. Probe	$31 \cdot 2.10^{15}$	24°
1.135	312.10^{14}	3 h			
3.015	$270.10^{14}(?)$	3m			
3.015	304.10^{14}	$2^{\mathtt{h}}$			

5. Mandelöl.

1. Probe.

d. = 1.53 mm	$t. = 24^{\circ}$
\boldsymbol{E}	Sp. W.
1	443.10 ¹⁴ S. E.
2	445.10^{14}
4	477.10^{14}
8	501.10^{14}

2. Probe.

d = 0.14	5 mm	D. = 330 Th.	$\mathbf{d} \cdot = 0 \cdot 1$	145mm	$D_{\bullet} = 302 \mathrm{Th}.$
W = 1037.	105 S.E.	$t.=23.4^{\circ}$	W = 103	7.105 S.E.	t. = 23.4°
E		$rac{i}{E}$	E		$\frac{i}{E}$
1 8	$4\cdot 2$	$33 \cdot 6$	1	$32 \cdot 5$	f 32 , $f 5$
	$8\cdot 2$	32.8	2	$56 \cdot 3$	$28 \cdot 2$
1/4 1/2 1/1	15	30	4	$100 \cdot 1$	25
ì	$27 \cdot 2$	$27 \cdot 2^{_{1}}$	8	165 ·8	$20 \cdot 7$
$d = 1 \cdot 13$	5 <i>mm</i>	$D_{\cdot} = 302 \text{Th}.$	d = 3	·015 mm	$D.=302\mathrm{Th}.$
		D. = 302Th. t. = 23.6°		·015 mm 79.10 ⁷ S.E.	
W.=1031.		$t. = 23.6^{\circ}$	W = 1		t. = 24°
W.=1031.	10 ⁵ S. E.	$t. = 23.6^{\circ}$ $\frac{i}{E}$	W = 1	79.10 ⁷ S.E.	t. = 24° $\frac{i}{E}$
W.=1031. E 1	10 ⁵ S. E. 6 · 2	$t. = 23.6^{\circ}$ $\frac{i}{E}$ $6 \cdot 2$	W = 1 E 1	79.10 ⁷ S.E.	t. = 24° $\frac{i}{E}$ $43 \cdot 2$

Plötzlich stieg die Stromstärke an, als ob eine Deformation ähnlich jener bei Terpentinöl beschriebenen eingetreten wäre. Die bleibende Verminderung des Widerstandes war aber unbedeutend.

$$t = 24^{\circ}$$
 $E = 1 D$.

đ.	Sp. W.	${f T}$		Sp. W.	t.
0·145 mm nach d. Def. 1·135 3·015	272.10 ¹⁴ S. E. 204.10 ¹⁴ 150.10 ¹⁴ 122.14 ¹⁴	kurz 15 ^m kurz kurz	1. Probe 2. Probe	443.10 ¹⁴ S. E. 272.10 ¹⁴ S. E.	24° 24°

6. Schwefelkohlenstoff.

Viele Proben dieser Substanz zeichneten sich durch geringe Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze aus. Die zweite angeführte Probe zeigt beim Übergange zur grössten Elektrodendistanz eine unerklärte bedeutende Steigerung des scheinbaren Widerstandes.

1. Probe.

$$E=1 \text{ D.}$$
 t. = 24°
d. Sp. W
 0.875 mm 95.10¹³ S. E.
 1.53 87.10¹³
 3.015 55.10¹³

	1.	53	87.1013		
	3.	015	55.10^{13}		
		2.]	Probe.		
d.=0·	145 mm D	. == 205 Th.	$\mathbf{d}. = 0 \cdot 1 \cdot 1$	15 mm	D. == 208 Th.
W.=175	2.10 ⁷ S.E. t.	. = 24°	W . <u></u> =276.	105 S.E.	$t.=24^{\rm o}$
E		$\frac{\imath}{E}$	E		$\frac{i}{E}$
1	20.7	$165 \cdot 6$	1	11	11
1 8 1 3 1 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	56	168	2	$22 \cdot 5$	$11 \cdot 25$
1/2	82.5	165	4	$43 \cdot 6$	$10 \cdot 9$
1	$165\cdot 2$	$165 \cdot 2$	8	84	10.5
d. = 1:	135 mm I	0. = 208 Th.	d = 7.49) m m	D. = 208 Th.
W = 270	6.10 ⁵ S. E.	t. = 24°	W. = 172.	107 S.E.	$t. = 24^{\circ}$
E		$rac{i}{E}$	$oldsymbol{E}$		$rac{\mathrm{i}}{E}$
1	3	3	1	7	7
2	6	3	2	14	7
4	9	$2 \cdot 25$	4	27	6.75
8	15	1.88	8	54	$6 \cdot 75$
				17	

Sitzb. d. mathem.-naturw. Cl. XCVIII. Bd. Abth. II. a.

17

t. = 24°
$$E = 1$$
 D.
d. Sp. W. Sp. W. t.
0·145 mm 117.10¹⁴ S. E. 1. Probe 87·10¹³ 23°
1·135 56·6.10¹⁴ 2. Probe 566·10¹³ 24°
7·49 226.10¹⁴

7. Vaselinöl.

Diese Substanz isolirt ausgezeichnet, aber oft tritt die als Deformation beschriebene plötzliche Verringerung des Widerstands ein.

-	_	•
	$-\mathbf{p}_{r}$	be.
		,,,,

2. Probe.

d. = 153 mm	$t. = 22^{\circ}$	E = 8 D.	$t. = 24^{\circ}$
$oldsymbol{E}$	Sp. W.	đ.	$\mathrm{Sp.}~\mathbf{W}.$
1	168.10 ¹⁶ S. E.	$0\cdot 145 mm$	203.10 ¹⁶ S. E.
8	606.10^{16}	1.53	210.10^{16}

3. Probe.

d.	Т.	$\boldsymbol{\mathit{E}}$	Sp. W.
0·145 mm	1 ^m	1 D.	241.10 ¹⁶ S. E.
0.145	5	1	254.10^{16}
1.53	1	8	193.10^{16}
3.015	1	8	156.10^{16}
3 ·015	60	8	260.10^{16}

4. Probe.

d. = 0.155	mm	D = 301 Th.
$W = 179 \cdot 1$	07	t. = 24°
E		$rac{i}{E}$
1	11.6	11.6
2	11	11
f 4	76 - 220	19 - 55

Bei Steigerung der Potentialdifferenz der Platten von 2 auf 4 Daniell tritt plötzliche Verringerung des Widerstandes ein. Der erste Ausschlag betrug 130 Th. Er sank auf 76 und stieg in 5 Minuten wieder auf 220 Th. Eine Viertelstunde nach dieser Deformation wurden folgende Werthe erhalten:

 $t. = 24^{\circ}$

D = 301 Th.

 $\mathbf{d} = 0.155 mm$

 $W = 179,10^7 \text{ S.E.}$

	" 1		13.	D.—001 III	•	
	E	,		\underline{i}		
	B			\overline{E}		
	1		52	52		
	2		121	$60 \cdot 5$		
	4		24 0	60		
$\mathbf{d} = 1 \cdot 135 mn$	ı D.=30)1 Th.		d=7·4	9 <i>mm</i>	D. == 301 Th
W = 1022.10				W = 102		
		i				
$oldsymbol{E}$	i	$\frac{\iota}{E}$		$\boldsymbol{\mathit{E}}$		$rac{m{i}}{m{E}}$
1	6.8	6.8		1	50	50
2	14. 8	$7 \cdot 4$		2	93	46.5
4	34.9	8.7		4	202	50.5
8	$72 \cdot 2$	$9 \cdot 15$				
nach 30) m			nac	ch 8 h	
1	4.8	4.8		1	6	6
2	8.8	$4 \cdot 4$		2	12	6
4	17 ·8	$4 \cdot 4$		4	24	6
8	$33 \cdot 9$	4.2		8	48	6
t. = 24		l D.				
d.	Sp. W.	\mathbf{T}_{\cdot}				
$0\cdot 155mm$	99.10 ¹⁶ S.	E. 1 ^m		t. = 2	1°	
nach der Def.	19.10^{16}			\mathbf{Probe}	Sp. W.	E.
1.135	$134 \cdot 10^{14}$	1		1	168 • 1016	S. E. 1
1.135	$190 \cdot 10^{14}$	30		2	210 • 1016	8
$7 \cdot 49$	$2 \cdot 34.10^{14}$	1		3	193 • 1016	8
$7 \cdot 49$	23.10^{14}	8ь		4	190 • 1014	1

Während bei der kleinsten Elektrodendistanz Deformation eintritt, scheint bei grösserer der nach kurzer Durchströmung gemessene scheinbare Widerstand mit der elektromotorischen Kraft abzunehmen. Nach längerer Durchströmung verschwindet diese Erscheinung. Sehr auffallend ist ferner die bedeutende Verringerung des Widerstandes mit der Elektrotendistanz.

8. Benzol.

1. Probe. (Von Kahlbaum.)

d = 0.145	5mm	D. = 302 · 4 Th.	d.=0·1451	nm D. = 305 Th.
W. =358:	108 S. E.	t.=24°	W. == 1022·10	05 S.E. t=24°
_		i		i
\boldsymbol{E}		\overline{E}	$\boldsymbol{\mathit{E}}$	$\overline{m{E}}$
1 8	$32 \cdot 3$	$258 \cdot 4$	1	4 4
14	$64 \cdot 4$	$257 \cdot 6$	2	6 3
1 1 1 1 2	12 9	258	4	9 $2 \cdot 25$
1	257	257	8	14 1.62
			nach 2h	$W = 179.10^7 S.E.$
			1	47.3 47.3
			2	73.6 36.8
			4	110.3 27.6
				172 21 5
d.=1·135	m m :	D. = 305 Th.	$d. = 7 \cdot 49 m$	m D. = 305 Th
W=177.	107 S. E.	$t = 24 \cdot 4^{\circ}$	W = 179.107	7 S. E. t.=24°
77		i		i
$m{E}$ 1		\overline{E}	$oldsymbol{E}$	\overline{E}
	$40 \cdot 2$	40.2	1	14 14
2	59.4	29.7	2	26.1 13.05
4	104.3	26 · 1	4	51.3 12.8
8	174 ·2	21.8	8	88.9 11.1
nach	3 h		nach 1 ^h	40 ^m
1	16	16	1	5.8 5.8
2	30.1	$15 \cdot 05$	2	11.2 5.6
4	$53 \cdot 3$	$13 \cdot 3$	4	$21 \cdot 2$ 5 · 3
8	$82 \cdot 7$	10.03	8	$34 \cdot 2 \qquad 4 \cdot 3$
t = 24	• E=	8D.	2. Probe (käi	afliches Benzin).
d.	Sp. W.	Т.	E = 2	D. $t=24^{\circ}$
0.145^{mm}	194.1015	S.E. 5 ^m	${f T}$. = 30 m
0.145	231.10^{15}	2 ^h	d.	Sp. W.
1.135	483.1014	4 ⁱⁿ	0 ·1 45 ^{տտ}	900.10 ¹⁴ S.E.
1.135	956.10^{14}	:	0.875	141.10^{14}
$7 \cdot 49$	166.1014	2 m	3.015	$57 \cdot 4.10^{14}$
7·4 9	436.1014	1 h 40 m		

Einige Proben von Benzol isolirten so ausgezeichnet, dass ihr specifischer Widerstand nicht mehr bestimmt werden konnte; derselbe lag sieher über 10 ¹⁸ S. E.

 $t = 24^{\circ}$

9. Toluol.

1. Probe.

d. = $0.875 \, mm$

 \boldsymbol{E}

1

2

4

nach 45 m

 $t = 24^{\circ}$

 $\mathbf{E} = \mathbf{D}$.

1. Probe 250.10¹³

 211.10^{13}

2. Probe

 24°

23.4°

	1 25	Sp. W. 0.10 ¹³ S.E. 64.10 ¹³		d. 0·145*** 0·875		Sp. W. 17·10 ¹³ S.E. 50·10 ¹³
		30.10^{13}		3.015		89.1018
	8 26	9.10^{18}				
		2.	Probe.			
d = 0.1	9mm	D = 303 Th.		$d = 1 \cdot 135$	mm	D = 311 Th.
W = 108	87.10 ¹⁵ S.E.	$t = 23 \cdot 4^{\circ}$		W = 280.10	⁵ S. E.	t=23·4°
$\boldsymbol{\it E}$		$rac{i}{E}$		$oldsymbol{E}$		$rac{i}{E}$
18	18	144		1	15	2 12
1 1 1 1 2 1	$35 \cdot 1$	$140 \cdot 4$		2	2 3	11.5
$\frac{1}{2}$	$68 \cdot 4$	136 ·8		f 4	$42 \cdot 2$	2 10.5
1	133.9	133.9		8	76.5	7 9.6
W = 280	0.105 D.=	= 311 Th.		E. == 1	D.	t=23.6°
1	$56 \cdot 9$	$56 \cdot 9$		d.		Sp. W.
2	105	$52 \cdot 5$		0.19	1	236.10 ¹² S. E.
4	$205 \cdot 4$	$51 \cdot 4$		1.135		211.10^{12}
				$7 \cdot 49$		199.1012
d = 7.4	19	D = 311 Th.				
W = 103	31.10 ⁵ S. E.	$t = 23 : 6^{\circ}$		$\mathbf{s}_{\mathbf{p}}$. W.	t.

Der Widerstand änderte sich nicht merklich mit der Durchströmungsdauer.

 \overline{E}

 $7 \cdot 2$

 $7 \cdot 1$

6.8

6.3

 $7 \cdot 2$

 $14 \cdot 2$

27.1

50.3

50.3

10. Xylol.

1. Probe.		2. Probe.		
d = 1.53 mm	t=24.	E=1D.	$t = 20^{\circ}$	
\boldsymbol{E}	Sp. W.	d.	Sp. W.	
1	$250.10^{14}\mathrm{S.E.}$	$0\cdot 145mm$	1380.10 ¹³ S.E.	
2	255.10^{14}	0.875	846.1013	
4	348.10^{14}			
8	459.10^{14}	$3 \cdot 015$	812.10^{13}	

3. Probe.

		3. Pro	be.		
d.=0.	19 mm	$D_{\cdot} = 303 \text{Th}.$	$\mathbf{d} = 0$	19 mm	D. = 303 Th.
W = 17	9.10 ⁷ S. E.	$t.\!=\!24^{\circ}$	W = 179	9.107 S. E.	. t.=24°
E		$\frac{i}{E}$	E		$rac{i}{E}$
18	13	104	1	68.6	68.6
	25	100	2	116.5	$58 \cdot 3$
1/4 1/2 1	46.3	$92 \cdot 6$	4	188.5	$47 \cdot 2$
i	80.7	$80 \cdot 7$	8	$288 \cdot 7$	34.8
			nach 1	15.	
			1	45.6	45.6
			2	$72 \cdot 6$	$36 \cdot 3$
			4	$105 \cdot 2$	$26 \cdot 3$
			8	154	$19 \cdot 2$
d = 1	135 mm	D = 303 Th.	d = 7	1 9 mm	D. = 303 Th.
W = 17	9.10 ⁷ S. E.	$t.=24^{\circ}$	W = 179	$9.10^{7}{ m S.E.}$	$t = 24^{\circ}$
$\boldsymbol{\mathit{E}}$	i	$rac{i}{E}$	E		$rac{i}{E}$
1	14	14	1	$76 \cdot 6$	$74 \cdot 6$
2	$25 \cdot 1$	12.6	2	$148 \cdot 5$	$74 \cdot 6$
4	$39 \cdot 2$	$6 \cdot 8$	4	282	$70 \cdot 5$
8	$59 \cdot 4$	$7 \cdot 4$			
nach	30 m		nach 30	O m	
8	$50 \cdot 3$	$6 \cdot 3$	4	123.6	$30 \cdot 9$
Abnah	me der Str	omstärke mit der	:		$t = 24^{\circ}$
]	Durchström	ungsdauer.	d.	Sp.	W. T.
$d = 7 \cdot \epsilon$	49mm I	0. = 303 Th.	0 · 19 m	n 875.10)14 S.E. 3 ^m
W = 179	9.10 ⁷ S. E.	$t=24^{\circ}$	0.19	1706.10	014 1h15,,
	E = 8	5 D.	1.135	1055.10)14 3,,
Vor Be	ginn des V	ersuches war die	1.135	1244.10	30,
		n einem Strome	$7 \cdot 49$	$26 \cdot 3.10$	"
von	4 Daniell d	urchflossen.	$7 \cdot 49$	1167.10)14 134

T.	i	$\frac{i}{E}$	Sp. W. t.	
2 m 30 1 h 5 5	253 207·6 178·3	$31.6 \\ 25.9 \\ 22.4$	1. Probe 250·10 ¹⁴ S.E. 24° 2. Probe 84·6·10 ¹⁴ 20°	•
13 ^h 55	$15 \cdot 4$	$1 \cdot 9$	3. Probe 1055·10 ¹⁴ 24°	0

Destillirtes Wasser, Alcohol und Äther.

Der Widerstand dieser Substanzen wurde in vorzüglicher Weise theils von Kohlrausch selbst, theils nach seiner Methode von anderen Physikern bestimmt. Ich verfolgte daher in meinen Untersuchungen nicht das Ziel, den numerischen Angaben neue hinzuzufügen, sondern war nur bestrebt, einige der bei Durchströmmung von Isolatoren auftretenden Erscheinungen auch für diese viel besseren Leiter nachzuweisen.

Die getroffene Versuchsanordnung gestattete leider keine Variation der Potentialdifferenz der Condensatorplatten. musste mich daher auf eine Untersuchung bei verschiedenen Elektrodendistanzen, - die allerdings auch einen Schluss auf das Verhalten bei verschiedenen Spannungen gestattet, - und bei Durchströmungsdauer beschränken. verschiedener Als Vergleichswiderstand diente ein Siemens'scher Rheostat. Die galvanische Polarisation wurde durch Verwendung sehr sorgfältig amalgamirter Zinkelektroden vermieden. Mit Hilfe des Elektrometers konnte ich mich überzeugen, dass dies bei destillirtem Wasser vollkommen gelungen war: das ist aber weit schwieriger bei Alkohol, Äther, da die hier schon stärker auftretenden diëlektrischen Erscheinungen, als Condensatorladung und Rückstandsbildung, elektrometrisch von galvanischer Polarisation nicht zu unterscheiden sind, aber sieher betrug letztere nicht mehr als 0.025 Daniell und wäre nicht im Stande alle auftretenden Erscheinungen zu erklären.

11. Destillirtes Wasser.

1. Probe.

2. Probe.

E = 1	D. 1=24°		E=1D. t	=24° T=2m
d.	Sp. W.	\mathbf{T} .	d.	Sp. W.
$1\cdot 135mm$	$109.10^{7}\mathrm{S.E.}$	1 "	$1 \cdot 135mm$	136·10 ⁷ S. E.
$1 \cdot 135$	109.10^{7}	5	3.015	74.10^{7}
3.015	80.107	1	$7 \cdot 49$	$51 \cdot 10^7$
3.015	83.10^{7}	5		
$7 \cdot 49$	58.10^{7}	1		
$7 \cdot 49$	59.10^{7}	5		
7.49	59.10^{7}	30		

12. Alkohol (sog. absoluter).

1.]	Probe.	2. Probe.			
t.=24° E	$E = 1 \text{ D. T.} = 4^{m}$	E = 1	D. t. == 24°		
d.	Sp. W.	d.	Sp. W.	Т.	
$1\cdot 135mm$	251·108 S. E.	$1\cdot 135mm$	162·10 ⁸ S. E.	1110	
3.015	$123 \cdot 10^{8}$	1.135	$302 \cdot 10^8$	30	
$7 \cdot 49$	$101 \cdot 10^{8}$	3.015	$135 \cdot 10^{8}$	1	
		$7 \cdot 49$	$84 \cdot 10^{8}$	1	
		$7 \cdot 49$	$76 \cdot 10^{9} (?)$	20	

13. Äther.

1.	Probe.	2. Probe.
E = 1 D.	$t. = 20^{\circ} T. = 1^{\circ}$	(Über Chlorcalcium getrocknet.)
d.	Sp. W.	$E = 1 \text{ Dan. t.} = 20^{\circ} \text{ T.} = 1^{m}$
$1 \cdot 15 mm$	160·108 S. E.	d. = 1.135 mm Sp. W. = 342.108 S.E.
$3 \cdot 015$	$118 \cdot 10^{8}$	
7 49	$111 \cdot 108$	

Das übereinstimmende Resultat einer grossen Reihe von Versuchen war, dass der scheinbare specifische Widerstand mit der Elektrodendistanz abnimmt. Diese Erscheinung konnte weder durch einen constanten Fehler (Übergangswiderstand) noch durch galvanische Polarisation erklärt werden; wir dürften es daher auch hier mit diëlektrischen Vorgängen zu thun haben. Vergrösserung des Widerstandes mit der Durchströmungsdauer war ausser bei Wasser oft nachzuweisen; die entgegengesetzten Resultate, welche besonders leicht bei grosser Elektrodendistanz auftreten, erklären sich leicht durch fortwährend zunehmende Verunreinigung der Probe, deren Einfluss ja aus den Untersuchungen Kohlrausch's bekannt ist.

Alle gebräuchlichen festen Isolatoren übertreffen die untersuchten Flüssigkeiten an Isolationsvermögen, oft aber auch in Bezug auf Rückstandsbildung; ja dieser Umstand ergiebt geradezu eine Hauptschwierigkeit der Untersuchung, da es bei manchen Glassorten, bei Paraffin und anderen kaum gelingt, rückstandsfreie Proben zu erhalten.

14. Glas.

Glasröhren wurden an dem einen Ende zugeschmolzen, an dem anderen, um von oberflächlicher Leitung geschützt zu sein, mit Siegellack überzogen. Die auf diese Weise hergestellten Röhren wurden mit concentrirter Zinkvitriollösung gefüllt, und von derselben Flüssigkeit umgeben. Als Elektroden dienten amalgamirte Zinkdräthe.

Es kamen hauptsächlich 2 Glassorten zur Untersuchung:

- 1. Weiches, leichtschmelzbares Sodaglas (Thüringerglas).
- 2. Hartes, schwerschmelzbares Kaliglas, wie es zu Verbrennungsröhren benützt wird.

Die Isolationsfähigkeit der verschiedenen Glassorten scheint besonders von der Höhe des Schmelzpunktes abzuhängen, indem alle untersuchten schwerschmelzbaren Gläser viel besser isolirten als leichtschmelzbare. Ja bei ersteren stieg nach langem Durchströmen der Widerstand regelmässig so hoch, dass er nicht mehr gemessen werden konnte, obwohl die Versuchsanordnung noch einen Widerstand von 10²⁰ S. E. per Cubikcentimeter zu beobachten gestattet hätte.

Ausser von der chemischen Zusammensetzung hing die Schnelligkeit, mit welcher die Stromstärke abnahm, noch davon ab, ob die betreffende Probe bereits zu Versuchen gedient hatte oder nicht. Bei noch nie durchströmtem Glase dauert es manchmal Stunden bis der Widerstand sein Maximum erreicht hatte. Entfernte man aber nach diesem Versuche die disponible Ladung und liess hierauf die Leydnerslasche unberührt stehen, so trat bei nach Wochen erneuerter Untersuchung meist in wenigen Minuten dasselbe Maximum ein. Dieses Verhalten ist durch die grosse Zähigkeit bedingt, mit welcher manche Gläser Rückstände festhalten, und liefert einen neuen Beweis dafür, dass die scheinbare Leitung von Diëlektricis nach vollendeter Condensatorladung hauptsächlich auf Rückstandsbildung beruht. In dem ersten der erwähnten Versuche muss der ganze Rückstand, welchen die Leydnerflasche aufnehmen kann, entwickelt werden, der zweite findet aber schon einen Theil desselben entwickelt vor, so dass die ihm entsprechende Elektricitätsaufnahme des Condensators entfällt, und der Endzustand dadurch früher erreicht wird.

Die vollkommene Entfernung von Rückständen stösst auf grosse Schwierigkeiten, da die letzten Reste desselben nur ungemein langsam aus dem Glase hervorkriechen und daher bei kurzer Untersuchungsdauer leicht übersehen werden können.

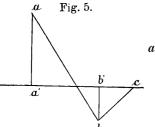
Schwerschmelzbares Kaliglas.

Von den Versuchen mit schwerschmelzbaren Gläsern führe ich jenen an, bei welchem die längste Zeit bis zur scheinbar vollkommenen Isolation verstrich, obwohl er eigentlich für das Verhalten dieser Glassorte wenig charakteristisch ist. Aber bei ihm allein liessen sich die Veränderungen mit der Zeit gut verfolgen, während in den meisten anderen Fällen nur ein sehr starker Schliessungsstrom beobachtet wurde, welcher aber in weniger als 5 Minuten ganz verschwand. Auch eine Bestimmung bei verschiedenen elektromotorischen Kräften ist unter diesen Umständen unmöglich.

Den meisten schwerschmelzbaren Gläsern würden demnach ein intensiverer, aber viel kürzer dauernder Schliessungsstrom als der gewählten Probe entsprechen.

d. =
$$1 \cdot 2mm$$
 $E = 8$ D. t. = 23°
T. Sp. W.
 5^{m} 15.10^{17}
 $1^{h} 30^{m}$ 73.10^{17}
 6^{h} 107.10^{17} S. E.
 13^{h} picht messbar.

Nach langer Durchströmung war eine sehr eigenthümliche Veränderung eingetreten: Das Potentialgefälle im Vergleichswiderstande war nicht nur ganz verschwunden, sondern hatte sich in ein entgegengesetztes verwandelt, so dass sich der Verlauf des Potentiales in der Zweigleitung wie Figur 5 zeigt, darstellt.



 aa' = Totales Potentialgefälle in der Zweigleitung,

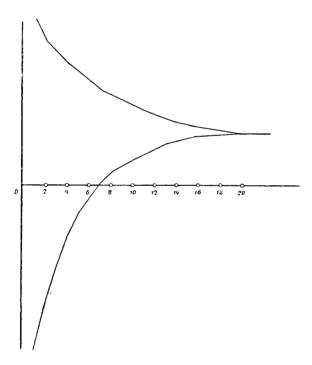
aa' + bb' = Potentialgefälle im Glase, -bb' = Potentialgefälle im Vergleichswiderstande.

Eine verwandte Erscheinung beobachtet man bei der Ab-

nahme der diesem Glase mitgetheilten disponiblen Ladung. Wurde eine der Belegungen mit negativer Elektricität geladen, hierauf die Verbindung mit der Batterie unterbrochen und mit dem Elektrometer hergestellt, so konnte leicht die Abnahme der

disponiblen Ladung beobachtet werden. Sie geht rasch vor sich, das Glas nähert sich aber hiebei nicht, wie man erwarten sollte, dem unelektrischen Zustande, sondern einer positiven Ladung, welche es durch lange Zeit festhält. Dieser Verlauf ist durch die untere Curve (Fig. 6) veranschaulicht. Wurde anderseits die mit der Batterie verbundene Belegung, ohne den Condensator zu entladen, zur Erde abgeleitet, die andere hingegen mit dem Elektrometer verbunden, so entspricht die obere Curve dem Verlaufe der nun beobachteten disponiblen Ladung.

Fig. 6. Ladungsdauer = $5^m E = 1 D$.



Nach der Abscissenaxe ist die Zeit vom Momente der Isolirung an in Minuten, nach der Ordinatenaxe die disponible Ladung gezählt.

Die Versuche wurden noch länger fortgesetzt und ergaben ein geringes Schwanken um den Werth der disponiblen Ladung, welchem sich beide Curven asymptotisch nähern. Dasselbe Verhalten zeigt auch die Abnahme wieder zu Tage getretener Rückstände.

Wurden beide Condensatorbelegungen durch längere Zeit zur Erde abgeleitet, so stellte sich, wenn auch viel langsamer, doch immer wieder derselbe Ausschlag ein, ja er war selbst nach Ableitung durch 24 Stunden nur um ein Drittel seines Werthes kleiner geworden.

Der Unterschied zwischen dieser Ladung des Glases und einem Rückstande besteht darin, dass, während jener den Charakter eines Elementes zeigt, d. h. eine Potentialdifferenz der Condensatorplatten bedingt, diese sich als gleiche und gleichbezeichnete Potentialdifferenz beider Condensatorplatten gegen das Potential der Erde darstellt.

Eine ganz ähnliche Erscheinung beschrieb Hopkinson.

Leichtschmelzbares Sodaglas.

Für alle leichtschmelzbaren Gläser konnte eine bestimmte Leitungsfähigkeit angenommen werden; nie trat vollkommene Isolation ein. Die Rückstandsbildung hielt lange Zeit an, und auch die oben beschriebene Ladung wurde beobachtet. Diese Gläser sind es, welche selten rückstandsfrei gefunden werden, ja lange durchströmte Proben können nach Öttingen² ganz wohl mit einem unerschöpflichen Rückstandsreservoir verglichen werden.

Aus einer Reihe von Versuchen ergab sich, dass der scheinbare specifische Widerstand dünner Röhren grösser war als der dicker, doch könnte diese Erscheinung immerhin auch durch verschiedene Zusammensetzung der Gläser bedingt sein.

Kurz nach Stromschluss konnten wegen der raschen Veränderlichkeit des Ausschlages keine Bestimmungen der Stromstärke bei verschiedenen elektromotorischen Kräften vorgenommen werden. Nach langer Durchströmungsdauer waren die Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze unbedeutend.

¹ Hopkinson, l. c. pag. 603.

Öttingen, Wied. Ann. II, pag. 305, 1877.

1. Probe.

d. =
$$0.5 mm$$
 t. = 23° T. = 2° 1 D. = 310 Th.

E

1 5.4 5.4
2 10.6 5.3
4 21.4 5.35
Sp. W. = 135.10^{16} S. E.
Sp. W. = 142.10^{16} S. E. T. = 24°

2. Probe.

d. =
$$0.86 \, mm$$
 t. = 23° T. = 2° 1 D. = 326 Th.

E $\frac{i}{E}$
1 52 52
2 103 51.5
4 200 50
8 384 48
Sp. W. = 75.10^{16} S. E.

Der Unterschied in dem Verhalten von schwer- und leichtschmelzbaren Gläsern ist derselbe, wie zwischen Petroleumäther und Terpentinöl. In den ersteren ist die Rückstandsbildung in wenigen Minuten vollendet, worauf nahezu vollständige Isolation eintritt, während in den letzteren die Rückstandsbildung lange anhält und allmälig in Leitung übergeht.

15. Guttapercha.

Guttapercha wurde in zwei Formen untersucht:

- 1. Als dünnes Blättchen.
- 2. Als dickere nicht ausgewalzte Platte.

Die erstere isolirte stets viel besser.

Die Guttaperchahäutchen wurden zwischen erwärmten Metallelektroden gepresst und so ein inniger Contact hergestellt, doch scheint der Widerstand nach dem Erwärmen etwas kleiner zu bleiben als vor demselben.

Die einzelnen Proben gaben sehr wenig übereinstimmende Resultate. Manche zeigten ausser der Vergrösserung des Widerstandes mit der Zeit ganz normale Eigenschaften, andere schienen bei grösserer Potentialdifferenz der Elektroden besser zu leiten, doch verlor sich die letzte Erscheinung gewöhnlich mit der Zeit. Dasselbe Verhalten zeigt auch die Abnahme wieder zu Tage getretener Rückstände.

Wurden beide Condensatorbelegungen durch längere Zeit zur Erde abgeleitet, so stellte sich, wenn auch viel langsamer, doch immer wieder derselbe Ausschlag ein, ja er war selbst nach Ableitung durch 24 Stunden nur um ein Drittel seines Werthes kleiner geworden.

Der Unterschied zwischen dieser Ladung des Glases und einem Rückstande besteht darin, dass, während jener den Charakter eines Elementes zeigt, d. h. eine Potentialdifferenz der Condensatorplatten bedingt, diese sich als gleiche und gleichbezeichnete Potentialdifferenz beider Condensatorplatten gegen das Potential der Erde darstellt.

Eine ganz ähnliche Erscheinung beschrieb Hopkinson.

Leichtschmelzbares Sodaglas.

Für alle leichtschmelzbaren Gläser konnte eine bestimmte Leitungsfähigkeit angenommen werden; nie trat vollkommene Isolation ein. Die Rückstandsbildung hielt lange Zeit an, und auch die oben beschriebene Ladung wurde beobachtet. Diese Gläser sind es, welche selten rückstandsfrei gefunden werden, ja lange durchströmte Proben können nach Öttingen² ganz wohl mit einem unerschöpflichen Rückstandsreservoir verglichen werden.

Aus einer Reihe von Versuchen ergab sich, dass der scheinbare specifische Widerstand dünner Röhren grösser war als der dicker, doch könnte diese Erscheinung immerhin auch durch verschiedene Zusammensetzung der Gläser bedingt sein.

Kurz nach Stromschluss konnten wegen der raschen Veränderlichkeit des Ausschlages keine Bestimmungen der Stromstärke bei verschiedenen elektromotorischen Kräften vorgenommen werden. Nach langer Durchströmungsdauer waren die Abweichungen vom Ohm'schen Gesetze unbedeutend.

¹ Hopkinson, l. c. pag. 603.

Öttingen, Wied. Ann. II, pag. 305, 1877.

1. Probe.

d. =
$$0.5 mm$$
 t. = 23° T. = 2° 1 D. = 310 Th.

E

1 5.4 5.4
2 10.6 5.3
4 21.4 5.35
Sp. W. = 135.10^{16} S. E.
Sp. W. = 142.10^{16} S. E. T. = 24°

2. Probe.

$\mathbf{d.} = 0.86 mm$	$t.=23^{\circ}$	$T = 2^{h}$	1 D. == 320	6 Th.
E				\underline{i}
E				E
1	52	2		52
2	108	3		51.5
4	200)		50
8	384	4		4 8
Sp. $W = 75$	5.1016 S. E			

Der Unterschied in dem Verhalten von schwer- und leichtschmelzbaren Gläsern ist derselbe, wie zwischen Petroleumäther und Terpentinöl. In den ersteren ist die Rückstandsbildung in wenigen Minuten vollendet, worauf nahezu vollständige Isolation eintritt, während in den letzteren die Rückstandsbildung lange anhält und allmälig in Leitung übergeht.

15. Guttapercha.

Guttapercha wurde in zwei Formen untersucht:

- 1. Als dünnes Blättchen.
- 2. Als dickere nicht ausgewalzte Platte.

Die erstere isolirte stets viel besser.

Die Guttaperchahäutchen wurden zwischen erwärmten Metallelektroden gepresst und so ein inniger Contact hergestellt, doch scheint der Widerstand nach dem Erwärmen etwas kleiner zu bleiben als vor demselben.

Die einzelnen Proben gaben sehr wenig übereinstimmende Resultate. Manche zeigten ausser der Vergrösserung des Widerstandes mit der Zeit ganz normale Eigenschaften, andere schienen bei grösserer Potentialdifferenz der Elektroden besser zu leiten, doch verlor sich die letzte Erscheinung gewöhnlich mit der Zeit.

1. Probe.

2. Probe. d. = 0.04mm W. = 147.108 S. E. T. = 2^{m}

Wie regelmässig anderseits die Erscheinungen seinkonnten, zeigt folgende Tabelle:

3. Probe.

$$d. = 0.07 \, mm \, W. = 473.108 \, S. E. \, T. = 2^{m}$$

E		$\frac{i}{E}$
1	15	15
2	30	15
4	60	15
8	120	15

${f T}$			$\frac{i}{E}$
2 ^m	120		15
30 [™]	100		12.5
60 ^m	61		$7 \cdot 5$
90 ^m	60		7.5
	Sp. W.	Т.	
1. Probe.	519.10 ¹⁷ S. E.	2 ^m	
2. Probe.	104.10 ¹⁸ S. E.	1h 30m	

Auch die dickere Guttaperchaplatte bot stärker gespannten Strömen geringeren Widerstand, doch sind alle angegebenen Zahlen mit grosser Reserve aufzunehmen, da aus unbekanntem Grunde der scheinbare Widerstand der untersuchten Platte von der Grösse des Vergleichswiderstandes, sobald derselbe eine gewisse Grenze überschritt, abhing. Allerdings wurde letztere in den angeführten Beobachtungen nicht erreicht.

Die Platte nahm so viel Rückstand auf, dass immer eine Potentialdifferenz ihrer Oberflächen beobachtet werden konnte.

Bei längerer Durchströmung nimmt der Widerstand ab, erreicht ein Minimum und nimmt weiterhin zu.

16. Paraffinpapier.

Mit Paraffin getränktes Papier wurde zwischen erwärmten Elektroden fixirt und der so gebildete Condensator untersucht.

Paraffinpapier wurde nie rückstandsfrei getroffen. Die Probe, mit welcher die folgenden Resultate gewonnen wurden,

zeigte vor der Durchströmung eine Potentialdifferenz der Belegungen von 45 Th. (1 D. = 315 Th.), nach derselben, obwohl beide Belegungen viele Stunden hindurch zur Erde abgeleitet worden waren, 56 Theilstriche.

d. = 0.1	4mm	D. = 315	Th.
$W_{\cdot} = 282$.10 S. E.	$T = 2^m$	t. == 23°
To the state of th			i
$oldsymbol{E}$			\overline{E}
1	18		18
2	38		19
4	86		21.5
8	191		$23 \cdot 9$
			i
Т.			\overline{E}
3 ^h 30 ^m	155		19.8
$24^{\mathtt{h}}$	96		12
Sp. W. $= 110.3$	10 ¹¹ S. E.	E = 1 D.	$T. = 2^m$

Man sieht auch hier wächst, wie bei Guttapercha, die Stromstärke rascher als die elektromotorische Kraft. Vor allem fällt aber die scheinbar schlechte Isolationsfähigkeit des Paraffinpapieres auf. Mit diesem Verhalten steht dagegen gar nicht der langsame Ladungsverlust eines Paraffinpapiercondensators im Einklange. Während für etwas leitende Diëlektrica von demselben specifischen Widerstande die disponible Ladung in weniger als einer Secunde verloren worden wäre, nahm sie in dem Paraffincondensator auf folgende Weise ab.

-	D. = 315 Th.	E = 1 D.
Zeit, w	elche seit der	
Isolation	verflossen ist:	Disponible Ladung:
	0	315 Th.
	1 ^m	252
	2	222
	5	182
	20	149
	30	136
	35	132
	55	116
1 ^h	35	103
3 ^h	25	87
15 ^h		56

Diese Erscheinung, zusammengehalten mit den beobachteten unerschöpflichen Rückständen, lässt uns vermuthen, dass das der ganzen Leitung zwar sehr ähnliche Verhalten des Paraffinpapier-condensators bei constanter Durchströmung doch nur auf Rückstandsbildung beruhe. Paraffinpapier bietet ja diesem Processe besonders günstige Verhältnisse in Folge seiner Inhomogenität dar; denn reines Paraffin nahm allerdings viel Rückstand auf, endete aber stets mit vollständiger Isolation.¹

Die Art, wie diese grosse Elektricitätsmenge im Condensator aufgespeichert wird, bedarf noch weiterer Untersuchung.

Ich glaube ferner nicht zu irren, wenn ich einen grossen Theil der scheinbar viel besseren Leitung dicker als dünner Guttaperchaplatten auf Rückstandsbildung wie bei Paraffinpapier zurückführe.

17. Ebonit und Hartgummi.

Eine $0 \cdot 4 \, mm$ dicke Ebonitscheibe wurde am Rande von einem erhöhten Paraffinwalle umgeben, und die beiden Condensatorbelegungen durch Quecksilber gebildet. Die Untersuchung wurde mit 1—8 D. und mit 100 Smee-Elementen vorgenommen und ergab nach 5 Minuten stets vollkommene Isolation, so dass der specifische Widerstand sicher 10^{22} S. E. übersteigt. Die Rückstandsbildung ist gering, doch manchmal zeigt sich positive Ladung.

Eine etwas dickere Hartgummiplatte verhielt sich ebenso wie Ebonit. Ihr specifischer Widerstand ist von derselben Grössenordnung, nur ihr Rückstand und ihre bleibende positive Ladung waren etwas bedeutender als bei Ebonit.

In der folgenden Tabelle sind der Grössenordnung nach die Mittelwerthe der für die untersuchten Substanzen gefundenen specifischen Widerstände zusammengestellt.

¹ Ich halte die von Arons (Wied. Ann. Bd. XXXV, pag. 545) gegen die Rückstandsbildung angeführten Gründe für nicht stichhältig, da sie von der falschen Voraussetzung ausgehen, dass der nur einmal wieder zu Tage getretene Rückstand die ganze im Diëlektricum aufgespeicherte Rückstandsmenge repräsentire, eine Annahme, deren Unhaltbarkeit schon durch Kohlrausch's und Hopkinson's Versuche erwiesen ist.

	Sp. W.
Petroleumäther	2000 · 1015 S.E.
Terpentinöl	$50\cdot 10^{15}$
Ricinusöl	$2 \cdot 10^{15}$
Leinöl	6.1018
Mandelöl	$30 \cdot 10^{15}$
Olivenöl	$100 \cdot 10^{15}$
Schwefelkohlenstoff	$3 \cdot 10^{15}$
Vaselinöl .	$\dots 2000 \cdot 10^{15}$
Benzol	$200 \cdot 10^{15}$
Toluol	$2 \cdot 10^{15}$
Xylol	$10 \cdot 10^{15}$
Wasser	$10 \cdot 10^{8}$
Alcohol	$200 \cdot 10^{8}$
Äther	$200 \cdot 10^{8}$
Clas (schwerschmelzbar	$100 \cdot 10^{18}$
Glas { schwerschmelzbar leichtschmelzbar	$10 \cdot 10^{18}$
Guttapercha	$100 \cdot 10^{18}$
Ebonit	
Hartgummi /	über 10^{22}
Paraffin)	

Gehen wir endlich zur Beantwortung der Frage über, ob die Abweichungen der beobachteten Diëlektricitätsconstante von dem Quadrate des Brechungsexponenten mit der Leitung der betreffenden Diëlektrica zusammenhängt, so ist nach meinen Versuchen klar, dass eine directe Beziehung zwischen diesen beiden Grössen nicht bestehenkann, dass vielmehr hauptsächlich die Art der Rückstandsbildung auf die beobachtete Diëlektricitätsconstante von Einfluss ist. So dass z. B. einem der besten Isolatoren, schwerem Flintglase, die grösste Diëlektricitätsconstante entspricht. Nur bei den Ölen halten die Abweichungen der Diëlektricitätsconstante vom Quadrate des Brechungsexponenten dieselbe Reihenfolge, wie ihre Leitungsfähigkeiten ein.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: <u>Sitzungsberichte der Akademie der</u> Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: 98_2a

Autor(en)/Author(s): Koller Hugo

Artikel/Article: Über den Durchgang von Elektricität durch sehr

schlechte Leiter 201-266