Voltaspannung, Austrittsarbeit und Thermospannung[1].

Von G. Mönch in Erlangen.

Inhalt.

Seite

A. Überblick: Fragestellung, frühere Ergebnisse und Arbeitsrichtung 191

B. Experimenteller Teil: Beschreibungen und Ergebnisse der Versuche 202

I. Der Zusammenhang zwischen Austrittsarbeit und Voltaspannung 202

II. Temperatureinfluß auf die Voltaspannung der Metalle . 208

III. Die Temperaturabhängigkeit der Voltaspannung von Kupferoxydul 209

Anhang: Voltaspannung an Ag_2S 209

IV. Voltaspannung und Thermospannung des Cu_2O 210

Anhang: Ist die Thermospannung bestimmt durch die Temperaturabhängigkeit der Voltaspannung? . . . 210

V. Abhängigkeit der Voltaspannung von dem Spannungszustand einer Metalloberfläche 211

C. Wertung der Ergebnisse und Folgerungen 213

Fragestellung — Arbeitsrichtung.

Für die Frage der Kontaktspannungen ist nach den heutigen physikalischen Anschauungen die experimentelle Klärung des Zusammenhanges von Voltaspannung und den Konstanten, die den atomistischen Aufbau der Stoffe bestimmen, die wichtigste. Diese Konstanten sind der Atomabstand bezw. Atomvolumen und die Elektronenkonzentration bezw. die de Broglie-Wellenlänge. Die experimentellen Ergebnisse hierüber sind gering. Wie die Voltaspannung, so trotzt auch die lichtelektrische rote Grenzwellenlänge der nachprüfbaren Verknüpfung mit einer Material-

1) Erlanger Habilitationsschrift, eingereicht Oktober 1933.

konstante. Austrittsarbeit, Voltaspannung und Grenzwellenlänge teilen diese Eigenschaft. Die Beziehungen der drei Größen untereinander können durch das Experiment weit eher nachgeprüft werden.

Austrittsarbeit und Voltaspannung: Aus den Definitionen von „Austrittsarbeit“ und „Voltaspannung“ ergibt sich, wie nach thermodynamischer Betrachtungsweise[1]) gezeigt werden kann, die Differenz der Austrittsarbeiten zweier Metalle gleich der negativen Differenz der Voltaspannungen zwischen den gleichen Metallen. Forró und Patai[2]) können dieser theoretischen Aussage nur eine schwache Stütze bringen, Kösters Ergebnisse[3]) sind einwandfreier, aber (falls man überhaupt daran zweifelt) nicht die endgültig überzeugenden. Entscheiden kann erst der bisher unterlassene Versuch, der Voltaspannung und Austrittsarbeit für verschiedene Metalle gleichzeitig bestimmt.

Voltaspannung und rote Grenzwellenlänge: Die Gültigkeit des bekannten Zusammenhanges von Voltaspannung und Grenzwellenlänge ist von Millikan[4]) und Lukirsky u. Prileżaev[5]) bestätigt worden.

Austrittsarbeit und rote Grenzwellenlänge: Neuere vakuumtechnisch außerordentlich hochstehende Arbeiten[6]) bringen den experimentellen Beweis für den theoretisch zu erwartenden Zusammenhang von glühelektrisch bestimmter Austrittsarbeit und roter Grenzwellenlänge für eine größere Zahl Metalle.

Voltaspannung, Austrittsarbeit, Elektronenkonzentration und Temperatur.

Maxwell-Boltzmann-Statistik: Die Beziehung 1. zwischen der Voltaspannung (V_1, V_2) zweier metallischer Leiter, ihren Austrittsarbeiten (W_1, W_2) und Elektronenkonzentrationen

1) W. Schottky und H. Rothe, Hdb. f. Exper.-Phys. (Wien-Harms) **13** (2), 146, 1928.

2) M. Forró und E. Patai, ZS. f. Phys. **63**, 444, 1930.

3) H. Kösters, ZS. f. Phys. **66**, 807, 1930.

4) R. A. Millikan, Phys. Rev. (2) **18**, 236, 1921.

5) P. Lukirsky u. Š. Prileżaev, ZS. f. Phys. **49**, 236, 1928.

6) L. A. DuBridge, Phys. Rev. **31**, 236, 1928. — L. A. DuBridge und W. W. Roehr, Phys. Rev. **39**, 99, 1932; **39**, 866, 1932; **42**, 52, 1932. — E. H. Dixon, Phys. Rev. **37**, 60, 1931. — G. N. Glasoe, Phys. Rev. **37**, 102, 1931. — L. W. Morris, Phys. Rev. **37**, 1263, 1931.

(n_1, n_2), sowie der absoluten Temperatur (T) wurde bisher, selbst in der Zeit, als diese Formel für Metalle noch „berech-

$$1. \qquad \varepsilon(V_1 - V_2) = (W_2 - W_1) + kT \ln \frac{n_1}{n_2}$$

tigt“ erschien, experimentell nicht nachgeprüft. Die Schwierigkeit, eine Temperaturabhängigkeit der Voltaspannung festzustellen, liegt in der geringen Größe des zu erwartenden Effektes. Setzt man die Werte n_1 und n_2 für Blei und Eisen in obige Gleichung ein, (die Wahl dieser Metalle ist wegen des großen Unterschiedes der Elektronenkonzentration besonders günstig [1]), dann ändert sich die Voltaspannung bei einer Temperatursteigerung von 100° um etwa $^1/_{100}$ Volt. Der Versuch, einen derartig kleinen Unterschied bei einer Temperaturänderung des Versuchsmateriales um 100° nachzuweisen, dürfte keinen Erfolg versprechen, da die Änderung der Voltaspannungen durch Gaseinflüsse nach den Erfahrungen von Vieweg [2]), Dubois [3]), Mönch [4]), Kösters [5]) u. a. bis zu zwei Zehnerpotenzen größer sein kann, als durch den zu erwartenden Temperatureffekt.

Fermi-Dirac-Statistik: Nach der Fermi-Diracschen Statistik ist die Anwendung der Formel 1. für Metalle wegen vollständiger Entartung des Elektronengases nicht mehr berechtigt. Die sie ersetzende, von Sommerfeld [6]) berechnete Beziehung sieht im Hinblick auf eine experimentelle Nachprüfung noch ungünstiger aus. Sie lautet:

$$2. \qquad \varepsilon(V_1 - V_2) = (W_{a2} - W_{a1}) - (W_{i2} - W_{i1}),$$

worin W_i in erster Näherung gegeben ist durch:

$$3. \qquad W_i = \frac{h^2}{2m}\left(\frac{3n}{8\pi}\right)^{2/3}$$

(ε : Elementarquantum, m : Elektronenmasse, h : Planck sche Konstante, n : Elektronenkonzentration).

1) R. Fürth, ZS. f. Phys. **68**, 735, 1931.

2) R. Vieweg, Ann. d. Phys. **74**, 146, 1924.

3) E. Dubois, C.R. **184**, 1424, 1927; **186**, 1832, 1928; **189**, 93, 1929; **189**, 1260, 1929; Ann. de phys. (10) **14**, 627, 1930; Journ. de phys. et le Rad. (6) **8**, 104, 1927; **7** (2) 49, 1931.

4) G. Mönch, ZS. f. Phys. **47**, 522, 1928.

5) H. Kösters, ZS. f. Phys. **66**, 807, 1930.

6) A. Sommerfeld, ZS. f. Phys. **47**, 1, 1928. — Die Naturwissenschaften **15**, 825, 1927.

Diese erste Näherung ist temperaturunabhängig und von der Größenordnung 10 Volt. Eine exakte Nachprüfung der Größe W_i erscheint auf Grund der Betrachtungen von Bethe[1]) und Rosenfeld u. Witmer[2]) denkbar, die Meßgenauigkeit ist nach Rupp[3]) noch unzureichend.

Die zweite, temperaturabhängige Näherung für W_i ist:

$$4. \quad W_i = \frac{h^2}{2m}\left(\frac{3n}{8\pi}\right)^{\frac{2}{3}} - \frac{(2\pi mkT)^2}{24mh^2}\left(\frac{3n}{8\pi}\right)^{-\frac{2}{3}}$$

Hierin nimmt das zweite Glied zwar quadratisch mit der Temperatur zu, jedoch beträgt die Änderung von W_i bei 300° Temperatursteigerung nur etwa $5 \cdot 10^{-4}$ Volt. Nach den Ergebnissen der bisher veröffentlichten Arbeiten ist die Prüfung dieses Temperatureinflusses ausgeschlossen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der augenblickliche Stand der experimentellen Untersuchungen über Voltaspannungen weder im Ergebnis befriedigt, noch zu allzu großen Hoffnungen berechtigt.

Arbeitsrichtung.

Mit den Versuchen, die auf Grund noch näher auszuführender Betrachtungen unternommen wurden, verband sich die Erwartung, einen nicht unwesentlichen Beitrag zu folgenden fünf Fragen zu liefern.

I. Ist die Differenz der Austrittsarbeiten numerisch gleich der der Voltaspannungen?

II. Ist die Abhängigkeit der Voltaspannung von der Temperatur für Metalle beobachtbar und wie groß ist sie?

III. Ist die Abhängigkeit der Voltaspannung von der Temperatur für Halbleiter beobachtbar und wie groß ist sie?

IV. Wie ist der Zusammenhang zwischen Thermo- und Voltaspannung?

V. Läßt sich die Abhängigkeit der Voltaspannung von der Gitterkonstante bezw. von dem Atomvolumen feststellen?

---

1) H. Bethe, Die Naturwissenschaften **15**, 786, 1927.
2) L. Rosenfeld und E. E. Witmer, ZS. f. Phys. **49**, 534, 1928.
3) E. Rupp, Ergeb. d. exakt. Naturwiss. **9**, 79, 1930.

I. Ist die Differenz der Austrittsarbeiten numerisch gleich der der Voltaspannungen?

Forró und Patai[1]) und Kösters[2]) verglichen selbstgemessene Voltaspannungs-Differenzen mit den Unterschieden der Austrittsarbeiten, die sie Veröffentlichungen fremder Autoren entnahmen. Da die hier in Frage kommenden Größen sehr von Störschichten abhängen und somit große Schwankungen zeigen, ist den Folgerungen von Forró, Patai und Kösters keine allzu starke Beweiskraft zuzusprechen.

Eine Methode, die Austrittsarbeit und Voltaspannung an ein- und denselben Materialproben zu bestimmen gestattet, ist unschwer angebbar[3]). Ihre Beschreibung soll später den angeführten Ergebnissen unmittelbar vorangehen.

---

1) M. Forró und E. Patai, ZS. f. Phys. **63**, 444, 1930.

2) H. Kösters, ZS f. Phys. **66**, 807, 1930.

3) Die Skizze einer Anordnung zur Bestimmung von Austrittsarbeiten der glühenden Metalle M_1 und M_2 und der Voltaspannungsdifferenz derselben Metalle jedoch im kalten Zustand zeigt Fig. 1. Hierin sind I, II und III drei Zuführungsdrähte, zwischen denen Glühbänder der Metalle M_1 und M_2 ausgespannt sind und deren Austrittsarbeiten bestimmt werden sollen. B dient für die Bestimmung der Austrittsarbeit als Anode. (Da bei Verwendung eines Glühbandes die Emissionskurve, die an einer nur einseitig gegenüberstehenden Anode aufgenommen wird, eine mangelhafte Sättigung zeigt, muß A als Hilfsanode beigefügt werden.) D ist ein Glühdraht und sitzt auf gleichem Glassockel wie der als Blende wirkende Zylinder B. Der Sockel muß in der Röhre drehbar angeordnet sein, damit die Voltaspannung M_1/M_2 mit dem von D durch L nach M_1 bezw. M_2 fließenden Elektronenstrom nach der Kennlinienmethode gemessen werden kann. (Die Verwendung eines Fettschliffes ist hierbei, sofern man sich der von Leybold gelieferten Apiezon-Fette bedient, ohne allzu große Bedenken zulässig.) Der Nachteil dieser Anordnung ist außer dem zeitlichen Nacheinander der Messungen noch die Ungleichheit der Temperatur, bei der Austrittsarbeit und Voltaspannung bestimmt wird. Eine Möglichkeit, die auch diesen Fehler behebt, soll später angegeben werden.

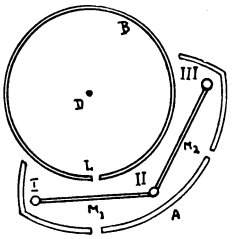

Fig. 1 Skizze einer Anordnung zur Bestimmung von Austrittsarbeiten und der Voltaspannungsdifferenz derselben Metalle M_1 u. M_2.

II. und III. Ist die Abhängigkeit der Voltaspannung von der Temperatur beobachtbar und wie groß ist sie?

Betrachtet man die Thermospannung als bedingt durch die Temperaturabhängigkeit der Voltaspannung, dann müßten Stoffe mit großer Thermokraft für den Nachweis einer Temperaturabhängigkeit der Voltaspannung die brauchbarsten sein. Für zwei Metalle wäre hiernach (entsprechend der Formel 4) nur eine geringe Abhängigkeit ihrer Voltaspannungsdifferenz zu erwarten. Dagegen müßte sich das elektronisch leitende Kupferoxydul wegen der großen Thermokraft des Elementes Cu_2O-Metall für den Nachweis des Temperatureinflusses auf die Voltaspannung gut eignen. Cu_2O/Cu hat nach Vogt[1]) eine Thermospannung von etwa 1 mV/Grad. Bei 100° Temperaturunterschied würde sich eine Spannung von 0,1 Volt ergeben, die als Änderung der Voltaspannung an sich leicht nachweisbar wäre. Wie jedoch die Gasbeladungen das Ergebnis beeinflussen würden, ließ sich vorerst nicht abschätzen. Sie konnten unter Umständen jede quantitative Messung unmöglich machen.

Die theoretische Abhängigkeit der Voltaspannung von der Temperatur ist durch Formel 2. gegeben, wenn wir der Rechnung Sommerfelds[2]) entsprechend

5. $$W_i = k\,T \ln A \qquad \text{setzen.}$$

Zusammen mit der Beziehung für $A = \frac{nh^3}{G}(2\pi m k T)^{-\frac{3}{2}}$

(n: Elektronenkonzentration, h: Wirkungsquantum, G = 2: Statistisches Gewicht, m: Elektronenmasse, k: Boltzmann Konstante, T: absolute Temperatur) folgt aus 5., wenn sie für zwei Cu_2O-Proben mit den Elektronenkonzentrationen n_1 und n_2 angewandt wird, unter Berücksichtigung von 2., die oben mit 1. bezeichnete Formel:

$$\varepsilon\,(V_1 - V_2) = W_{a2} - W_{a1} + kT \ln \frac{n_1}{n_2}$$

---

1) W. Vogt, Ann. d. Phys. **7**, 183, 1930.
2) A. Sommerfeld, ZS. f. Phys. **47**, 31, 1928.

Die mit der Temperaturdifferenz ΔT zu erwartende Änderung der Voltaspannung Θ entspricht also dem schon von Drude[1]) errechneten Ausdruck:

$$6. \qquad \Theta = \frac{k}{\varepsilon} \Delta T \ln \frac{n_1}{n_2},$$

sofern man W_a als unabhängig von der Temperatur ansieht.

Während nun bei den Metallen, für die wohlbemerkt 6. nicht gilt, die Elektronenkonzentration als konstant anzunehmen ist, muß sie bei Halbleitern wie z. B. für Cu_2O als exponentiell mit der Temperatur veränderlich angesetzt werden, da sich die Leitfähigkeit exponentiell mit der Temperatur ändert[2]).

Dieses gegenüber den Metallen unterschiedliche Verhalten macht, wie wir später ausführlich sehen werden, das Kupferoxydul für den Nachweis der Temperaturabhängigkeit der Voltaspannung besonders geeignet.

IV. Volta- und Thermospannung des Kupferoxyduls.

Die Beziehung für die Abhängigkeit der Thermospannung Θ von der Elektronenkonzentration n und der Temperatur T für Cu_2O lautet im wesentlichen[3]):

$$7. \qquad \Theta = -\frac{k}{\varepsilon}\Big[T \ln n\Big]_P^Q + \frac{k}{\varepsilon}\int_P^Q \ln n \frac{\partial T}{\partial x}\, dx$$

Das Integral ergibt über die Strecke $x = P$ bis $x = Q$ ausgewertet, die Spannungsdifferenz zwischen P und Q. Da für Cu_2O die Elektronenkonzentration von der Temperatur abhängt, so hat das Integral 7. schon einen endlichen Wert, wenn es nur über ein Stück Cu_2O erstreckt wird, dessen Enden ungleiche Temperaturen aufweisen. Im Gegensatz hierzu wird für ein Metall das Integral über eine ungleich temperierte Teilstrecke ein und desselben Leiters in der klassischen wie in der nichtklassischen Darstellung gleich null. Setzen wir der Ein-

1) P. Drude, Ann. d. Phys. **1**, 566, 1900; Seite 595, Formel (69).
2) W. Vogt, Ann. d. Phys. **7**, 183, 1930.
3) Formel [4], ZS. f. Phys. **83**, 250, 1933.

fachheit wegen die Elektronenkonzentration n für Cu_2O in der Form $n = n_0 \, e^{-\frac{\varepsilon V}{kT}}$ an[1]), so ist die Spannung an den Enden des Cu_2O-Stückes, in dem die Temperatur von T″ bis T′ abfällt, von der Größe:[2])

$$8. \qquad \Theta_{\text{Volt}} = -2{,}303 \, V_{\text{Volt}} \log \frac{T''}{T'},$$

also etwa 0,1 Volt für 100° Temperaturdifferenz und dem mittleren Wert für V von 0,3 Volt.

Bei dem Halbleiter Cu_2O kommt es demnach sehr darauf an, ob man eine Voltaspannung an der Oberfläche eines Stückes mißt, während im Halbleiter ein Temperaturgefälle besteht oder ob sich das ganze Stück auf gleicher Temperatur befindet und das Temperaturgefälle in das den Halbleiter tragende Metallstück verlegt ist.

Dieser theoretisch geforderte Unterschied zwischen Halbleiter und Metall wird sich experimentell nachprüfen lassen und auch zu der Frage, ob man allgemein die Thermospannung als den temperaturabhängigen Teil der Voltaspannung bezeichnen darf, einen Beitrag liefern.

V. Voltaspannung und Atomabstand bezw. Atomvolumen.

Nach einer Berechnung Schottkys[3]) ist in Übereinstimmung mit der Betrachtung Gapons[4]) die Austrittsarbeit proportional dem reziproken Atomabstand 1/d. Eine neuere Rechnung von Tamm und Blochinzev[5]) führt zur Proportionalität der Austrittsarbeit mit $(z/v)^{\frac{1}{3}}$ bezw. $(z/v)^{\frac{2}{3}}$. (z: Anzahl der freien Elektronen pro Atom, v: Atomvolumen.) Eine persönliche Stellungnahme zu diesen theoretischen Ergebnissen und ihren experimentellen Grundlagen wurde bereits mit Herrn Distler[6]) zusammen veröffentlicht.

---

1) Näheres bei E. Engelhard, Ann. d. Phys. **17**, 501, 1933.

2) Formel [7], ZS. f. Phys. **83**, 251, 1933. Das erste Glied wurde wegen seiner geringen Größe vernachlässigt.

3) W. Schottky, ZS. f. Phys. **14**, 73, 1923 (Anm.).

4) E. N. Gapon, ZS. f. Phys. **44**, 535, 1927.

5) Ig. Tamm und D. Blochinzev, ZS. f. Phys. **77**, 774, 1932; Phys. ZS. d. Sowjetunion **3**, 170, 1933.

6) W. Distler und G. Mönch, ZS. f. Phys. **84**, 271, 1933.

Nach neueren Betrachtungen[1]) wird die „effektive“ Austrittsarbeit w,

$$w = W - \zeta = \begin{Bmatrix} 16{,}3 \\ 12{,}6 \end{Bmatrix} \left(z\frac{D}{A}\right)^{\frac{1}{3}} - 27\left(\frac{D}{A}\right)^{\frac{2}{3}},$$

worin W den Oberflächen-(W_a) und ζ den Raumbestandteil (W_i) bedeuten (z : Maximalvalenz, D : Dichte, A : Atomgewicht, L : Loschmidtsche Zahl). Die Konstante 16,3 gilt für die Elemente Na, Ag, Zn, Cu, Au, Pt, Co, Ni, Fe u. a., 12,6 für K, Ca, Pb, Sn, Ta, W, Mo u. a.; außerdem kann $(\frac{D}{A}L)^{\frac{1}{3}} = 1/d$ gesetzt werden (d : Atomabstand).

Zur Nachprüfung einer Änderung der Austrittsarbeit mit der Gitterkonstante eignen sich Umwandlungs- und Schmelzpunkte. Derartige Versuche wurden von Wehnelt und Seiliger[2]), Goetz[3]), Ameiser[4]) und Siljeholm[5]) unternommen und Änderungen an den erwarteten Stellen beobachtet.

Grundsätzlich bestehen keine Schwierigkeiten, auch Messungen von Voltaspannungen an Umwandlungs- und Schmelzpunkten von Metallen oder Halbleitern durchzuführen, wenn sie nur bei Temperaturen liegen, bei der das Material noch keine Emission zeigt.

Statt der Verwendung von Schmelz- und Umwandlungspunkten mit sprunghaften Änderungen der Gitterkonstanten wäre es von Interesse, andere physikalische Vorgänge zu benutzen, bei denen sich die Änderung des Atomabstandes stetig vollzieht.

Eine derartige Änderung ist bei der Dehnung eines Metalles vorstellbar, wenn dabei vorwiegend keine Bewegung von Einzelkristallen der kristallinen Struktur gegeneinander vorkäme. Die Dehnung dürfte dabei nur innerhalb der Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes erfolgen. Eine andere Frage ist, ob auf diesem Wege eine genügend große Beeinflußung des Gitterabstandes erreicht werden kann, um einen noch meßbaren Effekt hervorzubringen.

---

1) F. Rother und H. Bomke, ZS. f. Phys. **86**, 231, 1933; **87**, 806, 1934. — A. Sommerfeld, Die Naturwissenschaften **22**, 43, 1934.

2) A. Wehnelt und S. Seiliger, ZS. f. Phys. **38**, 443, 1926.

3) A. Goetz, ZS. f. Phys., **53**, 494, 1929.

4) I. Ameiser, ZS. f. Phys. **69**, 111, 1931.

5) G. Siljeholm, Ann. d. Phys. **10**, 178, 1931.

Unter der Annahme, daß die Dehnung in der ausschließlichen Entfernung der Atome voneinander besteht, erhält man rechnerisch Größen, die als Voltaspannung gut nachweisbar wären. Es würde bei einer Austrittsarbeit von 4 Volt eine Dehnung von 0,5 % genügen, um einen Effekt von 0,02 Volt zu erreichen. Die Empfindlichkeit der Messung läßt sich gut um eine Zehnerpotenz steigern, die reversible Dehnung von 1 % in einer Richtung an homogenen Metallen knapp herstellen.

Wäre jedoch die Größe der Austrittsarbeit nicht vorwiegend durch die einatomige Oberflächenschicht, sondern etwa durch den räumlichen Aufbau mehrerer Atomschichten bedingt, dann wird jede Veränderung der Metallstruktur durch Dehnung ohne erheblichen Einfluß auf die Austrittsarbeit sein. Denn diese mechanische Maßnahme kann selbst in dünnen Oberflächenschichten weder das Atomgewicht, noch die Dichte wenn überhaupt, dann nicht stark beeinflussen.

Bisherige Veröffentlichungen.

Die Arbeiten über die hier aufgeworfenen Fragen schließen sich der Reihe der bisherigen Untersuchungen in bewußter Zielsetzung an. Es wurden:

1. Die Meßmethode für Voltaspannungsdifferenzen entwickelt [1]).
2. Die Ergebnisse mit dieser Methode verglichen mit der bis dahin vorwiegend üblichen Kelvinmethode [2]).
3. Die Verwendung der beiden Meßverfahren an Halbleitern geprüft [3]).

An diese Veröffentlichungen reihen sich einige mit derselben Arbeitsrichtung eng verknüpfte Untersuchungen wie:

4. Zur Theorie der Thermospannungen zwischen Halbleiter und Metall auf Grund der Fermischen Statistik [4]).
5. Über Thermo- und Voltaspannungen des Kupferoxyduls [5]).
6. Austrittsarbeit und Atomabstand [6]).

---

1) G. Mönch, ZS. f. Phys. **47**, 522, 1928.
2) G. Mönch, ZS. f. Phys. **65**, 233, 1930.
3) G. Mönch, ZS. f. Phys. **68**, 244, 1931.
4) G. Mönch, ZS. f. Phys. **83**, 247, 1933.
5) G. Mönch und St. Stechhöfer, ZS. f. Phys., **84**, 59, 1933.
6) W. Distler und G. Mönch, ZS. f. Phys. **84**, 271, 1933.

In einer weiteren kleinen Ankündigung[1]) wurden die Ergebnisse der erst hier ausführlich zu besprechenden Versuche z. T. vorweggenommen.

Die experimentellen Ergebnisse der fünf vorhergehend skizzierten Untersuchungen werden in fünf Folgen als 2.—6. Teil veröffentlicht, davon der 2. und 6. in den Erlanger Berichten, die übrigen in der Zeitschrift für Physik.

Erlangen, Physikalisches Institut der Universität. Juni 1934.

---

1) G. Mönch, Die Naturwissenschaften **21**, 367, 1933.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1933-1934

Band/Volume: 65-66

Autor(en)/Author(s): Mönch G.

Artikel/Article: Voltaspannung, Austrittsarbeit und Thermospannung. Inhalt. 191-201