

ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE FOLGE. BAND 46.

**1. *Die Rolle von Gasen
bei dem lichtelektrischen Verhalten des Zinks;
von Hans Küstner.***

(Gekürzte Leipziger Dissertation.)

Bereits zu Anfang dieses Jahres veröffentlichte Fredenhagen¹⁾ eine Arbeit, in der er auf Grund der vorliegenden Versuche die Möglichkeit eines ursächlichen Zusammenhanges zwischen dem Zustandekommen eines lichtelektrischen Stromes und dem Vorhandensein reaktionsfähiger Gase betonte, und als Konsequenz hiervon forderte, daß bei Ausschluß reaktionsfähiger Gase kein lichtelektrischer Strom entstehen könne. Im Anschluß hieran veröffentlichte ich²⁾ eine Arbeit, die auf Anregung von Hrn. Fredenhagen in Angriff genommen worden war und die experimentelle Bestätigung des von Hrn. Fredenhagen geforderten Ausbleibens des lichtelektrischen Effektes bei Ausschluß reaktionsfähiger Gase am Zink erbrachte.³⁾

Die Problemstellung.

Nach der Theorie des Hrn. Fredenhagen ist ein lichtelektrischer Strom mit Ablauf von Reaktionen verbunden, die sich während der Belichtung zwischen dem belichteten Metall und dem dieses umgebenden Gase vollziehen. Nach dieser Theorie müssen folgende Fälle unterschieden werden:

1. In einem Vakuum, das völlig frei von reagierenden Gasen ist, kann zwischen einer Metalloberfläche, die durch

1) K. Fredenhagen, Physik. Zeitschr. 15. p. 65. 1914.

2) H. Küstner, Physik. Zeitschr. 15. p. 68. 1914.

3) Ein geschichtlicher Abriß der Lichtelektrizität findet sich in der Dissertation (Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1914).

Schaben in diesem Vakuum von Verunreinigungen jeder Art befreit worden ist, und ihrer Umgebung kein chemischer Umsatz stattfindet, es kann daher kein lichtelektrischer Strom entstehen.

In graphischer Darstellung, bei der die Zeit als Abszisse, der Strom als Ordinate aufgetragen wird, fällt hier das Diagramm des lichtelektrischen Stromes mit der Zeitachse zusammen (Kurve 1 der Fig. 1).

2. Es möge eine Metalloberfläche in einem von reaktions-

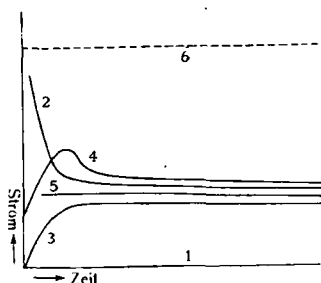


Fig. 1.

zwischen diesen und der Metalloberfläche eine Reaktion und daher eine entsprechend kräftige Abgabe von Elektronen erfolgen, es wird also ein lichtelektrischer Strom entstehen. Durch diesen chemischen Umsatz bildet sich aber eine mit der Zeit an Stärke zunehmende Schicht aus, die das Metall mit zunehmender Dicke mehr und mehr vor dem chemischen Angriff und der Einwirkung des Lichtes schützt. Gleichzeitig findet eine Verminderung der Elektronenemission statt. Je dicker diese Schicht wird, desto längere Zeit wird das reaktionsfähige Gas brauchen, um durch sie hindurchzudiffundieren. Hierdurch, sowie durch die Absorption der Elektronen in der entstehenden Schicht, wird der Abfall des Effekts noch mehr verlangsamt werden. (Ermüdung.)

In graphischer Darstellung entspricht das einer Kurve, die zuerst schnell, später langsamer gegen die Zeitachse konvergiert. (Kurve 2 der Fig. 1.)

3. Befinden sich in unmittelbarer Nähe einer durch Schaben im Vakuum von Verunreinigungen jeder Art befreiten Metalloberfläche keine reaktionsfähigen Gase, wohl aber in einiger Entfernung von derselben, z. B. adsorbiert an anderen Metall-

teilen, so wird eine Diffusion der Gase nach dem Metall hin stattfinden. Entsprechend der an der Metalloberfläche herrschenden Konzentration reaktionsfähiger Gase wird die Stärke der Reaktion und mit ihr die Stärke des lichtelektrischen Stromes sein. Diese Diffusion der reaktionsfähigen Gase wird so lange dauern, bis ein Zustand des Gleichgewichts herrscht. Mit fortschreitender Reaktion wird aber wiederum eine Schichtbildung auftreten, die dem Zustandekommen einer Reaktion entgegenwirkt. Schließlich wird daher der lichtelektrische Strom — wie im zweiten Falle — ganz langsam abnehmen. (Erholung und anschließende langsame Ermüdung.)

In graphischer Darstellung entspricht das einer Kurve, die zuerst von Null ansteigt, dann ein Maximum erreicht und gegen die Zeitachse konvergiert. (Kurve 3 der Fig. 1.)

4. Befindet sich eine durch Schaben von Verunreinigungen befreite Metalloberfläche in einem Vakuum, das bei Belichtungsbeginn in der Nähe der Metalloberfläche bereits reaktionsfähige Gase von geringer Konzentration besitzt, während sich in einiger Entfernung solche von stärkerer Konzentration befinden, so wird bei Belichtungsbeginn bereits eine Umsetzung an der Metalloberfläche und mit ihr ein lichtelektrischer Strom auftreten. Je nach der Stärke der Anfangskonzentration an der Metalloberfläche, und je nach der Geschwindigkeit, mit der sich die Diffusion der reaktionsfähigen Gase und die Ausbildung der Schicht vollzieht, ist es nun möglich, daß zunächst ein Ansteigen des Stromes erfolgt, dem sich ein Abfallen desselben anschließt, oder auch, daß die beiden einander entgegengerichteten Vorgänge einander gerade soweit aufheben, daß weder ein Ansteigen noch ein Sinken des Stromes auftritt, sondern dieser konstant bleibt, bis die Schichtbildung ein allmähliches Sinken bewirkt.

In graphischer Darstellung entspricht die erste Annahme einer Kurve, die, von einem endlichen Werte ansteigend, ein Maximum erreicht, dann steil abfällt und schließlich allmählich gegen die Zeitachse konvergiert, die letzte Annahme einer Kurve, die zunächst parallel zur Zeitachse verläuft und in ihrem weiteren Verlaufe gegen diese konvergiert. (Kurve 4 und 5 der Fig. 1.)

In scharfem Gegensatz hierzu steht jede Theorie, die einen ursächlichen Zusammenhang mit chemischen Umsetzungen

leugnet und dem reinen Metall die Eigenschaft zuschreibt, unter dem Einflusse des Lichtes Elektronen auszusenden. Deshalb muß ein Metall, dessen Umgebung dauernd frei von reaktionsfähigen Gasen ist, einen konstanten lichtelektrischen Strom von maximaler Größe aussenden. In graphischer Darstellung entspricht das einer Parallelen zur Zeitachse. (Kurve 6 der Fig. 1.) Sind dagegen reaktionsfähige Gase anwesend, so tritt durch chemische Umsätze an der Oberfläche Schichtbildung auf, die die reine Oberfläche zerstört und, auf das Licht abhaltend, auf die Elektronen hemmend wirkend, Ermüdung hervorruft.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, nach möglichst vollkommener Entfernung aller reaktionsfähigen Gase aus der Versuchsanordnung zu untersuchen, ob der lichtelektrische Strom einen minimalen, dem bleibenden Eigeneffekt des Metalls entsprechenden Wert oder einen konstanten maximalen Wert annehmen würde, und so auf experimenteller Grundlage eine Entscheidung zugunsten der einen oder der anderen Theorie herbeizuführen.

Die Untersuchungen wurden an Zink ausgeführt. Die aufgezählten Kurventypen wurden in ausgeprägter Weise erhalten.

Die Versuchsanordnung und Meßmethode.

1. Die lichtelektrischen Zellen.

Die bei den verschiedenen Versuchen angewandten Zellen waren verschieden, doch stimmten sie alle in folgendem überein:

Ein etwa 4 cm weites Glasrohr *G* (Fig. 2) trägt an seinem oberen Ende einen Schliff, auf den eine Quarzplatte *Q* von etwa 1,7 mm Dicke aufgesiegelt ist. Dieses Rohrende wird umschlossen durch ein Glasrohr *V*, das an seinem oberen Ende gleichfalls durch eine aufgesiegelte Quarzplatte *U* abgeschlossen ist; das Glasrohr *V* kann evakuiert werden, und durch dieses Vorvakuum wird die Anordnung vor Eindringen von Luft geschützt, falls die Dichtung der Quarzplatte *Q* den Druck einer Atmosphäre nicht abzuhalten imstande ist. Unterhalb des Rohres *V* trägt das Glasrohr *G* zwei weitere Ansatzrohre; das obere führt zum Destillationsrohre *D* und stellt so die Ver-

bindung mit der übrigen Anordnung her; das untere trägt den Platinring *R*, der als Anode dient. Dieses Ansatzrohr ist so lang ausgebildet, damit das Überkriechen von Ladungen nach Möglichkeit verhindert wird. Ein drittes Ansatzrohr *L* dient zur Aufnahme der Schabvorrichtung. Es wurden verschiedene

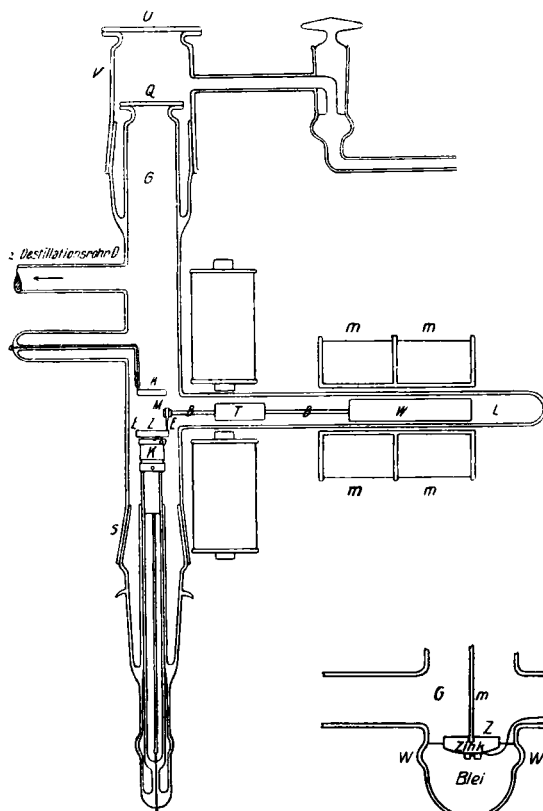


Fig. 2.

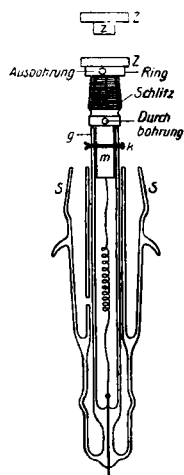


Fig. 3.

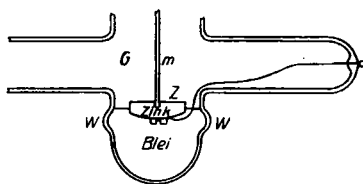


Fig. 4.

Schabvorrichtungen benutzt, die weiter unten beschrieben werden sollen. Einige Zentimeter unter dem Platinring befand sich die Zinkplatte *Z*. Die Abbildung stellt die ganze Anordnung der Übersicht halber in einer Ebene dar, was in Wirklichkeit nicht der Fall war.

Die Art, auf die die Zinkplatte *Z* befestigt war, war bei

den benutzten Röhren verschieden. Bei fast allen wurde folgende Methode angewandt:

Das untere Ende des Rohres *G* mündet in den Schliff *S*. Sein Gegenschliff trägt in einem ihm koaxialen Glasrohre *g* (Fig. 3) die Messingklammer *K*. Diese dient zum Halten der lichtelektrisch zu untersuchenden Zinkplatte *Z* und ist so beschaffen:

Ein an seinem unteren Ende geschlossener Messingzylinder *K* von etwa 2,3 cm Länge und 1,6 cm Durchmesser verjüngt sich nach oben zu nach Art eines Konus. In seinen konischen Teil ist von außen ein Schraubengewinde eingeschnitten; außerdem ist der konische Teil durch sechs der Zylinderachse parallel verlaufende, kreuzweise angeordnete Schlitzte aufgespalten. Ein Ring trägt in seinem Innern ein Schraubengewinde, so daß er sich mühelos über das obere Ende des Zylinders schrauben läßt. Wird er aber tiefer über den Zylinder geschraubt, so quetscht er diesen wegen seiner konischen Gestalt zusammen, wobei sich das obere Zylinderteile dank der sechs Schlitzte etwas zusammenschließt. Wird nun, solange sich der Ring noch am äußersten Ende des Zylinders befindet, die zu untersuchende Zinkplatte *Z* mit ihrem an ihrer Unterseite stehengebliebenen Zapfen *z* in das obere Ende des Zylinders hineingeschoben, und dann der Ring nach unten geschraubt, so umklammern die sich schließenden Zylinderteile den Metallzapfen so fest, daß eine Bewegung der Zinkplatte ausgeschlossen ist und diese selbst nach monatelangem Gebrauch des Schabers noch ganz fest saß.

Der Ring besitzt an zwei gegenüberliegenden Seiten je eine Ausbohrung und kann so mit einem Stiftschlüssel über den Zylinder geschraubt werden. Dieser ist senkrecht zu seiner Achse unmittelbar über seinem unteren Ende durchbohrt; an einem starken Metallstifte, der durch das Loch gesteckt werden kann, wird er beim Überschrauben des Ringes festgehalten.

Am Boden des Messingzylinders ist ein etwa 3 cm langer, ihm koaxialer Messingzapfen *m* von 1 cm Durchmesser stehen geblieben. Er sitzt im Rohre *g*, wodurch die Klammer gehalten wird. Um Drehungen der Zinkplatte beim Schaben zu vermeiden, ist durch eine Bohrung des Messingzapfens und des Glasrohres *g* ein kupferner Nagel *k* gesteckt, dessen spitzes Ende aufgeschlitzt und umgebogen ist. Ein Kupferdraht ist

an das untere Ende des Messingzapfens gelötet; er dient als Zuführung und ist mit einer Platinelektrode verschweißt.

Die andere Methode zum Halten der Zinkplatte kam ausschließlich bei den letzten Versuchen zur Anwendung. Dieselbe war bereits von Hrn. Fredenhagen mit Erfolg angewendet worden.

Hier mündet das Rohr *G* unten nicht in einen Schliff, sondern es ist zugeschmolzen. Sein unteres Ende wird mit Blei gefüllt und dieses im elektrischen Ofen geschmolzen. Sobald es flüssig geworden ist, wird die Zinkplatte *Z*, die als Zuführung eine von unten an sie angeschraubte Kupferdrahtlitze trägt, durch einen von oben in sie eingeschraubten Messingdraht *m* mit ihrem unteren Ende in das flüssige Blei getaucht. Sobald dieses durch Abkühlung erstarrt ist und das Zink festhält, läßt sich der Messingdraht *m* leicht entfernen. Die beiden gegenüberliegenden Warzen *W* dienen dazu, eine Drehung des Zinks durch das Schaben zu verhindern. Das freie Ende der Kupferdrahtlitze ist an eine Platinelektrode geschweißt. (Fig. 4.)

2. Die Vakuumschabvorrichtungen.

Es wurden zwei verschiedene Schabvorrichtungen benutzt. Im Prinzip waren beide gleich; doch wies die zweite wesentliche Verbesserungen gegen die erste auf. Die Schabvorrichtung, mit der die ersten der in dieser Arbeit mitgeteilten Versuche ausgeführt wurden, war folgendermaßen beschaffen:

Ein Stahlmesserchen *M* (Fig. 2), dessen geradlinige Schneide auf der Zinkplatte *Z* ruht, hat einen horizontalen Stiel *B* aus Messing. Dieser trägt zwei Eisenkerne: einen etwa 3 cm langen, *T*, dicht am Messerchen, und einen Hohlisenkern *W* von etwa 8 cm Länge in 12 cm Entfernung davon. Um das Glasrohr *L*, das das ganze System aufnimmt, sind von außen zwei Magnetspulen *m* geschoben, die ihn umschließen, und wechselweise mit Strom beschickt werden können. Dadurch wird ein Hin- und Hergleiten des Messerchens auf dem Zink bewirkt. Vor dem Herunterrutschen von der Zinkplatte wird das Messerchen durch zwei Eisenstifte *E* geschützt, die in das Zink eingeschraubt sind. Unter und über dem dem Messerchen benachbarten Eisenkern *T* steht außerhalb des Glasrohres je ein Elektromagnet mit Eisenkern. Der untere dient dazu, den Schaber kräftiger auf das Zink zu ziehen und dadurch die Schabwirkung

zu verstärken; mit Hilfe des oberen kann der ganze Schaber vom Zink weggehoben werden. Dies war deshalb erforderlich, weil sonst die durch Reibung zwischen Glasrohr *L* und äußerem Eisenkern *W* erzeugte Reibungselektrizität ihren Weg durch den Schaber, das Zink und die Meßeinrichtung zur Erde nahm und sich so störend geltend machte.

Nachdem durch das Anschlagen des Eisenkerns an die Glaswand beim Heben des Schabers das erste Rohr zerstört worden war, wurde ein neuer Schaber konstruiert, der zur

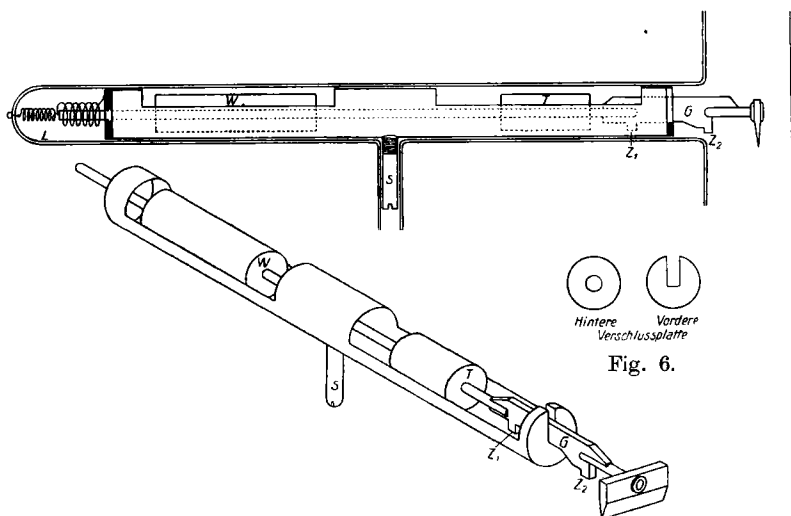


Fig. 5.

Hebung keines Elektromagneten bedarf, sondern dies selbsttätig besorgt. Dadurch werden Stöße gegen die Glaswand vermieden. Auch gleitet er auf einem Messingrohr, das geerdet werden kann. Dieses ist auf der nach oben gekehrten Längsseite teilweise offen, vgl. Fig. 5, und an beiden Enden durch aufgelötete Messingplatten geschlossen. Die hintere dieser Verschlussplatten hat ein rundes Loch in ihrem Mittelpunkt; die vordere einen Schlitz von etwa 3 mm Breite (Fig. 6). Der Stiel des Schabers trägt die beiden Eisenkerne, die schon bei dem ersten Schaber geschildert sind. Sein hinteres Ende gleitet leicht beweglich im Loch der hinteren Verschlussplatte. Das vordere Ende des Schaberstiels ist zu einer Gleitschiene *G* umgestaltet, deren Form aus Fig. 5 ersichtlich ist. Diese

Gleitschiene gleitet im Schlitz der vorderen Verschlußplatte. Durch ihre Form wird das selbsttätige Heben und Senken des vor der Gleitschiene angebrachten Messerchens besorgt. Die beiden Zapfen Z_1 und Z_2 derselben stoßen an die vordere Verschlußplatte an und begrenzen die Bewegung des Messerchens, wodurch ein Herabrutschen vom Zink verhindert wird. Die bei dem anderen Schaber zu dem Zwecke ins Zink geschraubten Eisenstiftchen E (vgl. Fig. 2) werden hier überflüssig.

Das Messingrohr ist so bemessen, daß es genau in das zur Aufnahme der Schabvorrichtung bestimmte Ansatzrohr L hinein paßt. Dieses besitzt, um ein Gleiten des Messingrohres zu vermeiden, ein T-Stück aus Glas; durch dieses wird die konische Schraube s in das Messingrohr geschraubt, die es festhält. Das T-Rohr wird alsdann durch einen gesiegelten Schliff geschlossen.

Eine Kupferdrahtlitze verbindet das Messingrohr und den Schaber, ohne ihn an seiner Bewegung zu hindern, mit einer Platinelektrode, die geerdet werden kann.

Der den Schaber auf das Zink drückende Elektromagnet wurde auch hier beibehalten.

Der bewegliche Teil des Schabers durfte nicht mehr als 150 g wiegen, da sonst durch die Wucht seiner Stöße das T-Rohr leicht abbrach.

Die Wirkung des Schabers war so kräftig, daß sich in den seitlichen Ansatzrohren der Zelle ganze Zinkhäufchen vorfanden, die dorthin geschleudert worden waren. Nach Beendigung der Versuche zeigte das Zink an den Stellen, an denen es geschabt worden war, eine deutlich sichtbare Vertiefung.

3. Der Schaberunterbrecher.

Zuerst wurde der Schaber durch eine Wippe mit Handbetrieb betätigt, die die beiden Elektromagneten m (vgl. Fig. 2) wechselweise mit Strom beschickte. Hierbei konnte jede einzelne Schabung gezählt werden. Bei Besprechung der Versuche wird unter einer Schabung das einmalige Gleiten des Schabers über das Zink verstanden werden.

Später wurden die beiden Spulen durch einen Motorunterbrecher wechselweise betrieben. Hier kann im folgenden nur die Zeit, während der geschabt wurde, angegeben werden. In

einer Minute wurden etwa 700 Schabungen ausgeführt. Die Konstruktion des Motorunterbrechers ist aus Fig. 7 ersichtlich.¹⁾

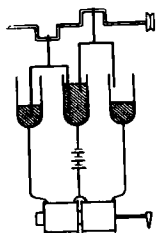


Fig. 7.

4. Der automatische Umschalter.

Wie schon oben betont wurde, war es von Wichtigkeit, daß der Schaber während der Messungen nicht auf dem Zink liegen blieb. Da es aber bei Benutzung des Motorunterbrechers vom Zufall abhängt, ob zuletzt vor Abstellen des die Schabermagneten erzeugenden Stromes der Magnet Strom erhalten hat, der den Schaber vom Zink wegzieht, oder der, der ihn darufschiebt, so mußte ein automatischer Ausschalter ersonnen werden, der die Entfernung des Schabers vom Zink vor Beginn der Messung gewährleistet. Zudem war es erforderlich, daß der Strom des den Schaber auf das Zink drückenden Zugmagneten vor Beginn der Messung abgeschaltet wurde, um eine Ablenkung der Elektronen zu vermeiden. Gleichzeitig sollte dieser Umschalter das Ein- und Ausschalten des Motors für den Unterbrecher, und außerdem die Registrierung der Zeit, zu der die letzte Schabung erfolgt, durch Betätigung eines Telegraphenapparates besorgen.

Am einfachsten ließen sich diese Anforderungen durch ein System zweier hintereinander geschalteter Wippen erfüllen.²⁾

5. Das Destillationsrohr.¹⁾

Das Destillationsrohr *D* (Fig. 8) dient zur Absorption der reaktionsfähigen Gase durch erhitztes Kalium unter dem Einfluß von Glimmentladungen. Es ist an das soeben beschriebene Versuchsrohr *G* angeschmolzen. Es besitzt die abgebildete Form. Nachdem das Kalium nach einer von Hrn. Fredenhagen bereits früher ausführlich geschilderten Methode behandelt worden war³⁾, wurde es in das Vorratsrohr *A* gebracht. War dieses oben zugeschmolzen, so konnte das Kalium durch einen elektrischen Ofen in das Destillationsrohr *D* hin-

1) Erläuterungen siehe in der Dissertation.

2) Ihre Beschreibung ist in der Dissertation gegeben.

3) K. Fredenhagen, Physik. Zeitschr. 12. p. 398. 1911.

überdestilliert werden. An einer zwischen Vorratsrohr *A* und Pumpe vorgesehenen Abschmelzstelle konnte die Anordnung von der Pumpe getrennt werden.

6. Die Meßanordnung.

Zur Messung diente ein Quadrantenelektrometer mit Quarzfaden, dessen Nadel auf ein Potential von 200 Volt aufgeladen wurde. Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug alsdann

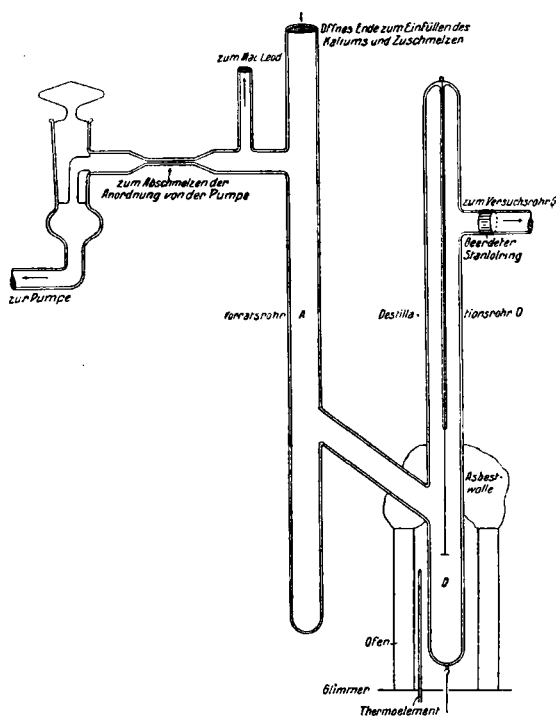


Fig. 8.

$2,01 \times 10^{-3}$ Volt pro Skalenteil. Alle Elektrometerleitungen bestanden aus Kupferdraht, der völlig in Paraffin eingebettet in geerdeten Messingröhren lag. Um Ströme messen zu können, wurden selbstverfertigte Widerstände verwendet. Diese waren mit Paraffin isoliert und zum Schutz gegen Temperaturschwankungen in einen doppelwandigen Blechkasten eingebaut. Dieser enthielt zur Absorption aller Feuchtigkeit, die eine Änderung

der Widerstände bedingte, zwei große Bechergläser, die mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllt waren.

Wie ausgezeichnet die Konstanz dieser Widerstände war, zeigt folgende Tabelle, die die Empfindlichkeit des Elektrometers bei ihrer Benutzung darstellt.

Die Widerstände waren unabhängig von der Belastung und zeigten niemals eine E.M.K.

Die fast stets gebrauchte Empfindlichkeit, auf die auch alle anderen reduziert sind, betrug $3,64 \times 10^{-11}$ Ampère.

Empfindlichkeit des Elektrometers in Ampères bei Gebrauch der Widerstände					
Datum	W_1 $\times 10^{-9}$	W_2 $\times 10^{-10}$	W_3 $\times 10^{-11}$	W^4 $\times 10^{-12}$	W^4 $\times 10^{-13}$
6. VIII. 1913	1,20	1,54	3,64	8,77	5,36
18. VIII. 1913	1,21	1,56	3,62	8,98	5,41
20. XII. 1913	1,18	1,52	3,63	9,44	5,29

Die Schaltung ist aus der Fig. 9 ersichtlich. Das eine Quadrantenpaar war ständig geerdet, ebenso der negative Pol der Hochspannungsbatterie *B*. Diese bestand aus 100 kleinen Akkumulatoren. Ihr positiver Pol lag am Platinring *R*. Das andere Quadrantenpaar lag am Zink *Z*; beide Quadrantenpaare lagen an dem jeweils benutzten Widerstande *W* und konnten kurz geschlossen werden.

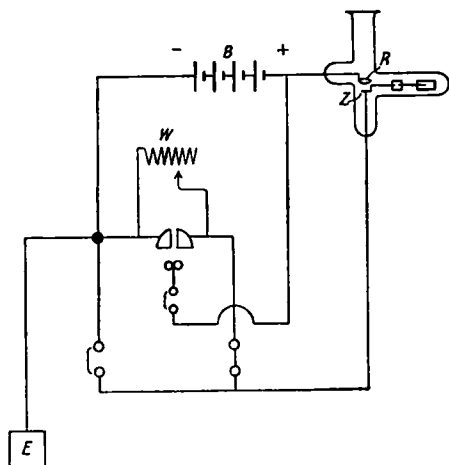


Fig. 9.

Das MacLeod blieb auch nach dem Abschmelzen der Anordnung von der Gaede-Quecksilberpumpe mit der Anordnung verbunden. Vor der Pumpe und dem MacLeod saßen Kühlschlangen, die ständig in flüssige Luft tauchten, wodurch Quecksilberdämpfe ferngehalten wurden.

Als Quelle der ultravioletten Strahlen diente eine Quarz-

Quecksilberlampe von Heraeus. Der Abstand der Lichtquelle vom Zink betrug etwa 75 cm. Die Lampe wurde mit einer Spannung von 220 Volt betrieben, die fast in allen Fällen einer Akkumulatorenbatterie, nur ausnahmsweise dem städtischen Netz entnommen wurde, da sich hierbei Schwankungen des lichtelektrischen Stromes geltend machten. Die Quecksilberlampe brannte dauernd.

Zum Öffnen und Schließen der Belichtung diente ein Blechvisier über dem Quarzfenster, das elektrisch vom Beobachtungsplatze aus bedient werden konnte.

7. Die Meßmethode.

In den Gebieten der schnellen Änderungen des lichtelektrischen Stromes mit der Zeit war es erforderlich, daß eine sehr genaue Registrierung der Zeit erfolgte, zu der der Strom gemessen wurde. Es wurde deshalb jede Ablesung am Elektrometer mit Hilfe eines Telegraphenapparates registriert. Registrierungsfehler eingerechnet, mögen die Angaben etwa auf eine Sekunde genau sein. Da die Schwingungsdauer 12,4 Sekunden betrug, der Strom aber oft schon nach Verlauf von anderthalb Minuten einen konstanten Wert angenommen hatte, so konnten im Gebiete stärkster Stromänderungen nur die Umkehrpunkte abgelesen werden. Die wahre Strom-Zeitkurve mußte dann zwischen ihnen verlaufen. Im Gebiete geringer Stromänderungen wurde die Zeit an einer Sekundenuhr abgelesen. Die durchschnittliche Genauigkeit betrug etwa ± 5 Sek.

Als Nullpunkt der Zeit bei den aufgenommenen Kurven dient die Zeit der letzten Schabung. Alle Kurven besitzen gleichen Maßstab. Auf der Abszisse ist die Zeit in Minuten, auf der Ordinate der lichtelektrische Strom in Skalenteilen dargestellt.

Nicht alle der tabellarisch mitgeteilten Reihen werden auch in graphischer Darstellung folgen: diejenigen Reihen, die graphisch nicht dargestellt sind, sind in den Tabellen durch einen Stern gekennzeichnet.

In den Tabellen bedeutet:

H Heben des Schabers;

Ö Öffnen der Elektrometerquadranten;

B Belichtungsbeginn.

Die Messungen.

Die ersten Versuche gelangten mit dem zuerst beschriebenen Schaber zur Ausführung.¹⁾

Nach Zerstörung des ersten Versuchsrohres wurde ein zweites mit der verbesserten Schabvorrichtung mit selbsttätigem Hub benutzt. Gleichzeitig wurde ein MacLeod und die rotierende Gaedesche Quecksilberpumpe angeschlossen. Die Kühlschlangen wurden mit flüssiger Luft gekühlt. Unter diesen Bedingungen wurden alle weiteren Versuche ausgeführt.

Ohne Beschickung mit Kalium wurde das Vorratsrohr A zugeschmolzen und evakuiert. Die Pumpe wurde dauernd in Betrieb gehalten. Einer orientierenden Reihe nach 5000 Schabungen folgte eine Reihe nach 500 Schabungen. Die Schabungszahl und Drucke der weiteren, ausführlich mitgeteilten Reihen sind aus den Figuren und aus den Tabellen ersichtlich. Alle Kurven zeigen starke Ermüdung.

Weder aus diesen Kurven, bei denen der Druck um das Tausendfache schwankt, noch aus den hier nicht mitgeteilten ist irgendwelcher Zusammenhang zwischen Druck, Stromstärke und Ermüdung zu ersehen. Vielmehr scheint gerade der Schluß berechtigt, daß bei hohem Vakuum, wo Stoßionisation nicht mehr in Frage kommt, selbst Druckschwankungen um mehr als das Mehrtausendfache ohne jeden Einfluß sowohl auf lichtelektrischen Effekt als Ermüdungserscheinung sind. (vgl. Fig. 43.)

Da sich beim Zusammenblasen der Versuchsanordnung Wasserdampf niedergeschlagen hatte, so dürfte dieser als reagierendes Gas vor allem in Frage kommen.

Daß die Belichtung keinen Einfluß auf die Ermüdung hat, zeigen die Kurven 36, 38 und 43. (Fig. 44, 45 und 46), bei denen die Belichtung unterbrochen wurde. Bei allen verlaufen die Ströme genau so, als wenn das Zink ohne Unterbrechung den ultravioletten Strahlen ausgesetzt worden wäre.

1) Über ihre Ergebnisse (siehe auch unten p. 924—927) kann auf die Dissertation verwiesen werden.

Tabelle 36.

Reihe 34*
1000 Schabungen
Druck: $2,5-8 \cdot 10^{-6}$ mm
Tag: 16. IX. 1913

Zeit	Strom
1,2''	\bar{O}
2,4	B
8,4	283
14,4	114
20,0	187
26,4	126
31,2	135
40,4	99
45,6	89
49,6	79
1' 2,0	69
4' 45,0	62,2
9' 15,0	59,8
11' 45,0	58,0
13' 45,0	56,8
16' 45,0	54,2
23' 15,0	50,1

Tabelle 37.

Reihe 35
1000 Schabungen
Druck: $7,2 \cdot 10^{-4}$ mm
Tag: 17. IX. 1913

Zeit	Strom
1,6''	\bar{O}
2,8	B
8,4	348?
14,8	151
20,4	239
26,8	178
31,2	189
37,2	158
42,0	148
48,0	128
52,4	118
57,6	108
1' 5,0	98
18,0	88
34,0	83
2' 1,0	78
38,0	75,7
4' 8,0	72,1
5' 38,0	69,9
9' 8,0	65,2
12' 8,0	61,2
15' 8,0	57,4
21' 8,0	52,9
27' 8,0	49,8
31' 8,0	46,7

Tabelle 38.

Reihe 39
1000 Schabungen
Druck: $5,0 \cdot 10^{-7}$ mm
Tag: 17. IX. 1913

Zeit	Strom
1,2''	\bar{O}
2,4	B
8,0	231,0
13,6	92,0
18,8	151,8
25,2	103,4
29,2	110,1
36,8	82,5
43,2	72,5
48,8	62,5
1' 1,0	52,5
20,0	47,5
2' 54,0	46,5
7' 24,0	45,2
9' 54,0	43,9
11' 54,0	42,8
3 ^h 2' 24,0	17,8
3 34' 24,0	15,8

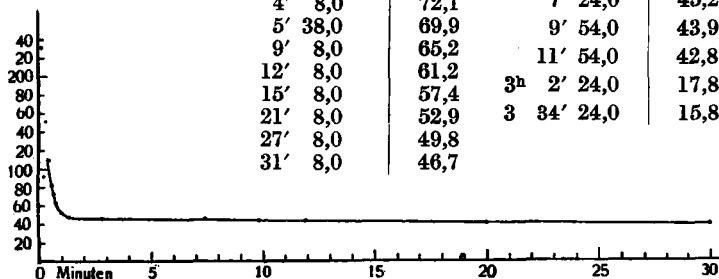


Fig. 38. Reihe 39.

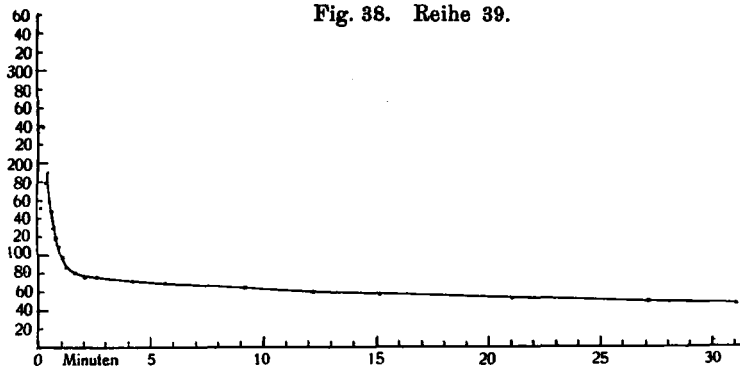


Fig. 37. Reihe 35.

Tabelle 39.

Reihe 40*
1000 Schabungen
Druck: $5 \cdot 10^{-7}$ mm
Tag: 17. IX. 1913

Zeit	Strom
1,6''	Ö
2,8	B
8,4	211
14,0	82
19,2	133
26,0	86,1
30,4	90,8
35,6	68,8
43,6	58,8
53,2	48,8
1' 6,0	43,8
3' 6,0	42,6
5' 36,0	42,5
10' 36,0	40,5
13' 36,0	38,8
17' 36,0	36,7
21' 36,0	34,8
24' 36,0	33,8
28' 36,0	32,4

Tabelle 40.

Reihe 41
3000 Schabungen
Druck: $7 \cdot 10^{-7}$ mm
Tag: 17. IX. 1913.

Zeit	Strom
1,2''	Ö
2,4	B
8,0	291,5
14,0	114,0
19,2	196,0
25,2	148,5
30,4	167,2
36,8	152,1
41,6	156,7
53,6	141,0
59,2	131,0
1' 6,0	121,0
12,0	111,0
19,0	101,0
22,0	91,0
34,0	81,0
45,0	71,0
2' 2,0	61,0
3' 10,0	52,0
7' 40,0	50,5
12' 40,0	48,2
16' 40,0	46,0
21' 40,0	43,0
28' 40,0	39,2

Tabelle 41.

Reihe 44*
1000 Schabungen
Druck: $200-1 \cdot 10^{-6}$ mm
Tag: 17. IX. 1913

Zeit	Strom
1,2''	Ö
2,4	B
7,6	271
13,2	109
18,4	183
24,0	136,3
28,8	151,1
38,0	128,6
45,2	113,6
50,4	103,6
55,2	93,6
1' 1,0	83,6
7,0	73,6
16,0	63,6
36,0	53,6
2' 20,0	48,3
7' 20,0	45,1
11' 20,0	42,5
15' 20,0	40,6

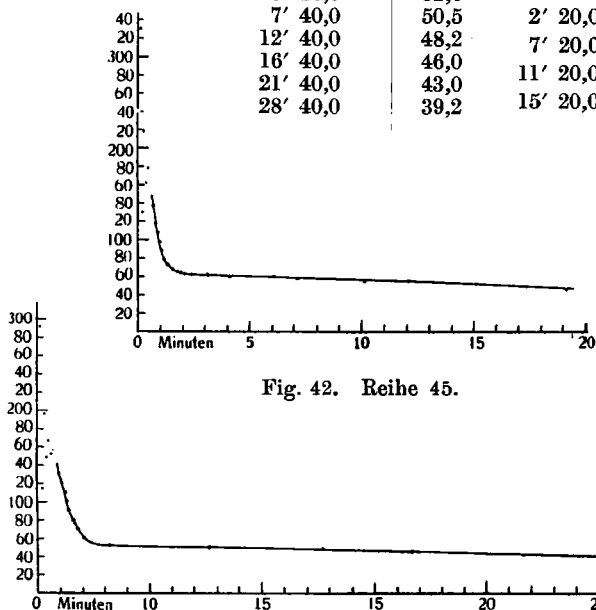


Fig. 42. Reihe 45.

Fig. 40. Reihe 41.

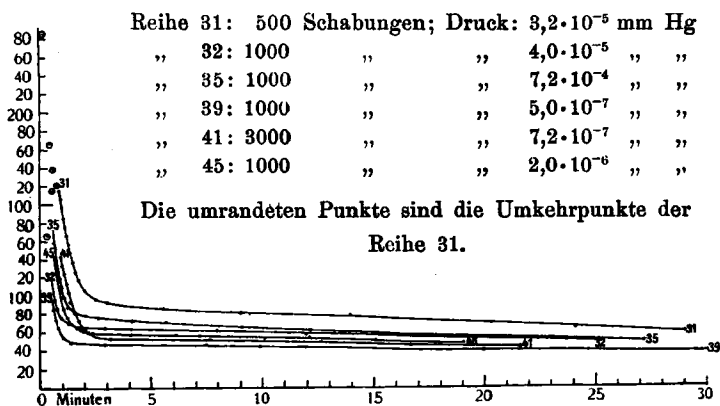


Fig. 43.

Tabelle 42.

Reihe 45 1000 Schabungen Druck: $2 \cdot 10^{-6}$ mm Tag: 18. IX. 1913	
Zeit	Strom
1,2''	Ö
2,0	B
7,2	330?
12,8	131
18,0	218
24,0	162
28,4	177,8
38,0	147,8
42,0	137,8
49,2	117,8
53,2	107,8
58,0	97,8
1' 4,0	87,8
13	77,8
20	72,8
33	67,8
48	64,8
53	63,8
2' 7''	62,8
23	61,8
3' 6''	60,8
4' 6	59,8
6' 6	58,6
7' 6''	57,8
10' 6'	55,0
12' 6	53,6
15' 6	51,3
19' 6	47,4

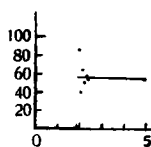


Fig. 45.

Reihe 38.

Tabelle 45.

Reihe 38 1000 Schabungen Druck: $1,1 \cdot 10^{-3}$ mm Tag: 17. IX. 1913	
Zeit	Strom
0''	
Dunkel; unmittelbar nach Belichtung	
1' 56''	86
2' 1	40
7	64
12	51
17	57
23	54
4' 54	53,4
26' 54	42,5
49' 54	33,2
1h 12' 54	26,3

Tabelle 46.

Reihe 43 1000 Schabungen Druck: $5 \cdot 10^{-7}$ mm Tag: 17. IX. 1913	
Zeit	Strom
4,8''	B
10,4	256
16,4	106
21,6	175
27,6	128
32,8	141
41,6	118
50,0	Verdunkelg.
2' 43,0	Wiederbelichtung
49,0	74,3
54,0	34,5
3' 0,0	54,5
6,0	44,1
11,0	50,3
4' 31,0	46,9
8' 31,0	45,3
13' 31,0	42,7
18' 31,0	40,0

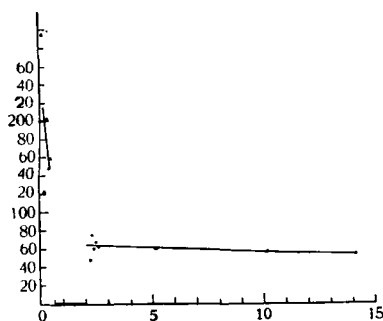


Fig. 44. Reihe 36.

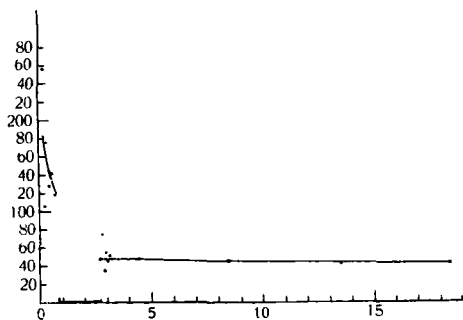


Fig. 46. Reihe 43.

Tabelle 44.

Reihe 36	
1000 Schabungen	
Druck: $8,8 \cdot 10^{-4}$ mm	
Tag: 17. IX. 1913	
Zeit	Strom
1,6''	0
2,4	B
8,4	294
14,0	122
19,6	201
25,2	148
30,4	159
38,0	Verdunkelg.
Dunkel	
2' 2,0''	Wiederbelichtg.
8,0	102
13,0	48
19,0	75
24,0	60
29,0	67
34,0	62,2
40,0	64,2
5' 10,0	60,5
10' 10,0	56,5
14' 10,0	53,2
20' 10,0	49,7
33' 10,0	42,6
41' 40,0	39,0
49' 40,0	36,1

Nachdem Reihe 45 (Fig. 42) den normalen Ermüdungsvorgang gezeigt hatte, wurde versucht, am zweiten Rohre, ebenso wie am ersten, Erholung zu erhalten. Reihe 46 zeigt nach 30 Sekunden Induktorentladungen bereits eine Tendenz zur Erholung; nachdem das Zink 20 Minuten lang Kathode einer Induktorentladung gewesen war, zeigte sich Erholung sehr ausgeprägt, wie aus den Reihen 47 bis 49 (Fig. 48 bis 50) hervorgeht. Reihe 45 bis 49 wurden nach je 1000 Schabungen aufgenommen.

Alle drei Kurven sind genau vom gleichen Typ: zuerst steigen sie an, erreichen dann ein Maximum und fallen wieder langsam und immer langsamer ab. Erfolgt der Anstieg auch nicht so schnell wie bei den Reihen 3, 5, 15, 16, 17 und 18, bei denen der vierte Umkehrpunkt höher lag als der erste,

Mit fortschreitendem Anstieg des Stromes ging der Ausschlag über die Skala hinaus, weshalb ein anderer Widerstand dem Elektrometer parallel geschaltet werden mußte. Nach Einschalten desselben führte das Elektrometer wiederum Schwingungen aus. Die Umkehrpunkte wurden registriert und auf die stets gebrauchte Empfindlichkeit umgerechnet. Nach Zunahme der Ermüdung kam wieder der stets gebrauchte Widerstand zur Verwendung.

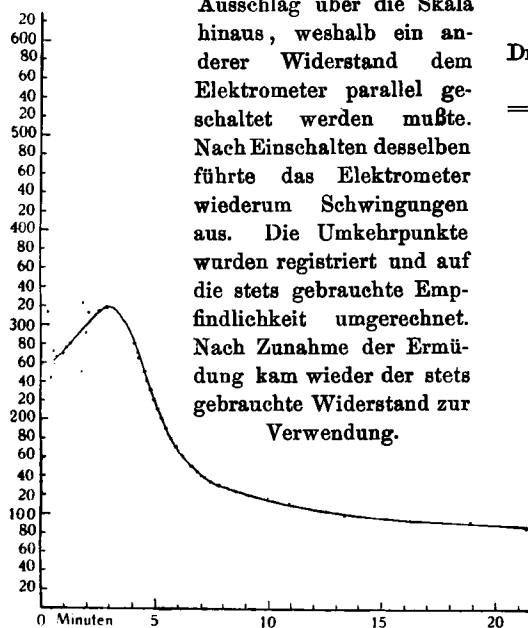


Fig. 48. Reihe 47.

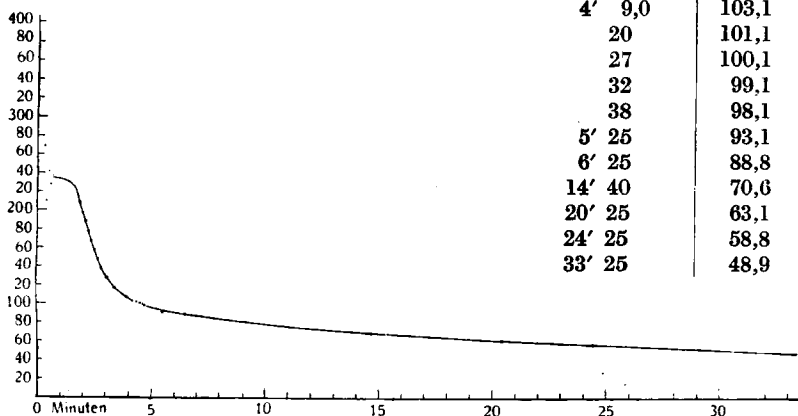


Fig. 47. Reihe 46.

Tabelle 47.

Reihe 46
1000 Schabungen
Druck: $50-8 \cdot 10^{-6}$ mm
Tag: 18. IX. 1913

Zeit	Strom
1,2''	Ö
2,4	B
8,0	400?
13,6	162
19,2	269
25,2	211
30,4	242
35,2	228
42,0	238
1' 25,0	zieml. konst.
44,0	218,1
52,0	208,1
2' 0,0	198,1
8	188,1
15	178,1
22	168,1
31	158,1
40	148,1
50	138,1
3' 4,0	128,1
22	118,1
52	107,1
4' 9,0	103,1
20	101,1
27	100,1
32	99,1
38	98,1
5' 25	93,1
6' 25	88,8
14' 40	70,6
20' 25	63,1
24' 25	58,8
33' 25	48,9

Tabelle 48.

Reihe 47
1000 Schabungen
Druck: $5-3,2 \cdot 10^{-5}$ mm
Tag: 18. IX. 1913

Zeit	Strom
1,2''	Ö
2,4	B
7,2	430
13,2	191
18,4	313
24,8	243
29,6	272
34,8	258
40,8	266
54,0	270
1' 5	275
15	280
28	624,9
34	120,7
39	387,9
44	250,0
50	323,3
55	290,9
2' 1	312,5
30	314,6
52	318,9
4' 6	280
15	270
20	265
33	250
41	240
50	230
59	220
5' 8	210
19	200
30	190
44	179,5
58	170
6' 15	160
37	150
51	144
7' 5	139
12	138
27	134
43	130
10' 52	109,5
13' 22	99
18' 52	92,1
21' 22	86,8

Tabelle 49.

Reihe 48
1000 Schabungen
Druck: $3,2 \cdot 10^{-5}$ mm
Tag: 18. IX. 1913

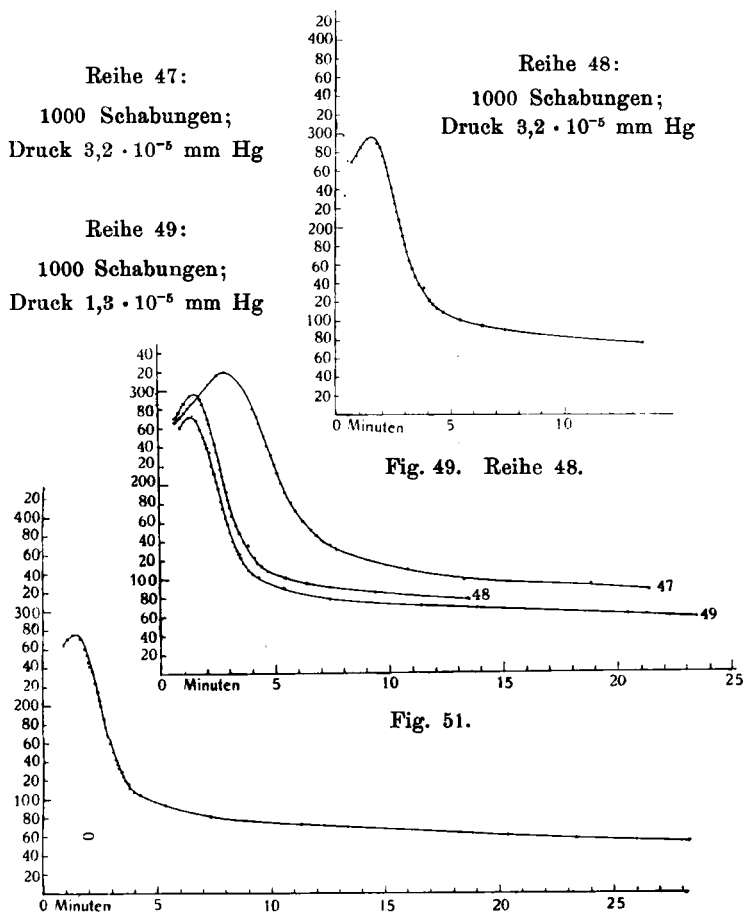
Zeit	Strom
1,2''	Ö
2,4	B
7,6	95,3
13,2	43,1
18,4	69,3
23,2	55,2
28,8	63,1
33,2	59,5
39,6	62,7
51,2	64,3
1' 3,0	66,3
20	68,3
46	67,3
52	66,3
2' 0'	64,3
6	62,3
9	61,3
14	59,3
21	56,3
26	54,3
31	52,3
36	50,3
41	48,3
46	46,3
52	44,3
58	42,3
3' 4	40,3
10	38,3
18	36,3
26	34,3
37	32,3
49	31,3
4' 4	28,3
12	27,3
23	26,3
38	25,3
5' 25	23,4
6' 25	22,1
7' 25	21,2
9' 25	19,9
13' 25	18,1

Tabelle 50.

Reihe 49
1000 Schabungen
Druck: $3,2-1,3 \cdot 10^{-5}$ mm
Tag: 18. IX. 1913

Zeit	Strom
1,2''	Ö
2,4	B
7,6	94,5
12,8	41,8
18,0	67,4
23,6	53,3
28,8	61,0
51,6	61,5
1' 4,0	63,0
15,0	64,0
37,0	63,0
47,0	61,0
55,0	59,0
59,0	58,0
2' 4,0	56,0
8,0	55,0
15,0	52,0
20,0	50,0
25,0	48,0
30,0	46,0
37,0	43,0
43,0	41,0
50,0	39,0
56,0	37,0
3' 3,0	35,0
10,0	33,0
15,0	32,0
20,0	31,0
24,0	30,0
30,0	29,0
35,0	28,0
42,0	27,0
49,0	26,0
59,0	25,0
4' 10,0	24,0
5' 21,0	21,8
7' 21,0	18,8
11' 21,0	16,9
20' 21,0	14,2
23' 21,0	13,4
28' 21,0	12,3
35' 51,0	10,8

so darf man die Kurven 47 bis 49 doch wohl als Zwischenstufe bei der Überführung des Ermüdungstyps in den Erholungstyp auffassen. Vor dem Induktorgang wiesen alle Kurven eine



starke Ermüdung auf: im Rohre war viel Wasserdampf enthalten. Durch Reaktion wurde der lichtelektrische Strom erzeugt, durch Schichtbildung trat Ermüdung ein. Durch die Entladungen sind aus den Glaswandungen neue Gase ausgetrieben. Durch Diffusion nimmt die Gaskonzentration an

Tabelle 52.

Reihe 68*
Schaben: 7 Minuten
Druck: $> 2 \cdot 10^{-2}$ mm
Tag: 8. XI. 1913

Zeit	Strom	
3,6''	B	
10,4	207,0	} Volt 200
17,2	76,0	
22,4	118,0	
29,6	78,0	
35,2	85,0	
42,4	69,2	
52,0	67,0	
1' 0,0	58,0	
9,0	53,0	
23,0	48,0	
40,0	43,0	} Volt 200
2' 0,0	40,0	
3' 28,0	34,0	
4' 13,0	32,5	
5' 13,0	31,7	
6' 13,0	31,4	
9' 43,0	32,0	
12' 13,0	29,0	150
13' 13,0	22,3	100
15' 18,0	13,8	50
17' 13,0	7,9	20
18' 0,0	5,3	8
19' 28,0	2,8	2
20' 43,0	37,8	} 200
22' 13,0	37,5	
23' 13,0	38,2	
25' 13,0	38,9	

80
60
40
20
300
80
60
40
20
100
80
60
40
20

0 Minuten 5 10 15 20

Tabelle 53.

Reihe 69
Schaben: 7 Minuten
Druck: $> 2 \cdot 10^{-2}$ mm
Tag: 8. XI. 1913

Zeit	Strom	
2,0''	Ö	
3,2	B	
8,8	328?	} Volt 200
16,0	135	
22,0	227	
28,4	157	
33,6	175	
40,8	149	
45,6	150	
51,2	138	
57,6	133	
1' 4,0	125	
12,0	118	} Volt 200
18,0	113	
25,0	108	
33,0	103	
42,0	98	
52,0	93	
2' 9,0	86	
18,0	83	
36,0	78	
49,0	75	
59,0	73	} Volt 200
3' 20,0	70	
34,0	68	
54,0	66,5	
4' 9,0	65,0	
29,0	63,5	
39,0	62,7	
5' 39,0	59,6	
8' 9,0	56,7	
9' 9,0	56,1	
10' 39,0	56,0	} 100
11' 39,0	56,2	
16' 9,0	56,8	
18' 29,0	26,0	
19' 45,0	3,4	20
20' 54,0	3,0	2
21' 40,0	5,7	20
23' 40,0	57,5	200

Fig. 53. Reihe 69.

Tabelle 54.

Reihe 70
Schaben: 5 Min. 30 Sek.
Druck: $> 2 \cdot 10^{-2}$ mm
Tag: 8. XI. 1913

Zeit	Strom
1,2''	Ö
2,4	B
7,6	380?
14,8	172
20,4	284
26,4	203
32,0	227
39,6	199
48,8	190
58,0	179
1' 8,0	169
Belichtg. unterbrochen.	
6' 54,4	Belichtg. ein- geschaltet
7' 1,0	106,3
6,0	54,8
12,0	81,0
18,0	67,3
23,0	74,3
57,0	71,6
9' 45,0	71,1
12' 45,0	69,0

Tabelle 55.

Reihe 71
Schaben: 5 Minuten
Druck: $> 2 \cdot 10^{-2}$ mm
Tag: 10. XI. 1913

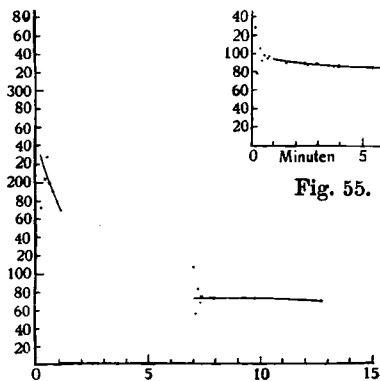
Zeit	Strom
2,0''	Ö
3,2	B
10,0	128,3
16,0	78,3
22,0	106,5
28,4	92,4
34,4	99,3
42,8	94,6
48,4	97,3
1' 33,0	91,3
2' 26,0	90,3
	88,9
3' 26,0	87,6
	87,0
5' 26,0	85,6
6' 6,0	84,8
	84,6
8' 10,0	15,1
9' 10,0	3,7
10' 10,0	0,8
11' 10,0	31,5
13' 56,0	84,6

Volt
200
100
20
2
150
200

Tabelle 56.

Reihe 72*
Schaben: 7 Minuten
Druck: $> 2 \cdot 10^{-2}$ mm
Tag: 10. XI. 1913

Zeit	Strom
1,6''	Ö
2,4	B
9,6	125,8
15,6	76,8
21,6	104,8
28,0	91,6
33,6	98,6
40,0	94,8
46,8	96,3
52,8	95,1
1' 14,0	94,3
2' 21,0	91,3
4' 36,0	86,3
10' 21,0	84,8
17' 21,0	86,5



der Zinkoberfläche zu, und der Strom steigt so lange an, bis die Ausbildung einer schützenden Schicht Ermüdung eintreten läßt.

Es wurde nun das Vorratsrohr mit Kalium beschickt und abgeschmolzen; dann wurden unter Erhitzen des Kaliums auf

175° C. und unter Anlegen von Glimmentladungen, so lange Messungen ausgeführt, bis das Destillationsrohr einen Sprung erhielt. Da indessen die Ergebnisse an diesem Rohre genau denen entsprechen, die nach der nächsten Kaliumfüllung erhalten wurden, so mögen sie vorläufig übergangen werden.

Nachdem das Kalium in der oben angeführten Weise behandelt und in das neue Vorratsrohr gebracht worden war, wurde dieses abgeschmolzen und evakuiert, dann wurde die Pumpe abgestellt. Die Reihen 68, 69 und 70 (Tab. 52, 53 und 54) zeigen starke Ermüdung, die wohl wiederum auf Reaktion von Wasserdampf zurückgeführt werden muß. Reihe 70 gibt gleichzeitig wieder ein hübsches Beispiel für das Fortschreiten des Ermüdungsvorganges im Dunkeln. Da die Pumpe nicht mehr arbeitete, sank das Vakuum infolge von Gasabgabe der Glaswände, der Metallteile und des Zinks beim Schaben dauernd, was sich in Stoßionisation (vgl. die Tabellen) und in einem Höher und Höherliegen des konstanten Teiles der Stromkurven von Reihe zu Reihe zeigte. Auch am MacLeod konnte die Druckzunahme beobachtet werden: indessen waren hier die Beobachtungen nur relativ, nicht absolut; denn schon bei der ersten der Reihen (Nr. 68) stand die Quecksilbersäule am MacLeod unter der Skala. Jedenfalls war der Druck größer als 2×10^{-2} mm Hg.

Ohne, daß inzwischen frisch evakuiert worden wäre, wurden zwei Tage später Reihe 71 (Fig. 55) und Reihe 72 (Tab. 56) aufgenommen. Das MacLeod zeigte erneute Druckzunahme: die Stoßionisation ist gesteigert (vgl. Tab. 55), und die konstanten Teile der Stromkurven liegen wieder beträchtlich höher als bei den zwei Tage früher aufgenommenen Kurven. Da sich Reihe 71 und 72 nur um einige Prozent unterscheiden, so mag nur die erste in graphischer Darstellung folgen. Bei beiden Reihen ist die Ermüdung bedeutend geringer geworden.

Nunmehr wurde von neuem die Pumpe in Betrieb gesetzt. Bei einem Druck von 2×10^{-4} mm Hg wurde Reihe 73 (Tab. 57) nach $7\frac{1}{2}$ Minuten Schaben aufgenommen. Es tritt hier überhaupt keine merkliche Ermüdung mehr ein; auch ist infolge verbesserten Vakuums keine Stoßionisation mehr vorhanden: die Stromkurve verläuft sehr tief. Unter ständigem Weiterpumpen wurde dann das Destillationsrohr *D* dreizehn Stunden auf etwa 350° C. erhitzt, um eine möglichst weitgehende Gas-

abgabe desselben zu erzielen. Nach seiner Abkühlung wurden Reihe 76 (Fig. 58) und Reihe 77 (Fig. 59) aufgenommen. Diese zeigten gar keine Ermüdung und statt dessen nur noch eine ganz langsame Erholung.

Das allmähliche Verschwinden der Ermüdung bei all diesen Kurven wird darauf zurückzuführen sein, daß das Kalium selbst bei Zimmertemperatur und ohne Einwirkung von Glimmentladungen die reagierenden Gase mit der Zeit mehr und mehr verbraucht hat.

Es wurde nunmehr das Kalium unter Erhitzen auf 400°C . in das Destillationsrohr *D* hinüberdestilliert und die Anordnung von der Pumpe abgeschmolzen. Unmittelbar darauf betrug der Druck $2 \times 10^{-3}\text{ mm Hg}$. Sofort anschließend wurde Reihe 79 (Fig. 60) aufgenommen: nach 7 Minuten Schaben und bei einem Drucke, der während der Aufnahme zwischen 3,9 und $8,5 \times 10^{-3}\text{ mm Hg}$ schwankte, stieg der Strom von 22,4 Skalenteilen in 39 Minuten um weniger als 8 Proz. Nachdem das Rohr einige Stunden ruhig gestanden hatte, wurde bei einem Druck von $1,9 \times 10^{-2}\text{ mm Hg}$ nach sieben Minuten Schaben in Reihe 80 (Fig. 61) eine Kurve aufgenommen, deren Abweichungen von einer Parallelen zur Zeitachse, falls solche überhaupt vorhanden ist, innerhalb der Beobachtungsfehler liegen.

Um die durch die Induktorentladungen dauernd stattfindende Gasabgabe des Zinks zu verhindern, wurden Zink und Schaber von ihrer Erdung abgenommen; und um weiter reaktionsfähige Gase zu entfernen, wurde das Kalium auf 175°C . erhitzt, und der Glimmstrom angelegt. Als der Druck $8 \times 10^{-4}\text{ mm Hg}$ betrug, wurde der Induktor abgenommen und nach Wiederherstellung der Verbindungen geschabt. Nach 2 Minuten Schaben war nicht der geringste Ausschlag zu konstatieren. Nach weiteren 2 Minuten Schaben zeigte sich ein konst. Ausschlag von 10 Skalenteilen, und nach weiteren 6 Minuten Schaben ein solcher von 23 Skalenteilen. Bei der vorangegangenen Kaliumfüllung, deren Ergebnisse oben übergegangen worden waren, ergab sich nach Glimmentladungen im Nebenrohre bei $1,7 \times 10^{-3}\text{ mm Hg}$ Druck und bei 100 Volt angelegtem Potential nach 1000 Schabungen kein Ausschlag; nach weiteren 1000 Schabungen nur ein einziger von 17,2 Skalenteilen, nach dem die Nadel sofort wieder in die Ruhelage zurück-

Tabelle 57.			Tabelle 58.			Tabelle 59.		
Reihe 73*			Reihe 76			Reihe 77		
Schaben: 7 Min. 30 Sek.			Schaben: 7 Minuten			Schaben: 7 Minuten		
Druck: $2 \cdot 10^{-4}$ mm			Druck: $1,3 \cdot 10^{-4}$ mm			Druck: $2,9 \cdot 10^{-4}$ mm		
Tag: 10. XI. 1913			Tag: 11. XI. 1913			Tag: 12. XI. 1913		
Zeit	Strom		Zeit	Strom		Zeit	Strom	
2,0''	\bar{O}		2,0''	\bar{O}		2,0''	\bar{O}	
2,8	B		3,2	B		3,2	B	
9,2	35,0		10,0	38,5		9,6	37,4	
15,2	16,5		16,8	19,5		16,8	17,8	
21,2	25,0		23,2	29,5		23,2	27,9	
26,8	20,3		29,2	24,4		29,2	22,9	
32,8	23,0		36,8	27,0		35,6	25,5	
37,6	21,0		42,4	25,8		42,4	24,3	
1' 37,0	20,0	Volt 200	1' 10,0	26,6	Volt 200	49,6	24,9	Volt 200
3' 37,0	19,5		55,0	26,8		1' 16,0	24,9	
5' 7,0	19,0		2' 55,0	27,0		2' 18,0	25,2	
6' 7,0	20,7		3' 55,0	27,1		5' 1,0	25,7	
7' 7,0	21,5		5' 55,0	27,6		7' 16,0	25,7	
8' 7,0	21,7		7' 55,0	27,9		10' 16,0	26,4	
11' 37,0	23,0		12' 55,0	28,7		15' 1,0	27,1	
15' 17,0	22,7		19' 25,0	29,0		22' 31,0	28,1	
17' 22,0	22,0	150	24' 25,0	29,3		25' 1,0	28,4	
18' 42,0	21,0	100	27' 5,0	28,4	150	26' 1,0	28,7	
22' 17,0	11,2	20	28' 40,0	28,4	100	28' 1,0	28,3	150
23' 17,0	1,6	2	30' 5,0	27,2	50	29' 16,0	28,7	100
24' 52,0	16,2		?	16,2	20	29' 41,0	28,4	50
30' 7,0	13,2	200	38' 5,0	29,3	200	31' 41,0	21,6	20
33' 17,0	12,0		?	16,2	20	32' 31,0	4,0	2
48' 37,0	9,8		?	2,3	2	33' 41,0	29,3	200

Reihe 76: Schaben: 7 Min. Druck: $1,3 \cdot 10^{-4}$ mm Hg

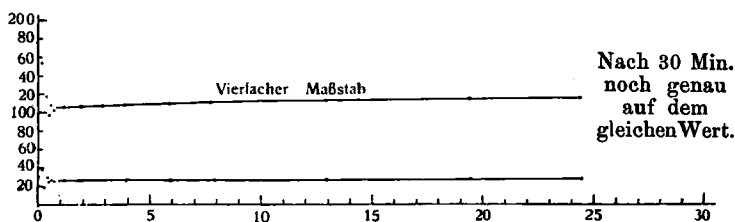


Fig. 58. Reihe 76.

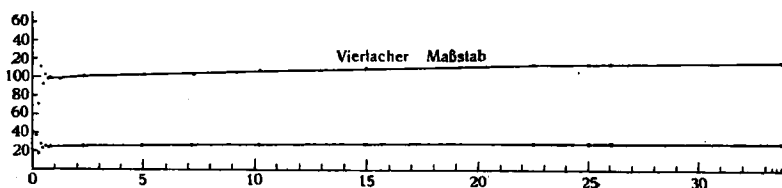


Fig. 59. Reihe 77.

Tabelle 60.

Reihe 79	
Schaben: 7 Minuten	
Druck: $3,9-8,5 \cdot 10^{-3}$ mm	
Tag: 12. XI. 1913	
Zeit	Strom
2,4''	\bar{O}
4,0	B
10,4	34,0
16,8	16,6
23,2	25,5
29,2	21,2
36,8	23,4
44,0	22,4
1' 12,0	23,2
2' 7,0	23,2
4' 27,0	23,5
7' 7,0	23,4
14' 57,0	23,9
23' 27,0	23,8
28' 27,0	24,2
33' 57,0	24,3
39' 27,0	24,5

Tabelle 61.

Reihe 80	
Schaben: 7 Minuten	
Druck: $1,9 \cdot 10^{-2}$ mm	
Tag: 12. XI. 1913	
Zeit	Strom
2,4''	B
9,2	38,3
16,0	22,2
22,8	30,5
29,2	21,1?
1' 50,0	28,3
2' 20,0	28,2
50,0	28,0
3' 50,0	28,2
4' 50,0	28,2
5' 50,0	28,1
12' 20,0	28,3
15' 20,0	27,7
19' 50,0	28,0
21' 35,0	26,8

Volt
200
100

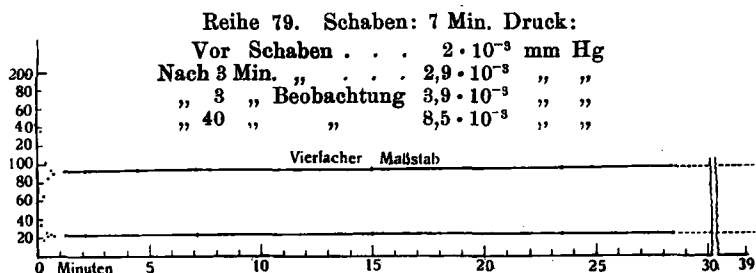


Fig. 60.

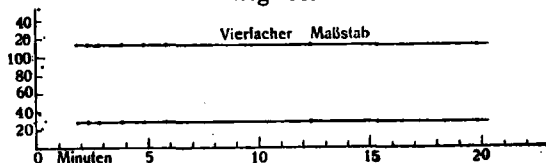


Fig. 61. Reihe 80.

pendelte; nach 4500 Schabungen zeigte sich ein konstanter Ausschlag von 52 Skalenteilen.

Es ist von großem Interesse, daß es ohne weiteres möglich war, den Effekt ganz beliebig auftreten und verschwinden zu lassen. Wurde nämlich das Zink geerdet, so fanden infolge der Potentialdifferenzen die zwischen ihm und den Polen des

Induktors herrschten, trotz der Erdung des Verbindungsrohres zwischen Destillationsrohr *D* und Versuchsrohr *G* Entladungen statt, infolge deren Teile des Rohres, die wegen der Siegel-lackkittungen nicht hatten erhitzt werden können, Gase abgaben. Daß diese Gasabgabe so stark war, daß sie die Absorption durch das Kalium nahezu kompensierte, zeigt Kurve 81 (Fig. 62), die bei geerdetem Zink aufgenommen wurde. Sie veranschaulicht die Größe des Druckes in ihrer Abhängigkeit von der Zeit, während der die Glimmentladungen wirkten.

Die Kurve zeigt, daß eine wesentliche Verbesserung des Vakuums bei geerdetem Zink selbst durch anhaltende Ent-

Tabelle 62, Reihe 81.

Zeit in Minuten seit Anlegen der Glimm- entladungen	Druck in mm Hg
0	$1,9 \cdot 10^{-2}$
10	$1,1 \cdot 10^{-2}$
17	$9,5 \cdot 10^{-3}$
29	$7,0 \cdot 10^{-3}$
37	$6,3 \cdot 10^{-3}$
52	$5,0 \cdot 10^{-3}$
80	$4,1 \cdot 10^{-3}$

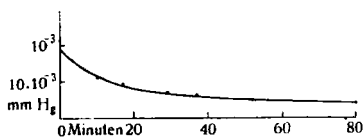


Fig. 62. Reihe 81.

ladungen nicht mehr zu erwarten war. Nachdem aber die Erdung vom Zink abgenommen worden war, sank der Druck im Rohre in 9 Minuten auf $1,7 \times 10^{-3}$ mm Hg.

Nach Entladungen, bei denen das Zink geerdet gewesen war, konnte der lichtelektrische Effekt niemals beseitigt werden. Denn, da Messungen nur dann vorgenommen werden konnten, wenn die Entladungen, ohne die die Reaktionsfähigkeit des Kaliums außerordentlich verringert ist, abgestellt waren, und da Gase, die im Versuchsrohre abgegeben wurden, stets einige Zeit brauchten, um zum Destillationsrohr, in dem sie absorbiert wurden, hinüberzudiffundieren, so blieben diejenigen Gase, die unmittelbar vor Abstellen der Glimmentladungen noch im Versuchsrohr abgegeben worden waren, auch nach Abstellen der Glimmentladungen in diesem und riefen am Zink Reaktionen hervor, die einen lichtelektrischen Effekt auslösten, während bei ungeerdetem Zink keine Gase abgegeben wurden und daher auch beim Abstellen der Glimmentladungen keine reaktionsfähigen Gase im Versuchsrohre vorhanden waren, die einen lichtelektrischen Effekt hervorrufen konnten.

Nach Vorveröffentlichung der Versuchsergebnisse dieser Ar-

beit haben die Herren Wiedmann und Hallwachs¹⁾ bemängelt, daß auf Grund des vorliegenden Versuchsmaterials die Gegenwart allein „*reaktionsfähiger Gase*“ zum Zustandekommen eines lichtelektrischen Stromes als notwendig erachtet wurde. Die Herren sind zwar der Ansicht, daß das „*Vorhandensein von Gas*“ eine notwendige Bedingung merklicher Lichtelektrizität ist“, daß aber *jedes beliebige Gas* durch seine Gegenwart das Auftreten der Lichtelektrizität bedingen kann. Auch seien, so führen sie aus, Versuche in einem nicht reaktionsfähigen Gase nicht vorgenommen worden.

Die Versuche zeigen demgegenüber, daß an frisch geschabten Zinkoberflächen ein starker lichtelektrischer Strom entstand, wenn der Druck in der Zelle 5×10^{-7} mm Hg (wie bei Reihe 39) betrug; hingegen wurde das Ausbleiben des lichtelektrischen Effektes bei einem Drucke von $1,7 \times 10^{-3}$ mm Hg beobachtet, und zwar dann und nur dann, wenn an das im Nebenrohr erhitzte Kalium Glimmentladungen gelegt worden waren. Hierdurch mußte eine starke Absorption reaktionsfähiger Gase eingetreten sein; der in der Zelle herrschende hohe Druck mußte daher dem Vorhandensein neutraler Gase zugesprochen werden. Da trotz der Gegenwart derselben kein lichtelektrischer Strom beobachtet wurde, so darf der Schluß, daß das Zustandekommen der Lichtelektrizität an das Vorhandensein *reaktionsfähiger Gase* gebunden sei, wohl als berechtigt angesehen werden.

Den Herren Wiedmann und Hallwachs gelang es — was freilich von den Herren Pohl und Pringsheim angezweifelt wird — durch mehrfache Destillation und hierdurch eintretende Entgasung des Kaliums den lichtelektrischen Effekt an diesem Metall zum Verschwinden zu bringen. Da das Kalium vor allem Wasserstoff enthält, so muß dieser in erster Linie das Zustandekommen des lichtelektrischen Stromes bedingen. Um nun nachzuprüfen, ob dem Wasserstoff in der Tat diese wichtige Rolle zufällt, wurden Versuche mit Wasserstoff an Zink ausgeführt. Es wurde hierzu das oben beschriebene Rohr verwandt, bei dem das Zink in Blei eingeschmolzen war. Außerdem besaß die Anordnung in unmittelbarer Nähe der Zinkplatte ein Palladiumrohr zum Einlassen von Wasserstoff.

Das Destillationsrohr enthielt Kalium; durch Anlegen von Glimmentladungen an das erhitzte Kalium war es nicht ge-

1) G. Wiedmann und W. Hallwachs, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. 16. p. 107. 1914.

lungen, den lichtelektrischen Strom zum Verschwinden zu bringen, sondern nur, ihn auf etwa ein Elftel seines ursprünglichen Wertes herabzudrücken, was wohl auf eine dauernde Gasabgabe durch das Blei zurückgeführt werden muß. Er war annähernd konstant, wie dies bei den oben besprochenen Reihen 12, 13, 76, 77, 79 und 80 der Fall war. Nach einer Minute Schaben wurde Reihe 82 bei Sättigungsstrom beobachtet. Die

Reihe 82.

1 Minute Schaben; Tag: 1.IV.1914.					Ausschlag in Skalenteilen	Druck mm Hg
	30 Sekunden nach Schaben				12,0	
1 Min.	0	„	„	„	7,8	} $6,3 \cdot 10^{-3}$
2 „	0	„	„	„	8,2	
3 „	0	„	„	„	8,3	
4 „	30	„	„	„	8,3	
	Nach Zufuhr von Wasserstoff					
5 Min.	0 Sekunden nach Schaben				8,0	} $1,8 \cdot 10^{-2}$
7 „	20	„	„	„	8,0	
	Nach Zufuhr von Wasserstoff					
8 Min.	10 Sekunden nach Schaben				8,0	} $> 1 \cdot 10^{-1}$
11 „	45	„	„	„	8,0	
15 „	0	„	„	„	7,8	

Tabelle zeigt, daß selbst beträchtliche Drucksteigerung durch Zufuhr von Wasserstoff keine Verstärkung des lichtelektrischen Stromes bewirkt: dieser scheint keinen meßbaren Einfluß auf die Lichtelektrizität zu haben.

Der lichtelektrische Strom war zu Beginn einer Versuchsreihe nur dann verschwindend klein — mochte er dies bleiben oder mit der Zeit zunehmen —, wenn vor dem Schaben Induktor-entladungen angelegt worden waren. Es könnte daher die Vermutung bestehen, der lichtelektrische Strom könnte *dadurch* unterdrückt worden sein, daß sich gerade infolge der Induktor-entladungen statische Ladungen in unmittelbarer Umgebung des Zinks an der Glaswand festgesetzt hätten und, wenn sie positiv waren, die Elektronen abfingen, wenn sie negativ waren, dieselben bremsten, so daß diese den Platinring nicht erreichten und so kein lichtelektrischer Strom entstehen konnte. Dieser Vermutung kann mit folgenden Gründen begegnet werden:

Nimmt man an, daß die Ladungen während der Zeiten, über die sich die Beobachtungen erstreckten, nicht abfließen, so mußte der lichtelektrische Strom, wenn er überhaupt durch diese Ladungen unterdrückt wurde, während der ganzen Dauer

ihrer Gegenwart unterdrückt bleiben. Statt dessen wurde bei vielen Reihen Erholung beobachtet. Ferner blieb bei den auf p. 917 geschilderten Versuchen der lichtelektrische Strom zunächst aus, wurde aber nach fortgesetztem Schaben beobachtet. Der Schaber selbst kam dabei mit den Glaswänden nicht in Berührung; er kann also ein Abfließen vermuteter Ladungen nicht verursacht haben. Die Erholung und das Einsetzen eines anfänglich unterdrückten Stromes durch fortgesetztes Schaben steht aber mit der Voraussetzung nicht abfließender statischer Ladungen in Widerspruch. Diese Vorgänge könnten, sollen sie überhaupt mit dem Einfluß statischer Ladungen in Zusammenhang gebracht werden, nur durch abfließende Ladungen erklärt werden. Hierüber könnte man zwei verschiedene Annahmen machen; entweder könnten die Ladungen unter der Einwirkung des Lichtes abfließen, oder sie könnten unabhängig von der Belichtung abfließen.

Nimmt man Abfließen der störenden Ladung unter Einwirkung des Lichtes an, so läßt sich die Erholung sehr wohl erklären: zunächst unterdrückt die statische Ladung den lichtelektrischen Strom; allmählich fließt sie ab und gleichzeitig steigt der Strom an. Dann darf aber nur die erste Reihe nach Abstellen der die statische Ladung erzeugenden Induktor-entladungen Anstieg zeigen: mit ihm ist ja gleichzeitig die statische Ladung abgeflossen, und eine anschließend ohne vorangehende erneute Induktor-entladungen aufgenommene Reihe darf keine Erholung zeigen, sondern bei ihr muß der Strom, da ja auch zu Beginn keine störenden Ladungen mehr vorhanden sind, sofort mit etwa der gleichen Stärke einsetzen, die er zu Ende der ersten Reihe hatte. Dieser Konsequenz widersprechen aber die Beobachtungen: es zeigen stets eine ganze Anzahl Reihen nach Anlegen von Induktor-entladungen Erholung, nicht nur die erste nach denselben. Auch hätte bei Reihe 2, bei der erst 2 Minuten nach dem Schaben belichtet wurde, falls bei ihr überhaupt das Abfließen einer statischen Ladung unter Einfluß des Lichtes nach Vorangang von Reihe 1 mit Erholung vorausgesetzt werden soll, ein Anstieg nach Einsetzen der Belichtung beobachtet werden müssen. Indessen setzte hier ein praktisch konstanter Strom ein.

Der Annahme eines Abfließens störender statischer Ladungen unabhängig von der Belichtung widerspricht zwar schon der eben besprochene Umstand, daß nach Anlegen von

Induktorentladungen nicht allein die erste Reihe, sondern auch eine Anzahl der folgenden Erholung zeigte; doch kommt noch ein anderer Grund, der gegen diese Annahme spricht, hinzu. In den Messungsreihen mit dem ersten Schaber (p. 917) wurde wiederholt bei den Erholungskurven der Versuch gemacht, ob nicht unmittelbar nach Beendigung der Schabungen, ohne Einschalten der Belichtung, eine durch die Meßanordnung zur Erde abfließende Ladung wahrgenommen werden könnte. Dies war indessen niemals der Fall. Ferner wurden wiederholt unmittelbar nach Abstellen der Glimmentladungen, denen bei ungeerdetem Zink das auf 175° C. erhitzte Kalium im Destillationsrohr *D* ausgesetzt worden war, ohne vorangehendes Schaben oben nicht mitgeteilte Versuche ausgeführt. Selbst bei der 70 fachen Empfindlichkeit, also bei einer Empfindlichkeit von $5,3 \times 10^{-13}$ Ampère, zeigten sich nur Schwankungen von 2—3 Skalenteilen um den Nullpunkt des Elektrometers. Also können abfließende statische Ladungen nicht angenommen werden, da solche hätten beobachtet werden müssen.

Schließlich geht aus dem auf p. 920 geschilderten Versuche hervor, daß während der Glimmentladungen am erhitzten Kalium im Destillationsrohr *D* vom ungeerdeten und daher an den Entladungen unbeteiligten Zink keine Gase mehr abgegeben werden. Dies zeigt, daß sich die Glimmentladungen bei ungeerdetem Zink nicht mehr in dessen Umgebung ins Versuchsrohr hinüberstreckten. Bei allen Versuchen, bei denen das Ausbleiben des lichtelektrischen Effektes beobachtet wurde, war das Zink während der Glimmentladungen ungeerdet. Daher können statische Ladungen das Ausbleiben des lichtelektrischen Effektes nicht verursacht haben.

Aus dem Gesagten folgt, daß weder die beobachtete Erholung noch das Ausbleiben des lichtelektrischen Effektes auf das Vorhandensein statischer Ladungen an den Glaswänden in der Nähe des Zinks, die die Elektronen ablenken oder bremsen, zurückgeführt werden kann.

Die Rolle der Gase bei der Lichtelektrizität.

Um den Einfluß der Gase auf den lichtelektrischen Strom, die Erholung und Ermüdung, je nach den gewählten Versuchsbedingungen, deutlicher hervortreten zu lassen, sollen die soeben mitgeteilten Ergebnisse nochmals in knapper Form zu-

sammengestellt und unter diesem Gesichtspunkte durchgesprochen werden.

1. *Erstes Rohr.* Der Schaber wird vor jeder Messung elektromagnetisch gehoben. Die Molekularpumpe arbeitet während der Beobachtungen nicht. Entladungen werden stets ans Destillationsrohr *D*, nie an das Zink angelegt. Da das Zink während derselben geerdet bleibt, beteiligt es sich trotzdem während der Entladungen an der Gasabgabe, die ebenfalls durch Schaber und Glasteile erfolgt.

Durch Induktorentladungen ist aus Glaswänden, Schaber und Zink bereits reichlich Gas ausgetrieben. Dadurch ist das Zink in den obersten Schichten am gasfreiesten. Am 2. IX. 1913 werden die Reihen 1—8 nach 10—1000 Schabungen aufgenommen, ohne erneute Induktorentladungen zwischen den Reihen. Sie zeigen alle Erholung innerhalb ein bis höchstens zwei Minuten, mit anschließender langsamer Ermüdung bis zu einigen Prozent innerhalb 10 Minuten. Der maximale Strom ist von der Größe 7,3 bis $9,1 \times 10^{-9}$ Ampère. Seine Größe wird durch den Druck des Wasserdampfes in der Zelle bedingt.

Der Vorgang erklärt sich so, daß von den Metallteilen des Schabers her ständig eine Diffusion reaktionsfähiger Gase erfolgt. Diese treffen das in seinen obersten Schichten durch die Induktorentladungen gasfreie, blankgeschabte Zink. Mit fortschreitender Diffusion nimmt die Gaskonzentration an der Zinkoberfläche und mit ihr die umgesetzte Menge und daher die Stärke des lichtelektrischen Stromes zu, bis durch Ausbildung einer Schicht, die auf das Licht abhaltend, auf die Elektronen hemmend wirkt, Ermüdung eintritt.

Durch starkes Kratzen des Schabers wird das Zink nunmehr deutlich aufgerauht. Die am 3. IX. 1913 unter diesen Umständen nach 500 Schabungen aufgenommene Reihe 9 und die nach 200 Schabungen anschließend aufgenommene Reihe 10 zeigen Ermüdung ohne vorangehende Erholung. Im Gebiete schwacher Ermüdung beträgt der Strom etwa 2×10^{-9} Ampère.

Der Vorgang erklärt sich so: Durch Bloßlegen tieferer, gasreicherer Zinkschichten, bis zu denen die gasaustreibende Wirkung der Induktorentladungen nicht gereicht hatte, werden Gase frei, die sofort nach Schaben mit dem Zink reagieren können, da sie sich sogleich nach Beendigung der Schabungen in dessen unmittelbarer Nähe befinden. Durch die starke Kon-

zentration reagierender Gase am Zink tritt schnelle Schichtbildung und daher Ermüdung ein.

Nach erneutem Pumpen, nach Beseitigung der aufkratzen-den Wirkung des Schabers, und — wie bestimmt anzunehmen ist — erneuten Induktorentladungen, zeigt die am 3. IX. 1913 nach 200 Schabungen aufgenommene Reihe 11 Erholung mit anschließender langsamer Ermüdung. Der Strom besitzt etwa die gleiche Stärke wie bei den Reihen 1 bis 3. Der Vorgang erklärt sich wie bei diesen.

Der Schaber wird auf stärkeren Druck gestellt. Die am 3. IX. 1913 nach 500 bzw. 100 Schabungen aufgenommenen Reihen 12 und 13 zeigen erholungsfreien, annähernd konstanten Strom von etwa $9,2 \times 10^{-9}$ Ampère.

Durch den verstärkten Schaberdruck sind gasreiche Schichten des Zinks freigelegt worden. Die dadurch freigewordenen Gase befinden sich unmittelbar nach dem Schaben bereits an der Zinkoberfläche und reagieren mit dem Zink. Daher entsteht sofort ein starker lichtelektrischer Strom. Die mit fortschreitender Reaktion eintretende Ermüdung wird durch einen durch Gasdiffusion vom Schaber her bewirkten Anstieg annähernd kompensiert.

Nach erneuten Induktorentladungen werden am 3. IX. 1913 hinter einander nach 10 bis 500 Schabungen die Reihen 15 bis 18 aufgenommen, ohne erneute Entladungen zwischen den einzelnen Reihen. Sie zeigen wieder Erholung innerhalb einer Minute mit anschließender Ermüdung von einigen Prozenten innerhalb 10 Minuten. Die Werte der maximalen Ströme liegen zwischen $6,5 \times 10^{-9}$ Ampère und 10×10^{-9} Ampère.

Der Vorgang erklärt sich wie bei den Reihen 1 bis 8.

Am gleichen Tage zeigt Reihe 20 nach 100 Schabungen annähernd konstanten Strom von 10×10^{-9} Ampère.

Durch das fortgesetzte Schaben sind wieder gasreichere Zinkschichten freigelegt worden: der Vorgang erklärt sich wie bei den Reihen 12 und 13.

Die Ergebnisse am ersten Rohre lassen sich dahin zusammenfassen:

Nach Einwirkung von Induktorentladungen trat stets Erholung ein. Nach Aufrauen der Zinkoberfläche oder nach Bloßlegen tieferer Schichten des Zinks durch fortgesetztes Schaben zeigte sich keine Erholung, sondern konstanter Strom oder Ermüdung.

Die Erklärung hierfür ist die, daß das Zink durch die Induktorentladungen in seinen obersten Schichten entgast ist. Unmittelbar nach dem Blankschaben des Zinks befinden sich an der Oberfläche desselben keine reaktionsfähigen Gase, weshalb daselbst keine Umsetzungen erfolgen und kein lichtelektrischer Strom zustande kommen kann. Aus den anderen Teilen des Glasrohres und vom Schaber her diffundieren Gase ans Zink; mit fortschreitender Diffusion nimmt die Gaskonzentration daselbst zu, und mit ihr die Reaktionsgeschwindigkeit und die Stärke des lichtelektrischen Stromes, bis durch Ausbildung einer Schicht, die auf das Licht abhaltend, auf die Elektronen hemmend wirkt, Ermüdung eintritt.

Durch Aufkratzen der Zinkoberfläche oder durch fortgesetztes Schaben werden Schichten des Zinks freigelegt, bis zu denen die gasaustreibende Wirkung der Induktorentladungen nicht reichte. Hierdurch werden Gase frei, die sich unmittelbar nach Beendigung der Schabungen am Zink befinden und dort Reaktionen hervorrufen. Infolgedessen entsteht sofort ein starker lichtelektrischer Strom. Durch Schichtbildung tritt Ermüdung ein. Kompensiert der durch Hinzudiffundieren von Gas hervorgerufene Anstieg die durch Schichtbildung bedingte Ermüdung, so bleibt der Strom konstant.

2. Das zweite Rohr besitzt die verbesserte Schabvorrichtung mit selbsttätigem Hub; statt der Molekularpumpe ist die rotierende Gaede-Quecksilberpumpe und außerdem ein MacLeod angeschlossen. Die Pumpe arbeitet dauernd.

Ohne vorangehende Induktorentladungen wurden am 16., 17. und 18. IX. 1913 nach 1000 bis 5000 Schabungen die Reihen 31 bis 45 aufgenommen. Sie zeigen alle ausgeprägte, zunächst schnelle, dann langsame Ermüdung: die Zeit, innerhalb der der lichtelektrische Strom auf seinen halben Wert sinkt, beträgt zu Anfang wenige Sekunden. Nach Verlauf einiger Minuten ist die Ermüdung so gering geworden, daß der lichtelektrische Strom fast konstant ist. Der Druck schwankt zwischen $7,2 \times 10^{-4}$ und 5×10^{-7} mm Hg. Ein Einfluß desselben auf den Verlauf des lichtelektrischen Stromes ist nicht wahrzunehmen.

Der Vorgang erklärt sich in der bekannten Weise.

Nach 30 Sekunden Induktorentladungen zeigt Reihe 46 bereits eine Tendenz zur Erholung; nachdem das Zink 20 Minuten

Kathode einer Induktorentladung gewesen ist, weisen die Reihen 47 bis 49 Erholung und anschließende starke Ermüdung auf. Reihe 46 bis 49 sind nach je 1000 Schabungen am 18. IX. 1913 beobachtet.

Die Erklärung des Vorganges ist die, daß durch die Entladungen einerseits das Zink gasfrei gemacht worden ist, andererseits aus den Glaswandungen erneut Gase ausgetrieben worden sind. Durch Diffusion derselben nimmt die Gaskonzentration an der Zinkoberfläche zu, und der Strom steigt so lange an, bis die Ausbildung einer schützenden Schicht Ermüdung eintreten läßt.

3. Nachdem Kalium in das Vorratsrohr A gebracht worden war, wird vor Destillation des Kaliums die Pumpe abgestellt und Reihe 68 bis 70 am 8. XI. 1913 nach 3700 bis 5000 Schabungen aufgenommen. Sie zeigen starke Ermüdung. Zwei Tage später ist diese bei Reihe 71 und 72 nach 3500 bzw. 5000 Schabungen bereits sehr verringert, nach erneutem Pumpen bei den Reihen 73, 76 und 77 nach je 5000 Schabungen der Strom fast ganz konstant. Nach Überdestillieren des Kaliums in das Destillationsrohr D und nach Abschmelzen der Versuchsanordnung von der Pumpe zeigen Reihe 79 bei $8,5 \times 10^{-3}$ mm Hg und Reihe 80 bei $1,9 \times 10^{-2}$ mm Hg nach je 5000 Schabungen konstanten Strom. Dieser beträgt trotz des hohen Drucks nur etwa $8,6 \times 10^{-10}$ bis 1×10^{-9} Ampère.

Das allmähliche Verschwinden der Ermüdung, sowie der schließlich geringe Wert des lichtelektrischen Stromes trotz hohen Druckes im Versuchsrohr erklären sich durch fortschreitenden Verbrauch reagierender Gase durch das Kalium.

4. An das auf 175° C. erhitzte Kalium werden Glimmentladungen angelegt. Das Zink ist dabei geerdet. Nach anfänglich schneller Druckabnahme sinkt das Vakuum nach Verlauf einer Stunde nur noch unverhältnismäßig langsam unter 5×10^{-4} mm Hg. Nach Abnehmen der Erdung vom Zink fällt dagegen der Druck in 9 Minuten auf 42 Proz.

Hieraus geht hervor, daß das geerdete Zink während der Entladungen Gase abgibt, so daß die Verbesserung des Vakuums eine untere Grenze erreicht. Beim ungeerdeten Zink ist das nicht der Fall.

War das Zink während der Glimmentladungen geerdet,

beteiligte es sich also an der Gasabgabe, so war es auf keine Weise möglich, den lichtelektrischen Effekt zum Verschwinden zu bringen, da die aus dem Zink ausgetriebenen Gase nach Abstellen der Glimmentladungen mit ihm reagieren und einen lichtelektrischen Strom entstehen lassen.

Nach Glimmentladungen am erhitzten Kalium, bei denen das Zink nicht geerdet war, zeigte sich bei einem Drucke von 8×10^{-4} mm Hg nach 1400 Schabungen kein lichtelektrischer Strom.

5. *Drittes Rohr.* Nach Glimmentladungen am erhitzten Kalium bei ungeerdetem Zink ergab sich nach 1000 Schabungen kein Ausschlag; nach weiteren 1000 Schabungen ein einziger Ausschlag mit sofort anschließendem Zurückpendeln auf Null; nach weiteren 1000 Schabungen ein konstanter Ausschlag entsprechend $1,9 \times 10^{-9}$ Ampère. Das angelegte Potential war 100 Volt. Der Druck im Rohre betrug $1,7 \times 10^{-3}$ bis $2,9 \times 10^{-3}$ mm Hg.

Das Ausbleiben des Effekts bei 4. und 5. erklärt sich so: Da das Zink während der Glimmentladungen nicht geerdet war, so gab es keine Gase ab. Nach Abstellen der Glimmentladungen befinden sich daher keine solchen in der Nähe des Zinks, und es kann keine Umsetzung und daher kein lichtelektrischer Strom entstehen.

Der hohe Druck muß neutralen Gasen zugeschrieben werden, die vom erhitzten Kalium nicht absorbiert werden. Diese haben somit keinen Einfluß auf das Zustandekommen des lichtelektrischen Stromes.

6. Der lichtelektrische Strom einer in Blei gebetteten Zinkplatte hatte sich durch Glimmentladungen an erhitztem Kalium nicht beseitigen, sondern nur auf etwa ein Elftel seines ursprünglichen Wertes, auf $2,9 \times 10^{-10}$ Ampère herabdrücken lassen, was auf eine ständige Gasabgabe des Bleies zurückgeführt werden muß. Der Druck betrug etwa $6,3 \times 10^{-3}$ mm Hg. Der Strom war konstant und änderte sich durch Zufuhr von Wasserstoff, die den Druck auf mehr als das 16 fache steigerte, nicht.

Hieraus wird der Schluß gezogen, daß das Vorhandensein von Wasserstoff beim Zink keinen meßbaren Einfluß auf das Entstehen eines lichtelektrischen Stromes haben kann.

Zusammenfassung.

Die am Zink erhaltenen Resultate lassen sich dahin zusammenfassen¹⁾:

1. Reine Zinkoberflächen geben bei Ausschluß reaktionsfähiger Gase keinen meßbaren lichtelektrischen Effekt. Dieser ist kleiner als ein Tausendstel desjenigen, der unter gewöhnlichen Versuchsbedingungen erhalten wird.

2. Bei Gegenwart reagierender Gase läßt sich die Ermüdung durch Reaktion mit adsorbierten Gasen erklären, die Erholung durch Diffusion reaktionsfähiger Gase nach dem Zink hin, wobei die Geschwindigkeit der Reaktion und mit ihr die Stärke des lichtelektrischen Stromes durch die Konzentration reaktionsfähiger Gase am Zink bedingt wird. Durch geeignetes Zusammenwirken beider Vorgänge kann der zeitliche Verlauf des lichtelektrischen Stromes auf das verschiedenartigste beeinflußt werden, wodurch die eingangs diskutierten Kurven entstehen. Diese konnten beliebig durch Variation der Versuchsbedingungen ineinander übergeführt werden.

3. Der Druck neutraler Gase hat, soweit keine Stoßionisation in Frage kommt, keinen Einfluß auf die Größe des lichtelektrischen Effekts.

4. Bei einem Druck reaktionsfähiger Gase von 5×10^{-7} mm Hg wurde ein starker lichtelektrischer Strom beobachtet; bei dem mehrtausendfachen Drucke neutraler Gase blieb derselbe aus. Dieser Umstand spricht gegen die Dielektrizitätskonstantentheorie, da nach dieser nur im absoluten Vakuum der lichtelektrische Strom Null werden kann.

5. Gegen die Dielektrizitätskonstantentheorie spricht auch der Umstand, daß der lichtelektrische Strom an der frisch geschabten Zinkoberfläche nicht anstieg, nachdem der Druck in der Zelle durch Zufuhr von Wasserstoff auf mehr als das 16 fache erhöht worden war.

6. Ermüdung und Erholung verlaufen auch in den Gebieten stärkster Stromänderung im Vakuum unabhängig von der Belichtung.

Die vorliegende Arbeit wurde im Theoret.-Physikal. Institut der Universität Leipzig in den Jahren 1912 bis 1914 ausgeführt.

1) Der Dissertation ist überdies als Beleg eine tabellarische Anordnung der Versuchsergebnisse beigelegt.