6. *Gleitbüschel auf Flüssigkeitsoberflächen; von Max Toepler.*

Je größer bei Gleitbüschelbildung auf Flüssigkeitsoberflächen die Ergiebigkeit der Stromquelle (angewendete Kapazität) ist, und je kleiner die Leitfähigkeit der Flüssigkeit, um so längere Zeit wird dem Büschel zur Ausbildung bleiben, bis man im Grenzfalle von einem *Dauergleitbüschel* sprechen kann. Ganz analog geht ja auch pulsierendes Glimmen, die pulsierende Büschelentladung oder auch Funkenstrom in freier Luft bei hinreichender Stromintensität und genügendem Zuleitungswiderstande zu den Elektroden schließlich in Dauererscheinungen — Dauerglimmen, Dauerbüschel, Büschellichtbogen, Lichtbogen — über. An diesen *Dauerentladungen* lassen sich Untersuchungen und Messungen verschiedenster Art naturgemäß viel leichter ausführen als an stoßweise pulsierenden, sehr kurz dauernden Entladungsprozessen.

Leider stößt die Herstellung von Dauergleitbüscheln auf experimentelle Schwierigkeiten, z. B. die Notwendigkeit der Anwendung ungewöhnlich großer, hohe Spannungen vertragender Kapazitäten. Die mir verfügbare Kapazität, 74 große Leidener Flaschen von der Gesamtkapazität 310 000 cm (0,34 Mikrof.), welche sich bis 25 000 Volt beanspruchen ließen, genügen doch nur zu einer Annäherung der Entladungsvorgänge an den gewünschten Dauerzustand. Immerhin lassen sich eine Reihe Gesetze für diesen aus den ausgeführten Messungen entnehmen.¹⁾

1) *Beständig* andauernde Büschel sind nur auf *festen Halbleitern* zu erhalten; auf Flüssigkeiten wird die störungsfreie Dauer durch die ausgelösten Flüssigkeitsströmungen nur auf Bruchteile einer Sekunde beschränkt; für die schlechtestleitende Flüssigkeit kamen meine Beobachtungen bei größter Kapazität dieser Grenze schon recht nahe.

I. Messungen.

A. *Versuchsanordnung.* Wie bei früheren Messungen von Gleitbüschelbildung auf Flüssigkeiten¹⁾ war zwischen zwei Glasplatten von 0,7 cm Stärke, 120 cm Länge und 7 cm Breite ein Gummischlauch *rr* derart gepreßt, daß ein 1 cm breiter

Fig. 1.

Trog entstand (vgl. Fig. 1). In diesen wurde zunächst Quecksilber und dann darauf die Flüssigkeit (stets destilliertes Wasser mit wechselnden Zusätzen von Kochsalz)

gegossen. Der eine Gleitbüschelpol p_1 berührte die Flüssigkeitsoberfläche, der andere p_2 führte durch sie hindurch ins Quecksilber; beide Pole (Platinstifte) standen vom zugehörigen Trogende je 2 cm ab, ihr gegenseitiger Abstand $p_1 p_2$ betrug 110 cm. Als Trogtiefe wurde 4,0 cm gewählt, kleinere Flüssigkeitstiefen wurden zu leicht durchschlagen unter Zertrümmerung der Glasplattenwände.

Fig. 2a.

Fig. 2b.

In Fig. 2a ist die für Kapazitäten vom Gesamtbetrage der Anordnung bis 60 000 cm benutzte Versuchsanordnung skizziert:

1) Vgl. M. Toepler, Ber. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch. 1907. p. 422; Physik. Zeitschr. 8. p. 743 u. 919. 1907.

M	bedeutet eine 60 plattige Toeplermaschine,
F	„ Primärfunkenstrecke zwischen Messingkugeln von je 6 cm Durchmesser,
C_1 u. C_2	„ zwei gleiche Leidener Flaschenbatterien,
W	„ Wasserwiderstand von ca. $5 \cdot 10^6$ Ohm,
F'	„ Kontrollfunkenstrecke, ebenfalls zwischen Messingkugeln von je 6 cm Durchmesser.

Sollte die Kapazität der Leidener Flaschen voll ausgenutzt werden, so wurde die Anordnung der Fig. 2b benutzt.

Beide Anordnungen liefern plötzlich vom Augenblicke des Funkenausbruches F ab, eine Spannungsdifferenz zwischen $p_1 p_2$, welche nach Maßgabe der Leitfähigkeit im Troge abklingt (W kommt nur für die Batterieladung in Frage, da es stets groß war gegen den Widerstand zwischen $p_1 p_2$). Es bildet sich von p_1 aus nach p_2 zu ein Gleitbüschel.

B. Büschellänge in Abhängigkeit von Spannung und Leitfähigkeit. — In nachstehenden Tabellen seien gemessene Gleitbüschellängen zusammengestellt, wie dies schon für die Trogtiefe 6 cm und 2 cm am letzt zitierten Orte geschehen ist. Vorliegende Messungen unterscheiden sich außer durch die Trogtiefe von den genannten noch darin, daß die zwischen $p_1 p_2$ wirklich erreichte Spannung P' durch Messung von F' kontrolliert wurde und daß den einzelnen Bestimmungen durch größere Zahl der Einzelbeobachtungen etwa die doppelte Sicherheit zukommt.

Tabelle I.

Versuchsanordnung der Fig. 2a. Trogbreite 1,0 cm, Trogtiefe 4,0 cm.
 p_1 Anode, d. h. positive Gleitbüschel.

Leitfähigkeit λ der Flüssigkeit (Hg = 10630)	F in cm	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	$P:P'$
	P in Kilovolt	8,8	17,1	25,2	32,6	39,7	46,4	52,8	

1. Batteriekapazität 20000 cm

$13,8 \cdot 10^{-6}$	1,5	8,1	19,8	37,5	59,5	81,5	101	—
$39,8 \cdot 10^{-6}$	2,5	12,5	26,5	42	61,5	82	—	1,00
$336 \cdot 10^{-6}$	3,3	11,0	22,5	33	45,5	58	68	1,00
$5370 \cdot 10^{-6}$	1,6	6,3	10,5	14	17	20	22,5	1,14
$21\ 000 \cdot 10^{-6}$	1,2	3,6	5,6	7,7	9,6	11,2	12,6	1,35
$83\ 000 \cdot 10^{-6}$	0,6	1,6	2,3	3,0	4,2	5,5	6,2	1,85
$215\ 000 \cdot 10^{-6}$	—	—	1,0	1,4	1,9	2,3	2,8	2,51

Tabelle I (Fortsetzung).

Leitfähigkeit λ der Flüssigkeit (Hg = 10630)	F in cm P in Kilovolt	0,25 8,8	0,50 17,1	0,75 25,2	1,00 32,6	1,25 39,7	1,50 46,4	1,75 52,8	$P:P'$
--	------------------------------	-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------

2. Batteriekapazität 57000 cm.

17,4 . 10 ⁻⁶		1,8	10,8	26,8	49,3	82,4	—	—	—
37,1 . 10 ⁻⁶		3,4	14,5	34,5	57	84	104	—	1,00
39,8 . 10 ⁻⁶		3,3	16,5	36	57	85	—	—	—
336 . 10 ⁻⁶		4,1	17,5	33	48	65	84	97	1,00
5370 . 10 ⁻⁶		2,5	10	16,6	22,5	28	32,5	37	1,15
21 000 . 10 ⁻⁶		2,3	6,3	10,0	13,2	16,2	19	21	1,36
83 000 . 10 ⁻⁶		1,2	2,9	4,5	5,8	7,6	9,6	11,0	1,90
215 000 . 10 ⁻⁶		0,5	1,1	1,9	2,6	3,2	4,0	5,3	2,54

Tabelle II.

Versuchsanordnung der Fig. 2 b.

Trogbreite 1,0 cm, Trogtiefe 4,0 cm.

 p_1 Anode, d. h. positive Gleitbüschel.

Leitfähigkeit λ der Flüssigkeit (Hg = 10630)	F in cm P in Kilovolt	0,25 8,8	0,35 12,3	0,50 17,1	0,65 22,0	0,75 25,2	$P:P'$
--	------------------------------	-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------

Batteriekapazität 310000 cm

7,15 . 10 ⁻⁶		0,9	2,4	6,5	14,5	22	—
9,53 . 10 ⁻⁶		—	3,3	8,3	19,0	—	—
22,1 . 10 ⁻⁶		2,5	—	15,8	32,5	45	—
52,3 . 10 ⁻⁶		4,6	—	34,9	63	85	—
248 . 10 ⁻⁶		13,2	—	44,5	68	83	1,00
5000 . 10 ⁻⁶	beobachtet	11,6	—	26	37	42	1,10
	berechnet (Faktor 1,1)	12,8	—	28,6	41	46	—
215 000 . 10 ⁻⁶	beobachtet	1,6	—	3,3	—	4,7	2,5
	berechnet (Faktor 2,5)	4,0	—	8,3	—	11,8	—

In Figg. 3 und 4 sind als Abszissen die Logarithmen der Leitfähigkeit λ gewählt, als Ordinaten die Gleitbüschellängen

eingetragen und die Werte für je gleiche Kapazität und Spannung zu Kurvenzügen verbunden. Fig. 3 gilt für ver-

Fig. 3.

Fig. 4.

schiedene Spannungen bei gleicher Kapazität, Fig. 4 für verschiedene Kapazitäten aber gleiche Spannung.

C. *Korrektionsfaktor $P:P'$* . Beide Figuren geben für große Leitfähigkeit die jeweils mit dem Faktor $P:P'$ korrigierten Werte. In den Tabellen findet sich immer für bestimmte Leitfähigkeit nur ein einziges Verhältnis angegeben. Dies genügt, da zahlreiche Messungen zeigten, daß dies Verhältnis (innerhalb der Versuchsunsicherheitsgrenzen) für bestimmtes λ unabhängig vom Absolutwerte von P ist. Sobald $P:P'$ über 1 hinauswächst, ist also die durch p_1 abfließende Elektrizitätsmenge während des Spannungsanstieges in p_1 schon so groß, daß überhaupt nicht mehr die volle Spannung P erreicht wird, d. h. die Plötzlichkeit des Spannungsanlegens läßt bei dem gewählten Mechanismus schließlich zu wünschen übrig.

D. *Spannungsmessung längs des Gleitbüschels.* Es sei die Funkenstrecke F' nicht zwischen p_1 und p_2 , sondern zwischen p_2 und eine Platinelektrode p' , welche zwischen p_1 und p_2 irgendwo die Flüssigkeitsoberfläche berührt (vgl. die schematische Fig. 5) geschaltet.

Fig. 5.

Solange der Abstand $p_1 p'$ größer ist als die Gleitbüschellänge, also p' sich jenseits des Büschelkopfes nach p_2 zu befindet, kann man F' bis auf etwa 0,02 cm verkleinern, ohne daß bei F' irgendwelche Funken sich bilden. Die Flüssigkeitsoberfläche nimmt also zwischen p_2 und dem Büschelende bis auf unwesentlich kleine Beträge die Spannung von p_2 an.

Bringt man bei ungeändertem F (ungeänderter Hauptspannung P an p_1), d. h. ungeänderter Gleitbüschellänge den Pol p' an irgend eine Stelle des Büschels, so sieht man, daß solange F' einen bestimmten Wert überschreitet, die Gleitbüschellänge durch Anbringung des Poles p' nicht wesentlich geändert wird; es wird ja auch nur das mit p' verbundene kleine (also kapazitätsarme) Leitungsstück geladen. Die *größte* Spannung, welche zwischen p' und p_2 während der Gleitbüschelbildung im Gleitbüschel an der Stelle p' herrscht, kann bestimmt werden, indem man F' langsam so lange verkleinert, bis zum ersten Male ein Funken bei F' (und natürlich damit ausgelöst ein Gleitfunken zwischen p_1 und p') erscheint.

Fig. 6.

Bei ungenügender Kapazität erhält man so durch Messung von F' an verschiedenen Stellen längs des Büschels die *Einhüllende* der Spannungskurven, welche längs des wachsenden Gleitbüschels nacheinander während des Wachsens herrschen (vgl. Fig. 6).

Bei genügender Kapazität geht diese Einhüllende naturgemäß über in die Spannungskurve längs des Dauerbüschels.

Es genüge, in Fig. 7 einige derartige einhüllende Kurven für eine bestimmte Primärspannung ($F = 1,50$ cm, entsprechend 46,4 K.V.) und für bestimmte Kapazität (57000 cm) dar-

zustellen; die beobachteten Werte F' sind markiert. Für die große Kapazität von 0,34 Mikrof. erhält man bei Annäherung

an *Dauerbüschel* in gleicher Weise Kurven, bei welchen die Spannung p recht angenähert nach dem Gesetze

$$p^3 = \frac{P^3}{f} \cdot x$$

E. *Grenze genügender und ungenügender Kapazität.* Die Tabellen und Figg. 3 und 4 zeigen, daß sich mit wachsender Leitfähigkeit zwei Gebiete von ganz verschiedenem Verhalten (Ansteigen und Abfallen der Länge) unterscheiden lassen — Gebiete genügender und ungenügender Kapazität. Vor Eingehen auf die uns hier weiterhin allein interessierenden Gesetze des ersteren Gebietes sei für dieses auch noch auf anderem Wege eine Grenze zu ziehen gesucht.

Als äußersten Fall von *Dauerbüschel* wird man den bezeichnen können, bei dem während der vollen Gleitbüschelbildung die Spannung nur um 3 Proz. heruntergeht, die erreichte Büschellänge also um höchstens 10 Proz. von der maximalen abweicht. Aus den Messungen der Dauer von Gleitfunkenbildung auf Platten mit der Schlierenmethode folgt¹⁾, daß die Gleitbüschelbildung mindestens 10^{-6} Sek. erfordert. Nimmt man zur Grenzberechnung ferner an, daß während dieser Zeit längs

1) M. Toepler, Ann. d. Phys. **21**. p. 212, Fig. 10. 1906.

der ganzen größten Büschellänge die Spannung des Poles p_1 auf der Flüssigkeitsoberfläche aufliegt, so läßt sich für jede Leitfähigkeit die größte Büschellänge, für welche diese Bedingungen bei bestimmter Kapazität und Spannung nicht überschritten werden, berechnen. Die Kurve AB in Fig. 3 gibt diese Grenze für 310000 cm. Man sieht, daß diese die gezeichneten Kurven nahe dem oberen Ende des Anstieges schneidet, wie zu erwarten stand.

Die Kurve AB verbindet Punkte, für welche $f \cdot \lambda$ eine Konstante ist. Ein Blick auf Fig. 3 zeigt die Gültigkeit des mit den oben erörterten Grenzbedingungen engstens zusammenhängenden Satzes: Die bei gleicher Kapazität für verschiedene Spannungen erreichbare *größte Gleitbüschellänge ist der Leitfähigkeit der Bahnlängeneinheit umgekehrt proportional*. Weiter folgt gleichfalls aus der Parallelität der Verbindungslinie der Maxima für f mit der Kurve AB , daß die zum Erreichen der maximalen Länge nötige Zeit nahezu unabhängig von der Länge f (bzw. der benutzten Spannung f^n) ist.

II. Die Gesetze des Gleitbüschels von genügend großer Existenzdauer.

Für ein dauernd bestehendes Gleitbüschel lassen sich eine Reihe interessanter Beziehungen aufstellen und durch Vergleich mit den Beobachtungen Einblicke in die Gesetze desselben gewinnen.

Vom Büschelende aus gesehen wächst die Spannung längs des Büschels an. Das Gesetz dieses Anwachsens sei

$$(1) \quad p = \varphi(x)$$

bezeichnet. Es sei die Trogtiefe so klein, daß man annehmen kann, die Strömung in der Flüssigkeit erfolge überall *senkrecht* durch die Schicht, von der Oberfläche (dem Büschel) zur Quecksilberunterlage. Dann fließt an jeder Stelle x aus der Büschellängeneinheit der vertikale Strom

$$(2) \quad i = p \cdot \frac{\lambda}{\tau} \cdot b,$$

wo p die Spannung an der Stelle x , λ die Leitfähigkeit der Flüssigkeit, τ die Trogtiefe, b die Trogbreite bedeutet.

Es sei b speziell stets gleich 1 cm gewählt.

An der gleichen Stelle x muß dann *horizontal* längs der Flüssigkeitsoberfläche von x nach dem Büschelende zu dauernd der Strom J fließen, wo

$$(3) \quad J = \int_0^x i \, dx.$$

Dieser Strom J wird getrieben durch das Gefälle Δp von p längs der Flüssigkeitsoberfläche.

Der Widerstand W der Längeneinheit des Büschels an der Stelle x wäre zu definieren aus

$$(4) \quad W = \frac{\Delta p}{J} = \frac{\tau}{\lambda} \cdot \frac{\varphi'(x)}{\int_0^x \varphi(x) \, dx}.$$

Durch Messung der Spannung p an verschiedenen Stellen des Dauerbüschels (also von $\varphi(x)$), wie oben in Abschnitt I, D. geschildert (vgl. Fig. 7), läßt sich also bei Kenntnis der Leitfähigkeit der Bahnlängeneinheit (d. h. von λ/τ) ohne weiteres W finden, wohl die einfachste Methode zur Bestimmung von Widerständen im Büschelstiele. Bei dem noch nicht völligen Genügen der Kapazität erscheint es jedoch zweckmäßig, Gesetze für W nicht auf einzelne Messungen, sondern auf die *allgemeinen* für angenähert hinreichende Kapazität geltenden *Beziehungen* zu gründen.

Die Beobachtungen und Messungen zeigten, daß:

- die Büschellänge f proportional ist der Leitfähigkeit λ ,
 „ „ „ f umgekehrt proportional der Trogtiefe τ ,
 „ „ „ f proportional der *dritten* Potenz¹⁾ der Spannung P am Pole p_1 .

Also gilt

$$(5) \quad f = \kappa \cdot \frac{\lambda}{\tau} \cdot P^3.$$

1) Wie aus den in vorliegender Arbeit mitgeteilten Messungen hervorgeht, gehört die früher (vgl. Physik. Zeitschr. l. c. und Berichte der Deutsch. Physik. Gesellschaft l. c.) behauptete Proportionalität mit der *zweiten* Potenz der Spannung noch dem *Übergangsgebiete* von ungenügender zu genügender Kapazität an.

Ferner zeigten die Beobachtungen, daß p vom Büschelende aus nach dem gleichen Gesetze zum Büschelanfange zu aufsteigt, daß also auch

$$(6) \quad x = \kappa \cdot \frac{\lambda}{\tau} \cdot p^3$$

ist, so daß erfahrungsgemäß

$$(7) \quad p = \varphi(x) = \left(\frac{\tau}{\kappa \cdot \lambda} \right)^{1/3} \cdot x^{1/3}$$

wird. Hieraus folgt

$$(8) \quad J = \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{\lambda^2}{\tau^2 \cdot \kappa} \right)^{1/3} \cdot x^{4/3},$$

$$(9) \quad \Delta p = \frac{1}{3} \left(\frac{\tau}{\kappa \cdot \lambda} \right)^{1/3} \cdot x^{-2/3}$$

und

$$(10) \quad W = \frac{4}{9} \cdot \frac{\tau}{\lambda} \cdot x^{-2}.$$

Der Widerstand im Büschelstiel ist umgekehrt proportional der Leitfähigkeit der Bahnlängeneinheit ($\lambda : \tau$) und umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes vom Büschelkopfe.

Will man dieses Widerstandsgesetz mit den sonst gefundenen Beziehungen für Funkenwiderstände und ähnliche Größen vergleichen, so ist es zweckmäßig, dieses auf die hier übliche Form

$$(11) \quad W = \frac{a}{J^n}$$

zu bringen.

Man erhält aus (8) und (10)

$$(12) \quad W = \frac{1}{2 \cdot \sqrt[3]{3 \kappa}} \cdot \frac{1}{J^{3/2}}.$$

Als Charakteristik würde hiernach für den Büschelstiel (*Dauerbüschel*) folgen

$$(13) \quad V = \frac{1}{2 \sqrt[3]{3 \kappa}} \cdot \frac{1}{\sqrt{J}} = \frac{a}{\sqrt{J}},$$

wo V das Gefälle (Volt:cm), J die Stromstärke und κ und a Konstanten bedeuten.

Die Charakteristik verläuft umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Stromstärke.

Schon öfters habe ich auf die Identität eines Büschelstielstückes mit einem Stück Büschellichtbogens¹⁾ (des von mir

1) M. Toepler, Wied. Ann. 63. p. 109. 1897; 66. p. 660. 1898.

zuerst in freier Luft hergestellten Glimmstromes) hingewiesen. Für letzteren hat Kaufmann¹⁾ dann die Gültigkeit eines Gesetzes genau wie (13) gefunden (V proportional $1/\sqrt{J}$), während Stuchtey²⁾ seine Messungen am Büschellichtbogen durch die nicht allzusehr abweichende Beziehung V proportional $1:J^{0,431}$ wiedergibt.

Gleitbüschel und Büschellichtbogen besitzen demnach die gleiche Charakteristik.

Aus der Kenntnis der Charakteristik des Büschellichtbogens lassen sich natürlich auch umgekehrt die Gesetze des Gleitbüschels ohne weiteres ableiten.

Zu diesen allgemeinen Ergebnissen ist schließlich noch einiges über den Wert der Konstanten a hinzuzufügen.

Aus vorliegenden Messungen würde sich a zu etwa 350 für das Beobachtungsbereich von ca. 0,01 bis 5 Amp. Stromstärke J im Gleitbüschelstiele ergeben.³⁾

Aus meinen Messungen über Büschellichtbogen ergibt sich für 0,5 bis 2 Milliamp. a zu 100 bei Bogenlängen bis 1 cm.

Aus den Angaben von Stark⁴⁾ rechnet sich a zu 125 bis 150 (Stromstärken 9,6 bis 62 Milliamp.).

1) W. Kaufmann, Physik. Zeitschr. 4. p. 578. 1903.

2) C. Stuchtey, Diss. Bonn 1904.

3) Im einzelnen erhält man aus Tab. II vermittelt x aus Gleichung (5)

für $\lambda = 7,15 \cdot 10^{-6}$ a zu 336, 395, 339, 331, 329 und

für $\lambda = 9,53 \cdot 10^{-6}$ a zu —, 389, 346, 334, —. Die Werte

für $\lambda = 22,1 \cdot 10^{-6}$ a zu 354, —, 382, 388, 405

zeigen schon beginnendes Ungenügen der verwandten Kapazität. Die größten Stromstärken J im Büschelstiele werden [in Gleichung (8) ist $x = f$ zu setzen]:

für $\lambda = 7,15 \cdot 10^{-6}$ 0,010; 0,044; 0,149; 0,427; 0,743 Amp.

für $\lambda = 9,53 \cdot 10^{-6}$ — ; 0,080; 0,254; 0,747; — „

für $\lambda = 22,1 \cdot 10^{-6}$ 0,891; — ; 1,09 ; 2,89 4,59 „

Es sei noch bemerkt, daß man durch Einführung eines mit J langsam ansteigenden Exponenten von J in die Charakteristiken Gleichung (13) einerseits noch besseren Anschluß an die Messungen von Stuchtey gewinnen, andererseits die vorliegenden Beobachtungen noch etwas weiter in das Gebiet größerer J bzw. λ hinein darstellen kann.

4) J. Stark, Physik. Zeitschr. 4. p. 535. 1903.

Kaufmann findet zwischen 0,9 und 20 Milliamp. a zu rund 160, während Stuchtey die Konstante zu 110 angibt.¹⁾

Bei einem Vergleiche hat man zu berücksichtigen, daß der Gleitbüschel ja auch bei der größten Kapazität noch *nicht ganz* als *Dauererscheinung* aufzufassen ist, und daß meine Büschel auf einer *Flüssigkeitsoberfläche auflagen*, also in einer Atmosphäre sich befinden, die mit freier Luft nicht identisch ist. In Anbetracht dieser Umstände und der Verschiedenartigkeit der Bestimmungsmethoden ist die Übereinstimmung wohl noch als recht gute zu bezeichnen.

Mit den Gleitbüscheln auf Flüssigkeitsoberflächen stehen solche auf Isolatoren (Rohren und Platten) in engster Beziehung. Durch die voranstehend gewonnenen Erkenntnisse ist also das ganze Gebiet der Gleitfunkenbildung überhaupt qualitativ und, soweit die Umstände es erwarten lassen, auch quantitativ an die bekannten Gesetze von Gasentladungen angeschlossen.

Dresden, den 30. Januar 1908. Physikalisches Institut
der Technischen Hochschule.

1) Die angegebenen Zifferwerte sind auf Gefälle in Volt : cm und Stromstärken in Amp. umgerechnet.

(Eingegangen 31. Januar 1908.)