

Über den Durchgang von Elektrizität durch sehr schlechte Leiter

von

Hugo Koller.

(Mit 6 Textfiguren.)

Nach Maxwell's elektromagnetischer Lichttheorie soll bekanntlich die Dielektricitätsconstante (D) eines vollkommenen Dielektricum dem Quadrate seines Brechungsexponenten (n^2) für unendliche Wellenlängen gleich sein. Während sich nun diese Beziehung bei vielen Dielektricis gut bestätigt hat, zeigen andere als ausgezeichnete Isolatoren bekannte Substanzen bedeutende Abweichungen von derselben, und zwar erscheint bis auf wenige Ausnahmen die Dielektricitätsconstante zu gross. So findet z. B. Hopkinson¹ für

	n^2	D
Olivenöl.	2·131	3·16
Ricinusöl.	2·153	4·78
Flintglas (extra dicht).	2·924	10·1

Da Maxwell's Regel nur für vollkommene Dielektrica 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 Dielektricitätsconstanten 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 Diëlektriciis als Zwischenmitteln, von welchen das eine etwas leitet, das andere nicht, so wird die Capacität des ersteren um die durch Leitung weggeschaffte Elektrizitätsmenge vergrössert scheinen. Mit Leitung nahe verwandt sind die Erscheinungen der diëlektrischen Nachwirkung, welche besonders von Boltzmann¹ 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 Diëlektriciis 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 Exner im physikalischen Cabinet der Wiener Universität ausgeführt.

I.

Die in der Literatur mitgetheilten Messungen des Widerstandes von Diëlektriciis 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 Diëlektriciis 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.

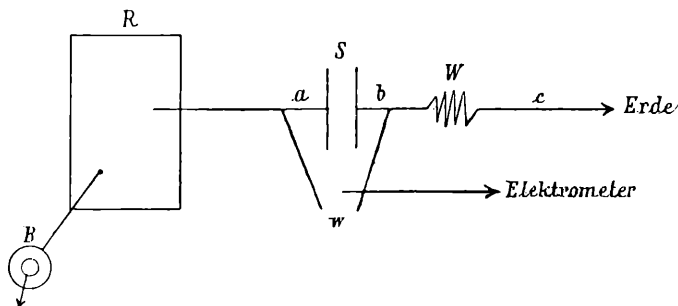
³ Quincke, Wied. Ann. XXVIII. S. 529. 1886.

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 Versuchsordnung, welche Figur 1 schematisch darstellt.

Fig. 1.



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 Potentials 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 Elektrizitätsquelle 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 Elektrometerschlag 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 mm^2 Oberfläche. Nur bei jenen Substanzen, in welchen Wasser vermuthet werden konnte, kamen etwas kleinere, sorgfältig amalgamirte Zinkplatten in Verwendung. Die Elektroden waren durch Glasstückchen von genau bestimmter Dicke getrennt.¹

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, bestimmaren 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 Glasstückchen 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 10^6 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 10^8 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. Ganz 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 10^{11} 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 10^{13} 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 Temperaturcoefficienten, immerhin mussten sie bei jedesmaligem Gebrauche mit den ganz verlässlichen Zinkvitriolwiderständen verglichen werden. Aber zwei unerwartete Übelstände machten sich bemerkbar. Ihr 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 Diëlektriciis 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.
$\frac{1}{2}$ Dani.	$172 \cdot 10^7$ 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% 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 aus reinem 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 auskristallisirt, 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 10^4 bis über 10^{11} 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 4 m 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 l , die dritte den Quotienten $\frac{l'}{E}$ an, wenn l' den nach der beigefügten Formel corrigirten Ausschlag bedeutet.

Tabelle II.

E	l	$\frac{l'}{E}$	E	l	$\frac{l'}{E}$
$\frac{1}{8}$ D.	20	160	$\frac{1}{8}$ D.	34	272
$\frac{1}{4}$ „	39·8	160	$\frac{1}{4}$ „	67·5	272
$\frac{1}{2}$ „	79·2	160	$\frac{1}{2}$ „	133·8	271·6
1 „	156·8	160	1 „	264·8	272·1

$$l' = l + \frac{1}{8000} l^2$$

$$l' = l + \frac{1}{9000} l^2$$

Man sieht, dass die Unproportionalität selbst bei den grössten Ausschlägen nicht 3% 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 Diëlectricum 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 ocludirten 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

Fig. 2.

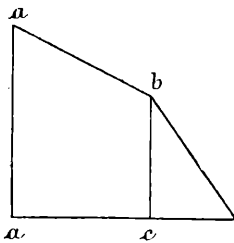


Fig. 3 a.

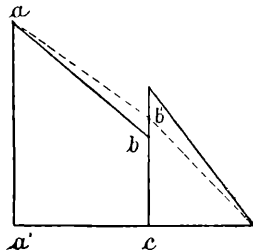
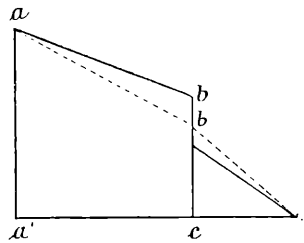


Fig. 3 b.



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:

Fig. 4 a.

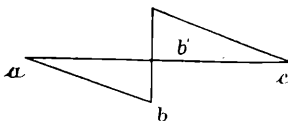
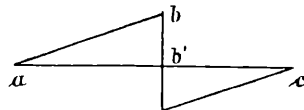


Fig. 4 b.



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, Vaselineöl.
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 Vaselineöl 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 Diëlektriciis verfolgen lassen, nur in verschiedenem 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 Elektrometersausschlages. 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 Diëlektricium zu bezeichnen, in demselben Sinne, wie man ja auch diëlektrische Verschiebung als einem Strome äquivalent annimmt. Das Diëlektricium 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 bc entsprechen.) Ferner wurden

der Quotient $\frac{i}{E}$ 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.

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.

A. d. = 0·15 mm

B. d. = 1·135 mm

Tabelle III.

W. = 179·10⁷ S. E. D. = 330 Th.
t = 22°.

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{8}$ Dan.	14 (?)	112
$\frac{1}{4}$	10	40
$\frac{1}{2}$	11	22
1	12	12
2	15·2	7·6
4	20	5
8	24·6	3·1

Tabelle IV.

W. = 1181·10⁷ S. E.
D. = 330 Th. t = 22°.

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	46	46
2	58	29
4	78	19·5
8	97	12·1
<i>T</i> = 60 m		
1	22	22
2	32	16
4	45	11·25
8	62	7·7

W. = 1181·10⁷ S. E. *E* = 8 D.

<i>T</i>	
1 m	127 Th.
60 "	100

$C. d. = 7.49 \text{ mm.}$

Tabelle V.

W. = 1181.10^7 S. E.
D. = 330 Th. $t = 22^\circ$.

E		$\frac{i}{E}$
1	23	23
2	38	19
4	66	16.5
8	103	12.3

Tabelle VI.

W. = 236.10^8 S. E. $t = 22^\circ$.
D. = 330 Th. $E = 8D$.

T	i
1 m	179
8	151
18	129
30	119
35	115
60	100
600	49

Tabelle VII.

Absoluter Widerstand des Petroleumäthercondensators.

E	$\frac{1}{4}$	1	8	8
T.	1 m	1 m	1 m	lang ¹
d.				
0.15 mm	130.10 ⁸ S. E.	474.10 ⁸	1888.10 ⁸	2398.10 ⁸
1.135 „		729.10 ⁸	3166.10 ⁸	5066.10 ⁸
7.49		1580.10 ⁸	3070.10 ⁸	12750.10 ⁸

Tabelle VIII.

Aus Tabelle VII sich ergebende scheinbare spezifische Widerstände des Petroleumäthers.

E	$\frac{1}{4}$	1	8	8
T.	1 m	1 m	1 m	lang
d.				
0.15 mm	296.10 ¹⁵ S. E.	1081.10 ¹⁵	4304.10 ¹⁵	5465.10 ¹⁵
1.135 „		220.10 ¹⁵	940.10 ¹⁵	1531.10 ¹⁵
7.49		72.1.10 ¹⁵	141.10 ¹⁵	582.10 ¹⁵

¹ Die Zahlen gelten für die längste in den vorigen Tabellen angegebene Durchströmungsdauer.

Ähnliches Verhalten zeigen alle Destillationsproducte des Petroleums.

Rectificirtes Petroleum:		Käufliches Petroleum:	
d. = 0·875 mm	E = 1 D.	d. = 0·875 mm	E = 1 D.
t. = 24·4°	T. = 15 m	t. = 22°	T. = 2 m
Sp. W. = 288·10 ¹⁵ 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 „Terpentinegeist“ 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.

Tabelle IX.

W. = 179·10⁷ S. E. t. = 24°
D. = 330 Th.

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{8}$	28	224
$\frac{1}{4}$	56	224
$\frac{1}{2}$	109	218
1	212	212

Tabelle X.¹

W. = 1022·10⁵ S. E. t. = 24°
D. = 330 Th.

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	22	22
2	36	18
4	62	15·5

W. = 179·10⁷ S. E. E = 1 D.
D. = 330 Th. t. = 24°

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 (= 1 Dan.) kommt im ersten Falle nur ein Drittel, im zweiten fast das ganze auf den Terpentinölcondensator.

$B. d. = 1.135 \text{ mm.}$

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

Tabelle XIa.

T.	$1\frac{1}{2}^m$	1^h	2^h	4^h
E				
1	40	8	6.4	5.6
2	72	14	11.6	10
4	116	24	20	17
8	172	46	37.4	32

Tabelle XIb.

T.	$1\frac{1}{2}^m$	4^h
E	$\frac{i}{E}$	$\frac{i}{E}$
1	40	5.6
2	36	5
4	29	4.25
8	21.5	4

$C. d. = 7.49 \text{ mm.}$

$W. = 1022.10^5 \text{ S. E. für } T. = 1\frac{1}{2}^m \text{ bis } 3^h 15^m$

$W. = 179.10^7 \text{ S. E. für } T. = 3^h 25^m \text{ bis } 4^h 30^m$

$D. = 330 \text{ Th.} \quad t. = 24^\circ$

Tabelle XIIa.

T.	$1\frac{1}{2}^m$	1^h	$3^h 15^m$	$3^h 25^m$	4^h	$4^h 30^m$
E						
1	49.9	—	—	—	20	15
2	99.7	—	—	—	38.2	27.5
4	196.8	14.5	6.5	82	67.4	52.4
8	388.4	28	13	153.5	124.5	101

Tabelle XIIb.

T.	$1\frac{1}{2}^m$	$4^h 30^m$
E	$\frac{i}{E}$	$\frac{i}{E}$
1	49.9	15
2	49.8	13.8
4	49.2	13.1
8	48.6	12.6

Tabelle XIII.

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

d.	Absoluter Widerstand des Terpentinölcondensators		Specificher Widerstand des Terpentinöles	
	$T = 1\frac{1}{2}^m$	$T = \text{lang}$	$T = 1\frac{1}{2}^m$	$T = \text{lang}$
0.15 mm	91.10 ⁷ S. E.	120.10 ⁷	228.10 ¹⁴	273.10 ¹⁴
1.135	67.7.10 ⁷	581.10 ⁷	20.5.10 ¹⁴	176.10 ¹⁴
7.49	51.8.10 ⁷	3460.10 ⁷	2.37.10 ¹⁴	158.10 ¹⁴

2. Probe.

Zinkelektroden.

$$d. = 0.885 \text{ mm} \quad W. = 145.10^8 \text{ S. E.} \quad T. = 2^m \quad t. = 17^\circ$$

E		$\frac{i}{E}$	Sp. W.
1	19	19	851.10 ¹⁴ S. E.
2	37.5	18.7	890.10 ¹⁴ „
3	54	18	935.10 ¹⁴
4	70.4	17.6	952.10 ¹⁴
5	85.6	17.1	1008.10 ¹⁴

3. Probe.

$$E = 2 \text{ D.} \quad d. = 0.145 \text{ mm} \quad W. = 179.10^7 \text{ S. E.} \quad T. = 1^h \quad t. = 22^\circ$$

$$\text{Sp. W.} = 158.10^{15}$$

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 *sitt* 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 Schliessungsstromes in diesen Zustand langsamer Abnahme der Stromstärke mit der Zeit erfolgt nie ganz schroff, sondern mehr weniger allmähig. 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 Diëlektrici:

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 Diëlektrici. Eine Minute nach Stromschluss, zu welcher Zeit die mitgetheilten Beobachtungen beginnen, betrug 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 $1\frac{1}{2}^m$ 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 $\frac{1}{4}$ ihres Werthes nach $1\frac{1}{2}^m$, (von

172 auf 46 Th. Tab. XIa), bei 7·49mm sogar auf $\frac{1}{14}$ 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 $3\frac{1}{2}^h$ eine weitere so bedeutende Abnahme der Stromstärke, dass dieselbe nur $\frac{1}{66}$ jener nach $1\frac{1}{2}^m$ 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 Diëlectrica 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 $\frac{i}{E}$ angeben. Man sieht, diese Abweichungen 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 7·49mm 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 Diëlectricum 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 Kräfte zukommenden Stromstärken unter ganz gleichen Bedingungen stösst aber auf grosse experimentelle Schwierigkeiten, da, wie erwähnt, der scheinbare Widerstand des Diëlectricums 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. XI*b*.) betrug diese jedoch 7.49 mm, so war eine deutliche Zunahme der Abweichungen mit der Durchströmungsdauer bemerkbar. (Tab. XII*b*.)

3. Änderungen des scheinbaren spezifischen Widerstandes mit der Elektrodendistanz.

Unter sonst gleichen Bedingungen scheint der spezifische 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 spezifische 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

1. Auf Ladung des Diëlektricum als Condensator, d. h. auf diëlektrische Verschiebung.

2. Auf einen „in Ermanglung eines besseren Ausdruckes als Polarisirung 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 Electricität 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 Diëlektricum 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's¹ ist 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 *s_{idt}* der unmittelbar nach Schliessung der Batterie auftretenden

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

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 Elektrizitätsmengen 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 Elektrizitätsmengen 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 Elektrizitätsmengen in der diëlektrischen Verschiebung als elektrische Energie erhalten bleiben und auch als solche zurückgewonnen werden können, während die Leitung auf einer fortdauernden Umwandlung von Elektrizität in Wärme beruht. Während ferner die diëlektrische Verschiebung zu ihrer Erhaltung keines weiteren Elektrizitätszuflusses bedarf, müssen zur Unterhaltung der Leitung fortwährend die als Wärme verlorenen Elektrizitätsmengen ersetzt werden. Aus dem Elemente fliessen neue Elektrizitätsmengen nach, welche wieder eine Umwandlung in Wärme erfahren und so fort bis sich Gleichgewicht zwischen zufließender und verbrauchter Elektrizitätsmenge hergestellt, d. h. ein constanter Strom entwickelt hat.

Untersuchen wir nun den Zustand, in welchen ein unvollkommenes Diëlektricum unter dem Einflusse eines constanten Stromes tritt, so begegnen wir alsbald der diëlektrischen Verschiebung, welche dem kurzen, intensiven Ladungsstrom 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

welchem er gebildet wurde, während der Polarisationszustand eines Diëlektricum nur von der Summe der vorhandenen Elektrizitätsmengen und der räumlichen Vertheilung von Conductoren und Diëlektricis abhängt. So könnten wir z. B. die der Capacität eines Condensators mit vollkommenem Diëlektricum entsprechende Elektrizitätsmenge auf einer der Belegungen concentriren, indem wir dieselbe in das Unendliche entfernen. Nicht so die als Rückstände aufgespeicherten Elektrizitätsmengen, 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 Diëlektricum, aber nicht sein Rückstand gestört, dieser entwickelt sich vielmehr ganz unverändert zu freier Elektrizität an den nun unbelegten Oberflächen des Diëlektricum.

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

Auf eine Eigenschaft des Rückstandes möchte ich noch aufmerksam machen: Wie von Faraday und Maxwell hervorgehoben wurde, befindet sich das Diëlektricum in einem geladenen Condensator in keinem natürlichen, sondern einem gezwungenen Zustande. Dasselbe kann man auch vom Rückstände behaupten, indem dieser nie für sich allein besteht, sondern stets einer freien Elektrizitätsmenge, 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 Gegen-drucke Gleichgewicht hält.

Umgekehrt wird auch die einem Condensator mit unvollkommenem Diëlektricum zugeführte Elektrizitätsmenge 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 allmählig 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 Elektrizitätsmengen 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 Elektrizitätsmenge 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 allmählige Abnahme der Elektrizitätsaufnahme eines unvollkommenen Diëlektricums nach Art einer Stauung aufgefasst werden, welche in dem Umwandlungsprocesse von Elektrizität in Wärme eintritt. Das Diëlektricum ist nur im Stande, eine geringe Elektrizitätsmenge durch Leitung fortzuschaffen, es

sammeln sich daher unter dem Drucke der äusseren elektromotorischen Kraft allmählig Elektrizitätsmengen 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 allmähigen Abnahme der Stromstärke in einem unvollkommenen Diëlektricum erlaubt aber mehr als einen allgemeinen Schluss, dass Rückstandsbildung stattfindet, sie gibt uns auch ein Mittel an die Hand, die Grösse derselben zu bestimmen, indem die Integralsumme $\int_0^t i dt$ weniger der Capacität des Condensators und der in dieser Periode durch Leitung fortgeschafften Elektrizitätsmenge 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 Giese¹ 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 Elektrizitätsmengen. Allerdings wird unter sonst ganz gleichen Umständen ein 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 Elektrizitätsmenge.

Eine viel genauere Schätzung der dem Rückstande entsprechenden Elektrizitätsmenge gestattet wiederholtes Entladen des rückstanderfüllten Condensators, wie es schon von Kohlrausch¹ geschehen ist. In dieser Weise ausgeführte Versuche Hopkinson's² können sämtlich 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 Elektrizitätsmenge 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 $\int_0^{\infty} J^2 R dt$ 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 Elektrizitätsmenge möglich, da weder die variable elektromotorische Kraft des Rückstromes, noch der wahre Widerstand des Diëlektricum, 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 Elektrizitätsmengen

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 Electricitätsverbrauche 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 Electricitätsmengen 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 Electricitätsmengen 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 Electricitätsmengen 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 mittelst 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,¹ während aber der bleibende Rückstrom dem lange anhaltenden Ladungsstrom 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 Diëlektriciis 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 theilhaftig sei, eine mächtige Stütze. Man sieht daraus ferner, einen wie unvollkommenen Einblick in den Zustand eines

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

rückstandserfüllten 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 Schliessungsströme 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 Elektrizitätsmenge 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 Elektrizitätsmengen nothwendigen Zeiten verhielten sich bei:

	Wasser		Petroleum		Terpentinöl
wie	1	zu	3·2		74·5.

Man sieht, dass der Transport derselben Elektrizitätsmenge 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 Elektrizität 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.

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

stand an den Molekülen haftenden Elektrizitätsmengen an dieselben anpresst. Erst mit Nachlassen desselben sollen jene zum Vorschein kommen. Die Moleküle des Petroleumäthercondensators nehmen nun Elektrizität 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 Elektrizitätsmengen sich wieder in freie Elektrizität 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 Diëlektricitäts.

Flintglas zeigt in dieser Beziehung das auffallendste Verhalten. Die Elektrizitätsmengen, welche ein aus diesem Materiale hergestellte Leydnerflasche aufnimmt, sind ungemein variabel, aber selbst bei kürzester Ladungsdauer erscheint die entsprechende Diëlektricitätsconstante noch zu gross.¹ Analoges Verhalten bietet die Entladung dar, welche zwar stets sehr stark ist,² aber wesentlich von der Entladungsdauer abhängt, indem Gauguain nachwies, dass die nach derselben im Condensator noch zurückbleibende Elektrizitätsmenge 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 Elektrizitätsmenge 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 Eigenschaft eines unvollkommenen Diëlectricums, rasch Rückstand zu bilden, denselben aber eben so rasch wieder in freie Elektrizität zu verwandeln, der Flintglascondensator seine grosse Wirksamkeit verdankt. Die nach einer Entladung von zwei Secunden noch zu Tage tretenden Rückstände sind nach Hopkinson¹ nur mehr ganz unbedeutend.

Die Ansicht, dass die an der Entladung einer Leydnerflasche participirenden Elektrizitätsmengen auch von Rückständen herkommen, 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 Elektrizität, welche mit an der Entladung Theil nimmt, gestattet. Rjike fand für das Verhältniss des Potentials 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's³ dafür zu sprechen, dass die einem Flintglascondensator mitgetheilte Elektrizitätsmenge 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 Elektrizitätsverlust erklären. Es würde ja z. B. der dem Ladungsverluste vom 23. Juli bis 9. August entsprechende Zerstreuungscoefficient weniger als $\frac{1}{500}$ 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 Elektrizität 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 Elektrizitätsmengen in Wärme immer ähnlichere Formen und endlich in Wärme selbst übergeführt. Während mir nun in dem vorigen Abschnitte hauptsächlich die Übergangsstufen zwischen diëlektrischer Verschiebung 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 Elektrizität 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 Elektrizitätsmenge 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

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 Elektrizität ihren Weg nicht 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 3 mm 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 Diëlektricum, die ihr mitgetheilte Elektrizitätsmenge 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 Diëlektricum 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 entladnen Leydnerflasche, Borgmann² und Naccari u. Bellati³ jene flüssiger Isolatoren nach.

VI.

Ehe ich zur Mittheilung der mit anderen Diëlektricum 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 trat nämlich 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 fortschreitender 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 Diëlektricum 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 niederen 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 Substanz nie 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, dergleichen wurde sie — doch nur in Ausnahmefällen — bei Petroleumäther, Vaselineöl und Ricinusöl angetroffen. Bedingung ihres Zustandekommens ist vor allem sehr geringe Elektrodendistanz (in meinen Versuchen = 0.145mm). 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 $2\frac{1}{4}$ stündiger Einwirkung des deformirenden Stromes ergaben. Sie sind zum Vergleiche mit den vor der Deformation beobachteten Stromstärken zusammengestellt.

Tabelle XIV.

$$d = 0.15\text{mm} \quad W = 1022.10^5 \text{ S. E.}$$

$$D. = 305 \text{ Th.} \quad t = 24^\circ$$

E	Vor der Deformation:		Nach der Deformation:	
		$\frac{i}{E}$		$\frac{i}{E}$
1	22	22	43	43
2	36	18	71.6	35.8
4	62	15.5	122.5	30.6
8	—		201	25.01

Terpentinöl ist durch Deformation scheinbar doppelt so gut leitend geworden. Auffallend ist, wie genau die Abweichungen vom Ohmschen Gesetze in beiden Beobachtungsreihen übereinstimmen.¹

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 Diëlektriciis in Zusammenhang bringen. So schien in einem Falle der Widerstand von Terpentinöl nach sehr langer Durchströmung (über 12^h) 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 Diëlektriciis 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.

$$d. = 0.925 \text{ mm}$$

$$t. = 20.6^\circ$$

$$E = 1 \text{ D.}$$

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

2. Probe.

$$E = 1 \text{ D. } t. = 24.6^\circ$$

d.	Sp. W.
0.145 mm	517.10 ¹² S. E.
0.875 "	374.10 ¹²
3.015 "	309.10 ¹²

$$d. = 0.875 \text{ mm } t. = 24.6^\circ$$

E	Sp. W.
1 D.	378.10 ¹² S. E.
2 "	392.10 ¹²
4	411.10 ¹²
8	439.10 ¹²

3. Probe.

d. = 0·145 mm D. = 280 Th.
W. = 282·10⁵ S. E. t. = 23°

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{8}$	20·4	163·2
$\frac{1}{4}$	40·8	163·2
$\frac{1}{2}$	81·7	163·4
1	163·4	163·4

d. = 0·145 mm D. = 317 Th.
W. = 176·10⁴ S. E. t. = 24°

<i>E</i>	<i>i</i>	$\frac{i}{E}$
1	24·1	24·1
2	46·6	23·3
4	93·5	23·4(?)
8	155·1	19·4

nach 1^h

8 144·9 18·1

d. = 1·135 mm D. = 317 Th.
W. = 101·10⁵ S. E. t. = 24°

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	22·6	22·6
2	44·4	22·2
4	85·6	21·4
8	170·9	21·4

d. = 3·015 mm D. = 317 Th.
W. = 101·10⁵ S. E. t. = 24°

<i>E</i>	<i>i</i>	$\frac{i}{E}$
1	9·5	9·5
2	18·8	9·4
4	36·3	9·1
8	72	9

t. = 24° *E* = D.¹

d.	Sp. W.	T.
0·145 mm	472·10 ¹² S. E.	kurz
0·145	502·10 ¹²	5 ^m
0·145	537·10 ¹²	1 ^h 15 ^m
1·135 "	397·10 ¹²	kurz
3·015	368·10 ¹²	kurz.

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

	Sp. W.	t.
1. Probe.....	206·10 ¹² S. E.	20°
2. Probe.....	374·10 ¹²	24·6°
3. Probe...	...397·10 ¹²	24°

2. Leinöl. (Kalt gepresst.)

1. Probe.

<i>E</i> = 1 D.	t. = 24·8°	d. = 0·875 mm	t. = 24·8°
d.	Sp. W.	<i>E</i>	Sp. W.
0·145 mm	980·10 ¹³ S. E.	1	574·10 ¹³ S. E.
0·875	574·10 ¹³	2	586·10 ¹³
3·015	519·10 ¹³	4	621·10 ¹³
		8	660·10 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.

Durchgang von Elektrizität.

2. Probe.

d. = 0·875 mm	D. = 292 Th.	d = 3·015 mm	D. = 292 Th.
W. = 1022·10 ⁵ S. E.	t. = 24°	W. = 1022·10 ⁵ S. E.	t = 24°

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$	<i>E</i>		$\frac{l}{E}$
1	19·4	19·4	1	5·7	5·7
2	37·5	18·7	2	11·2	5·6
4	70·2	17·6	4	21·4	5·4
8	131·2	16·4	8	40·6	5·15

d. = 7·49 mm	D. = 292 Th.	<i>E</i> = 1 D.	t. = 24°
W. = 1022·10 ³ S. E.	t. = 24°	d.	Sp. W.
<i>E</i>	<i>E</i>	0·875 mm	560·10 ¹³ S. E.
1	52·3	3·015	581·10 ¹³
2	103·8	7·49	21·6·10 ¹³ 1
4	206·5	7·49	129·10 ¹³
Nach 10 Stunden.			
1	10·2	10·2(?)	
2	17·2	8·6	Sp. W.
4	33·1	8·3	1. Probe 574·10 ¹³ S. E.
8	64·4	8·05	2. Probe 560·10 ¹³

Die Übereinstimmung des spezifischen 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 spezifischen Widerstände der Öle nie in so weiten Grenzen variierten, 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, andererseits 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 spezifischen Widerstandes konnte nicht gefunden werden.

3. Ricinusöl.

1. Probe.

d. = 0.885 mm t. = 19° E = 1 D.
Sp. W. = 165.10¹³ S.E.

2. Probe.

d. = 1.53 mm t. = 24.6°
E
1 321.10¹³ S. E.
2 330.10¹³
4 339.10¹³
8 357.10¹³

3. Probe.

d. = 0.145 mm D. = 305 Th.
W. = 276.10⁵ S.E. t. = 24°

E	i	$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{8}$	18	144
$\frac{1}{4}$	35.6	141.2
$\frac{1}{2}$	70.1	140.2
1	135.9	135.9

d. = 0.145 mm D. = 418 Th.
W. = 176.10⁴ t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$
1	16	16
2	30.5	15.25
4		

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

1	36.7	36.7
2	72.7	36.35
4	145.8	35.4
nach 1 ^h 10 ^m		
4	72.4	18.1

d. = 1.135 mm D. = 418 Th.
W. = 119.10⁵ S.E. t. = 25°

E		$\frac{i}{E}$
1	21.4	21.4
2	42	21
4	81.7	20.4
8	154.3	19.3

d. = 3.015 mm D. = 418 Th.
W. = 119.10⁵ S.E. t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$
1	11.6	11.6
2	22	11
4	41.2	10.3
8	76.6	9.4
nach 2 ^h 30 ^m		
8	30.1	3.75

Sp. W. t.

1. Probe	165.10 ¹³ S. E.	18°
2. Probe	321.10 ¹³	24.6°
3. Probe	63.6.10 ¹³	24°

$E = 1 \text{ D.} \quad t. = 24^\circ$			Nach der Deformation		
d.	Sp. W.	T	0·145	$432 \cdot 10^{12}$	15^m
$0 \cdot 145 \text{ mm}$	$807 \cdot 10^{12}$	kurz	0·145	$913 \cdot 10^{12}$	$1^h 40^m$
0·145	$1042 \cdot 10^{12}$	15^m	1·135	$636 \cdot 10^{12}$	kurz
			3·015	$476 \cdot 10^{12}$	kurz
			3·015	$1214 \cdot 10^{12}$	$2^h 30^m$

4. Olivenöl.

1. Probe.

d. = $1 \cdot 53 \text{ mm}$ E = 4 D.

t. = $24 \cdot 6^\circ$

Sp. W. = $157 \cdot 10^{15} \text{ S. E.}$

2. Probe.

d. = $1 \cdot 53 \text{ mm}$	t. = $24 \cdot 4^\circ$	E. = 1 D.	t. = $24 \cdot 6^\circ$
E	Sp. W.	d.	Sp. W.
1	$127 \cdot 10^{15} \text{ S. E.}$	$0 \cdot 145 \text{ mm}$	$128 \cdot 10^{15} \text{ S. E.}$
2	$127 \cdot 10^{15}$	1·53	$127 \cdot 10^{15}$
4	$133 \cdot 10^{15}$	3·015	$105 \cdot 10^{15}$
8	$141 \cdot 10^{14}$		

3. Probe.

d. = $0 \cdot 145 \text{ mm}$ D. = 388 Th.

W. = $183 \cdot 10^7 \text{ S. E.}$ t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{8}$	26·6	212·8
$\frac{1}{4}$	53·3	213·2
$\frac{1}{2}$	106·2	212·4
1	210·8	210·8

d. = $1 \cdot 135 \text{ mm}$ D. = 388 Th.

W. = $1022 \cdot 10^5 \text{ S. E.}$ t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$
1	6·4	6·4
2	12·2	6·1
4	24·3	6·08
8	48·4	6·04

nach 3^h

1	3·8	3·8
2	7·2	3·6
4	14·2	3·55
8	27·7	3·46

d. = $0 \cdot 145 \text{ mm}$ D. = 388 Th.

W. = $276 \cdot 10^5 \text{ S. E.}$ t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$
1	6	6
2	11·4	5·7
4	22	5·5
8	42	5·25

d. = $3 \cdot 015 \text{ mm}$ D. = 388 Th.

W. = $179 \cdot 10^7 \text{ S. E.}$ t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$
1	27·2	27·2
2	54·3	27·1
4	106·5	26·7
8	201·6	25·2

nach 2^h

1	24·2	24·2
2	48·3	24·1
4	96·5	24·1
8	187·6	23·8

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

d.	Sp. W	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	31·2·10 ¹⁵	24°
1·135	312·10 ¹⁴	3 ^h			
3·015	270·10 ¹⁴ (?)	3 ^m			
3·015	304·10 ¹⁴	2 ^h			

5. Mandelöl.

1. Probe.

d. = 1·53 mm	t. = 24°
E	Sp. W.
1	443·10 ¹⁴ S. E.
2	445·10 ¹⁴
4	477·10 ¹⁴
8	501·10 ¹⁴

2. Probe.

d. = 0·145 mm	D. = 330 Th.	d. = 0·145 mm	D. = 302 Th.
W. = 1037·10 ⁵ S. E.	t. = 23·4°	W. = 1037·10 ⁵ S. E.	t. = 23·4°

E		$\frac{i}{E}$	E		$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{8}$	4·2	33·6	1	32·5	32·5
$\frac{1}{4}$	8·2	32·8	2	56·3	28·2
$\frac{1}{2}$	15	30	4	100·1	25
1	27·2	27·2 ¹	8	165·8	20·7

d. = 1·135 mm	D. = 302 Th.	d. = 3·015 mm	D. = 302 Th.
W. = 1031·10 ⁵ S. E.	t. = 23·6°	W. = 179·10 ⁷ S. E.	t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$	E		$\frac{i}{E}$
1	6·2	6·2	1	43·2	43·2
2	12·2	6·1	2	84	42
4	23·3	5·8	4	159·8	40
8	44·8	5·6	8	302	48

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

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

d.	Sp. W.	T		Sp. W.	t.
0·145 mm	272·10 ¹⁴ S. E.	kurz	1. Probe	443·10 ¹⁴ S. E.	24°
nach d. Def.	204·10 ¹⁴	15 ^m	2. Probe	272·10 ¹⁴ S. E.	24°
1·135	150·10 ¹⁴	kurz			
3·015	122·14 ¹⁴	kurz			

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 Elektroden-distanz eine unerklärte bedeutende Steigerung des scheinbaren Widerstandes.

1. Probe.

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

d.	Sp. W
0·875 mm	95·10 ¹³ S. E.
1·53	87·10 ¹³
3·015	55·10 ¹³

2. Probe.

d. = 0·145 mm	D. = 205 Th.	d. = 0·145 mm	D. = 208 Th.
W. = 172·10 ⁷ S. E.	t. = 24°	W. = 276·10 ⁵ S. E.	t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$	E		$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{6}$	20·7	165·6	1	11	11
$\frac{1}{3}$	56	168	2	22·5	11·25
$\frac{1}{2}$	82·5	165	4	43·6	10·9
1	165·2	165·2	8	84	10·5

d. = 1·135 mm	D. = 208 Th.	d. = 7·49 mm	D. = 208 Th.
W. = 276·10 ⁵ S. E.	t. = 24°	W. = 172·10 ⁷ S. E.	t. = 24°

E		$\frac{i}{E}$	E		$\frac{i}{E}$
1	3	3	1	7	7
2	6	3	2	14	7
4	9	2·25	4	27	6·75
8	15	1·88	8	54	6·75

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

d.	Sp. W.		Sp. W.	t.
0·145 mm	117·10 ¹⁴ S. E.	1. Probe	87·10 ¹³	23°
1·135	56·6·10 ¹⁴	2. Probe	566·10 ¹³	24°
7·49	226·10 ¹⁴			

7. Vaselineöl.

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

1. Probe.

d. = 153 mm	t. = 22°
E	Sp. W.
1	168·10 ¹⁶ S. E.
8	606·10 ¹⁶

2. Probe.

E = 8 D.	t. = 24°
d.	Sp. W.
0·145 mm	203·10 ¹⁶ S. E.
1·53	210·10 ¹⁶

3. Probe.

d.	T.	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. = 179·10 ⁷	t. = 24°
E	$\frac{i}{E}$
1	11·6
2	11
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:

$$d. = 0.155mm \quad t. = 24^\circ$$

$$W = 179.10^7 \text{ S.E.} \quad D. = 301 \text{ Th.}$$

E		$\frac{i}{E}$
1	52	52
2	121	60.5
4	240	60

$$d. = 1.135mm \quad D. = 301 \text{ Th.}$$

$$W. = 1022.10^5 \text{ S.E.} \quad t. = 24^\circ$$

$$d = 7.49mm \quad D. = 301 \text{ Th.}$$

$$W. = 1022.10^5 \text{ S.E.} \quad t. = 24^\circ$$

E	i	$\frac{i}{E}$	E	$\frac{i}{E}$
1	6.8	6.8	1	50
2	14.8	7.4	2	93
4	34.9	8.7	4	202
8	72.2	9.15		50.5

nach 30 m

1	4.8	4.8
2	8.8	4.4
4	17.8	4.4
8	33.9	4.2

nach 8 h

1	6	6
2	12	6
4	24	6
8	48	6

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

$$d. \quad \text{Sp. W.} \quad T.$$

$$0.155mm \quad 99.10^{16} \text{ S.E.} \quad 1^m$$

nach der Def.	19.10^{16}	
1.135	134.10^{14}	1
1.135	190.10^{14}	30
7.49	$2.34.10^{14}$	1
7.49	23.10^{14}	8 ^b

$$t. = 24^\circ$$

Probe	Sp. W.	E.
1	168.10^{16} S.E.	1
2	210.10^{16}	8
3	193.10^{16}	8
4	190.10^{14}	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 Elektrodendistanz.

8. Benzol.

1. Probe. (Von Kahlbaum.)

d. = 0·145 mm D. = 302·4 Th.

W. = 358·10⁸ S. E. t. = 24°

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{8}$	32·3	258·4
$\frac{1}{4}$	64·4	257·6
$\frac{1}{2}$	129	258
1	257	257

d. = 0·145 mm D. = 305 Th.

W. = 1022·10⁵ S. E. t = 24°

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	4	4
2	6	3
4	9	2·25
8	14	1·62

nach 2^h W = 179·10⁷ S. E.

1	47·3	47·3
2	73·6	36·8
4	110·3	27·6
8	172·2	21·5

d. = 1·135 mm D. = 305 Th.

W. = 177·10⁷ S. E. t. = 24·4°

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	40·2	40·2
2	59·4	29·7
4	104·3	26·1
8	174·2	21·8

d. = 7·49 mm D. = 305 Th.

W. = 179·10⁷ S. E. t. = 24°

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	14	14
2	26·1	13·05
4	51·3	12·8
8	88·9	11·1

nach 3^h

1	16	16
2	30·1	15·05
4	53·3	13·3
8	82·7	10·03

nach 1^h 40^m

1	5·8	5·8
2	11·2	5·6
4	21·2	5·3
8	34·2	4·3

t = 24° E = 8 D.

d.	Sp. W.	T.
0·145 ^{mm}	194·10 ¹⁵ S. E.	5 ^m
0·145	231·10 ¹⁵	2 ^h
1·135	483·10 ¹⁴	4 ^m
1·135	956·10 ¹⁴	
7·49	166·10 ¹⁴	2 ^m
7·49	436·10 ¹⁴	1 ^h 40 ^m

2. Probe (käuflisches Benzin).

E. = 2 D. t = 24°

T. = 30^m

d.	Sp. W.
0·145 ^{mm}	900·10 ¹⁴ S. E.
0·875	141·10 ¹⁴
3·015	57·4·10 ¹⁴

Einige Proben von Benzol isolirten so ausgezeichnet, dass ihr spezifischer Widerstand nicht mehr bestimmt werden konnte; derselbe lag sicher über 10¹⁸ S. E.

9. Toluol.

1. Probe.

d. = 0·875 mm	t. = 24°	E. = D.	t. = 24°
E.	Sp. W.	d.	Sp. W.
1	250·10 ¹³ S. E.	0·145 ^{mm}	317·10 ¹³ S. E.
2	254·10 ¹³	0·875	250·10 ¹³
4	260·10 ¹³	3·015	189·10 ¹³
8	269·10 ¹³		

2. Probe.

d = 0·19 mm	D. = 303 Th.	d = 1·135 mm	D. = 311 Th.
W = 1037·10 ¹⁵ S. E.	t = 23·4°	W = 280·10 ⁵ S. E.	t = 23·4°
<i>E</i>	$\frac{i}{E}$	<i>E</i>	$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{5}$	18	144	1
$\frac{1}{4}$	35·1	140·4	12
$\frac{1}{2}$	68·4	136·8	2
1	133·9	133·9	23
			42·2
			10·5
			8
			76·7
			9·6

W = 280·10 ⁵	D. = 311 Th.	E. = 1 D.	t = 23·6°
1	56·9	56·9	d.
2	105	52·5	Sp. W.
4	205·4	51·4	0·19 ^{mm}
			236·10 ¹² S. E.
			1·135
			211·10 ¹²
			7·49
			199·10 ¹²

d. = 7·49	D. = 311 Th.	Sp. W.	t.
W. = 1031·10 ⁵ S. E.	t. = 23·6°	1. Probe	250·10 ¹³
<i>E</i>	$\frac{i}{E}$	2. Probe	211·10 ¹³
1	7·2	7·2	24°
2	14·2	7·1	23·4°
4	27·1	6·8	
8	50·3	6·3	
nach 45 ^m			
8	50·3	6·3	

Der Widerstand änderte sich nicht merklich mit der Durchströmungsdauer.

10. Xylol.

1. Probe.

d = 1·53 mm	t = 24.
<i>E</i>	Sp. W.
1	250·10 ¹⁴ S. E.
2	255·10 ¹⁴
4	348·10 ¹⁴
8	459·10 ¹⁴

2. Probe.

E = 1 D.	t = 20°
d.	Sp. W.
0·145 mm	1380·10 ¹³ S. E.
0·875	846·10 ¹³
3·015	812·10 ¹³

3. Probe.

$d. = 0.19 \text{ mm}$ $D. = 303 \text{ Th.}$
 $W. = 179.10^7 \text{ S. E.}$ $t. = 24^\circ$

E	i	$\frac{i}{E}$
$\frac{1}{8}$	13	104
$\frac{1}{4}$	25	100
$\frac{1}{2}$	46.3	92.6
1	80.7	80.7

$d. = 0.19 \text{ mm}$ $D. = 303 \text{ Th.}$
 $W. = 179.10^7 \text{ S. E.}$ $t. = 24^\circ$

E	i	$\frac{i}{E}$
1	68.6	68.6
2	116.5	58.3
4	188.5	47.2
8	288.7	34.8

nach $1^h 15^m$

1	45.6	45.6
2	72.6	36.3
4	105.2	26.3
8	154	19.2

$d. = 1.135 \text{ mm}$ $D. = 303 \text{ Th.}$
 $W. = 179.10^7 \text{ S. E.}$ $t. = 24^\circ$

E	i	$\frac{i}{E}$
1	14	14
2	25.1	12.6
4	39.2	6.8
8	59.4	7.4

nach 30^m

8	50.3	6.3
---	------	-----

$d. = 7.49 \text{ mm}$ $D. = 303 \text{ Th.}$
 $W. = 179.10^7 \text{ S. E.}$ $t. = 24^\circ$

E	i	$\frac{i}{E}$
1	76.6	74.6
2	148.5	74.6
4	282	70.5

nach 30^m

4	123.6	30.9
---	-------	------

Abnahme der Stromstärke mit der
 Durchströmungsdauer.

$d. = 7.49 \text{ mm}$ $D. = 303 \text{ Th.}$
 $W. = 179.10^7 \text{ S. E.}$ $t. = 24^\circ$
 $E = 8 \text{ D.}$

Vor Beginn des Versuches war die
 Probe schon 30^m von einem Strome
 von 4 Daniell durchflossen.

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

d.	Sp. W.	T.
0.19 mm	$875.10^{14} \text{ S. E.}$	3^m
0.19	1706.10^{14}	$1^h 15^m$
1.135	1055.10^{14}	3^m
1.135	1244.10^{14}	30^m
7.49	$26.3.10^{14}$	3^m
7.49	1167.10^{14}	13^h

T.	i	$\frac{i}{E}$
2^m	253	31.6
30	207.6	25.9
$1^h 55$	178.3	22.4
$13^h 55$	15.4	1.9

Sp. W. t.

1. Probe	$250.10^{14} \text{ S. E.}$	24°
2. Probe	$84.6.10^{14}$	20°
3. Probe	1055.10^{14}	24°

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 Durchströmung von Isolatoren auftretenden Erscheinungen auch für diese viel besseren Leiter nachzuweisen.

Die getroffene Versuchsanordnung gestattete leider keine Variation der Potentialdifferenz der Condensatorplatten. Ich musste mich daher auf eine Untersuchung bei verschiedenen Elektrodendistanzen, — die allerdings auch einen Schluss auf das Verhalten bei verschiedenen Spannungen gestattet, — und bei verschiedener Durchströmungsdauer beschränken. 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 Alcohol, Äther, da die hier schon stärker auftretenden diëlektrischen Erscheinungen, als Condensatorladung und Rückstandsbildung, elektrometrisch von galvanischer Polarisation nicht zu unterscheiden sind, aber sicher betrug letztere nicht mehr als 0.025 Daniell und wäre nicht im Stande alle auftretenden Erscheinungen zu erklären.

11. Destillirtes Wasser.

1. Probe.

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

d.	Sp. W.	T.
1.135 mm	109.10 ⁷ S. E.	1 ^m
1.135	109.10 ⁷	5
3.015	80.10 ⁷	1
3.015	83.10 ⁷	5
7.49	58.10 ⁷	1
7.49	59.10 ⁷	5
7.49	59.10 ⁷	30

2. Probe.

$E=1D.$ $t=24^{\circ}$ $T=2m$

d.	Sp. W.
1.135 mm	136.10 ⁷ S. E.
3.015	74.10 ⁷
7.49	51.10 ⁷

12. Alkohol (sog. absoluter).

1. Probe.			2. Probe.			
t. = 24° E = 1 D. T. = 4 ^m			E = 1 D. t. = 24°			
d.	Sp. W.		d.	Sp. W.		T.
1·135 mm	251·10 ⁸ S. E.		1·135 mm	162·10 ⁸ S. E.		1 ^m
3·015	123·10 ⁸		1·135	302·10 ⁸		30
7·49	101·10 ⁸		3·015	135·10 ⁸		1
			7·49	84·10 ⁸		1
			7·49	76·10 ⁸ (?)		20

13. Äther.

1. Probe.			2. Probe.		
E = 1 D. t. = 20° T. = 1 ^m			(Über Chlorcalcium getrocknet.)		
d.	Sp. W.		E = 1 Dan. t. = 20° T. = 1 ^m		
1·15 mm	160·10 ⁸ S. E.		d. = 1·135 mm	Sp. W. = 342·10 ⁸ S. E.	
3·015	118·10 ⁸				
7 49	111·10 ⁸				

Das übereinstimmende Resultat einer grossen Reihe von Versuchen war, dass der scheinbare spezifische 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 dielektrischen 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 ergibt 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 10^{20} 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 Leydnerflasche 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 Diëlektriciis 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 Elektrizitätsaufnahme 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.

$$d. = 1 \cdot 2 \text{ mm} \quad E = 8 \text{ D.} \quad t. = 23^\circ$$

T.	Sp. W.
5 ^m	15.10 ¹⁷
1 ^h 30 ^m	73.10 ¹⁷
6 ^h	107.10 ¹⁷ S. E.
13 ^h	nicht 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 Potenciales in der Zweigleitung wie Figur 5 zeigt, darstellt.

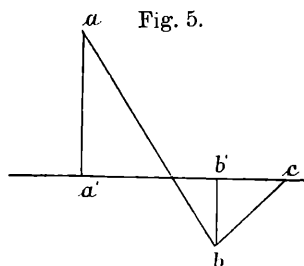


Fig. 5.

aa' = Totales Potentialgefälle in der Zweigleitung,

$aa' + bb'$ = Potentialgefälle im Glase,

$-bb'$ = Potentialgefälle im Vergleichswiderstande.

Eine verwandte Erscheinung beobachtet man bei der Abnahme der diesem Glase mitgetheilten disponiblen Ladung. Wurde eine der Belegungen mit negativer Elektrizität geladen, hierauf die Verbindung mit der Batterie unterbrochen und mit dem Elektrometer hergestellt, so konnte leicht die Abnahme der

Dasselbe Verhalten zeigt auch die Abnahme wieder zu Tage getretener Rückstände.

Würden 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 gleich-bezeichnete Potentialdifferenz beider Condensatorplatten gegen das Potential der Erde darstellt.

Eine ganz ähnliche Erscheinung beschrieb Hopkinson.¹

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 spezifische 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.

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.¹

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 spezifische 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.

² Öttingen, Wied. Ann. II, pag. 305, 1877.

1. Probe.d. = 0.5 mm t. = 23° T. = 2^h 1 D. = 310 Th.

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	5.4	5.4
2	10.6	5.3
4	21.4	5.35

Sp. W. = 135.10¹⁶ S. E.Sp. W. = 142.10¹⁶ S. E. T. = 24^h**2. Probe.**d. = 0.86 mm t. = 23° T. = 2^h 1 D. = 326 Th.

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	52	52
2	103	51.5
4	200	50
8	384	48

Sp. W. = 75.10¹⁶ 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 allmählig 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.

$$d. = 0.04mm \quad W. = 473.10^8 \quad S. E. \quad T. = 2^m$$

$$D. = 378 \text{ Th.} \quad t. = 23^\circ$$

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	9	9
2	19	9.5
4	45	11.25
8	117	14.6

$$T. = 40^m$$

8	88	11
---	----	----

<i>E</i>	T.	Sp. W.
1	2 ^m	166.10 ¹⁸ S. E.
8	2	101.10 ¹⁸
8	40	135.10 ¹⁸

2. Probe.

$$d. = 0.04mm \quad W. = 147.10^8 \quad S. E. \quad T. = 2^m$$

$$D. = 360 \text{ Th.} \quad t. = 23^\circ$$

<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	27	27
2	55	27.5
4	112	28
8	246	30.8

$$T. = 60^m$$

8	146	18.2
---	-----	------

$$\text{Sp. W.} = 120.10^{17} \text{ S. E.} \quad T. = 1^h$$

Wie regelmässig anderseits die Erscheinungen seinkonnten, zeigt folgende Tabelle:

3. Probe.

$$d. = 0.07mm \quad W. = 473.10^8 \quad S. E. \quad T. = 2^m$$

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

T		$\frac{i}{E}$
2 ^m	120	15
30 ^m	100	12·5
60 ^m	61	7·5
90 ^m	60	7·5
	Sp. W.	T.
1. Probe.	519·10 ¹⁷ S. E.	2 ^m
2. Probe.	104·10 ¹⁸ S. E.	1 ^h 30 ^m

Auch die dickere Guttaperchaplattē 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.

d. = 2·6 mm	D. = 378 Th.	
W. = 276·10 ⁵ S. E.	t. = 24°	T. = 2 ^m
<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	6·6	6·6
2	13·4	6·7
4	33·6	8·4
8	75·9	9·4
T.		$\frac{i}{E}$
1 ^h	115	14·8
5 ^h	85	10·6
Sp. W. = 508·10 ¹² S. E.	E = 1 D.	T. = 2 ^m

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. = 0.14 mm	D. = 315 Th.	
W. = 282.10 S. E.	T. = 2 ^m	t. = 23°
<i>E</i>		$\frac{i}{E}$
1	18	18
2	38	19
4	86	21.5
8	191	23.9
T.		$\frac{i}{E}$
3 ^h 30 ^m	155	19.8
24 ^h	96	12
Sp. W. = 110.10 ¹¹ S. E. <i>E</i> = 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.

T. = 1 ^h	D. = 315 Th.	<i>E</i> = 1 D.
Zeit, welche 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 Paraffinpapiercondensators bei constanter Durchströmung doch nur auf Rückstandsbildung beruhe. Paraffinpapier bietet ja diesem Prozesse 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 Elektrizitätsmenge 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 0·4 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 spezifische 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 spezifischer 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 spezifischen 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	$2000 \cdot 10^{15}$ S.E.
Terpentinöl	$50 \cdot 10^{15}$
Ricinusöl...	$2 \cdot 10^{15}$
Leinöl	$6 \cdot 10^{15}$
Mandelöl ...	$30 \cdot 10^{15}$
Olivensöl	$100 \cdot 10^{15}$
Schwefelkohlenstoff	$3 \cdot 10^{15}$
Vaselinöl $2000 \cdot 10^{15}$
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..	$200 \cdot 10^8$
Glas { schwerschmelzbar	$100 \cdot 10^{18}$
{ leichtschmelzbar	$10 \cdot 10^{18}$
Guttapercha	$100 \cdot 10^{18}$
Ebonit	über 10^{22}
Hartgummi	
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 bestehen kann, 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: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: [98_2a](#)

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

Artikel/Article: [Über den Durchgang von Elektrizität durch sehr schlechte Leiter 201-266](#)