

Der Wehneltunterbrecher.

(Dem Hrn. Dr. Vladimir Lewyckyj gewidmet).

Inhalt: 1. Das Problem und seine Lösung. 2. Die am Wehnelt tätige Spannung. 3. Der Einfluss der Säurekonzentration. 4. Die Länge der Platindrahtspitze. 5. Die Rolle der Selbstinduktion. 6. Der Durchmesser des Drahtes. 7. Die Lage des singulären Punktes. 8. Die Länge und die Qualität des Funkens. 9. Die technische Seite. 10. Was bleibt noch zu untersuchen?

§. 1.

Seit der Erfindung der Coolidge-röhre begannen die Ärzte neue Röntgeneinrichtungen einzuführen, die — ohne Vergleich besser als die früheren — mit der Hilfe eines Heizdrahtes Milliampère- und Kilovolt-meter präzise einzustellen erlauben. Die alten Einrichtungen haben ihren Wert verloren, und von den Ärzten kann man heute um den Preis circa 250 Dol. volle Einrichtungen vom alten Typus mit verschiedenen Röntgenröhren bekommen. Soeben habe ich einen solchen Apparat mit einem Quecksilberunterbrecher und einem Motor für 220 Volt angeschafft. Und da ich in Tarnopol über einen Gleichstrom von 150 Volt verfüge, so hätte ich eine ziemlich kostbare Umarbeitung durchführen müssen. Da ich gleichzeitig von bekannten Ärzten erfuhr, dass die Quecksilberdämpfe für die Gesundheit sehr schädlich sind (Gedächtnisschwäche, Nervenstörungen), so beschloss ich statt des Quecksilberunterbrechers mich eines Wehneltunterbrechers zu bedienen. Einen neuen Wehnelt anzuschaffen wäre unmöglich, da sein Preis im Verhältnis zum Platinpreise zu hoch ist; unterdessen gelang es mir die technische Ausführung bedeutend zu vereinfachen, so dass ein Doppelwehneltunterbrecher circa 2 Dol. kostet. Die Art und Weise, den Wehnelt¹⁾ zu verfertigen, gebe ich am Schluss meiner Abhandlung

¹⁾ Hier und weiter bedeutet Wehnelt eine Abkürzung statt Wehneltunterbrecher.

an. Vorläufig will ich andeuten, dass meine Vereinfachung mir erlaubt hat, Elemente, von welchen die Stromstärke und Unterbrechungszahl in einer Sekunde abhängen, beliebig zu ändern. — In den Preiscouranten von M. Kohl u. Leybold, sowie im vierbändigen Werke von Frick (Physikalisches Praktikum) fand ich divergente Daten, was die Konzentration der Schwefelsäure und die Länge der Platinspitze anbelangt, und eben dieser Umstand hat mich interessiert und veranlasst, diese komplizierte Sache, welche mit dem Leitvermögen der Elektrolyten im engen Zusammenhange steht, zu untersuchen. Die Zusammenstellung der Apparate ist am Schema (Fig. 1) ersichtlich. Im Weiteren sollen bedeuten:

r_a — der äussere Widerstand in Ohmen.

e_a — die aktive Spannung am Wehnelt, gemessen mit einem Präzisionsvoltmeter (eingeschaltet zwischen Anode und Kathode).

i — die Stromstärke, gemessen mit einem Präzisionsampèremeter.

r_i — der Widerstand im Wehnelt (ausgerechnet).

e_a — der Spannungsverlust ausserhalb des Wehnelt (ausgerechnet).

k — die Konzentration der Schwefelsäure, gemessen mit einem Aräometer *Bé* und einem Densimeter. Stark verdünnte Lösungen gebe ich im Verhältnis zur normalen Lösung an,

wobei ich dieselben mit $\frac{n}{10}$ *KOH* titriert habe, mich einer

Alkohollösung des Phenolphthaleins als Indikator bedienend.

l — die Länge der hervorstehenden Platindrahtspitze in mm.

d — der Durchmesser derselben in mm.

L — die Selbstinduktion, dargestellt durch die Primärspule des Induktors. Die Grössenverhältnisse derselben sind folgend: Länge 60 cm, Durchmesser (zusammen mit der Ebonitisoliation) 6,5 cm. Die Selbstinduktion der ganzen Spule bezeichne ich mit der Zahl 60; die Zahl z. B. $L = 45$ bedeutet, dass wir zur Disposition $\frac{3}{4}$ der früheren Selbstinduktion haben. Bei den Versuchen, bei welchen ich die Funkenlänge nicht bestimmen wollte, nahm ich die Sekundärspule herunter und ging nur da mit dem Widerstand r_a zur Null.

D — die Funkenlänge der Sekundärspule in *cm*.

Von der grossen Zahl der Tafeln, die ich bei meinen Versuchen bekam, habe ich nur die typischen, die das Funktionieren des Wehnelt charakterisieren, gewählt. In der ersten Tafel merke ich vorwiegend die tätige Spannung am Wehneltunterbrecher vor,

in der zweiten die Konzentration, in der dritten die Drahtspitzenlänge, in der vierten die konstante Selbstinduktion, in der fünften die veränderliche Selbstinduktion, in der sechsten behandle ich ein Beispiel für die Bedeutung der Drahtdicke für den Wehnelt und in der letzten zeige ich die Lage des singulären Punktes.

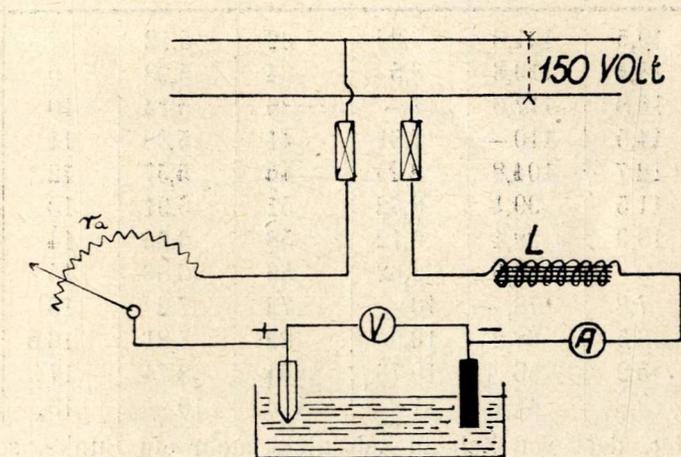


Fig 1.

In den Diagrammen bediene ich mich für die Ohme einer umgekehrten Ordnung, und zwar aus praktischen Rücksichten, da man bei den Versuchen mit dem höchsten Widerstand, der zur Verfügung steht, anfängt und zu den kleineren übergeht. In seltenen Fällen geht man bis $r_a = 0$ über.

Nach diesen Voraussetzungen gehe ich zur Besprechung der Versuche und der Schlüsse, zu welchen ich auf Grund der Versuche gelangte, über.

§. 2.

Die am Wehnelt tätige Spannung.

Zum Versuche, dessen Resultate in der Tafel I angeführt sind, nahm in einen Platindraht von $l = 9$ mm, $d = 0.94$ mm und die Schwefelsäure mit $k = 5^0$ B \acute{e} . Der Regulierwiderstand, der einen Teil der Röntgenapparatur bildet, besitzt ziemlich ungleiche Teilwiderstände, wie wir es in der Tafel unter r_a sehen können. Diese Widerstände habe ich vor dem Versuche mit der Genauigkeit bis zur ersten Dezimalstelle gemessen. Während des Versuches wurden e_i und i abgelesen und D gemessen. Der städtische Strom hat

theoretisch 150 Volt, in der Wirklichkeit aber oszilliert die Spannung um einige Volts beiderseits, was die Arbeit erschwert.

Tafel I.

r_a	e_a	i	e_i	r_i	D
19,5	121,8	6,25	32	5,12	7
18,4	119,6	6,5	34	5,23	9
16,8	117,6	7—	36	5,14	10
14,5	110—	7,61	41	5,38	11
12,7	104,8	8,25	46	5,57	12
11,5	99,1	8,62	51	5,91	13
10,9	99,4	9,12	58	6,36	14
9	86,6	9,62	66	6,86	15
7,8	78,—	10—	72	7,2	16
6,5	68,2	10,5	82	7,81	16,5
5,2	56	10,75	94	8,74	17
3,8	41,1	11—	110	10—	18*

* bedeutet, dass von Zeit zu Zeit nicht mehr ein Funke, sondern ein helles Band, violett gerändert, entstand. Den Widerstand r_a habe ich weiter nicht vermindert, da schon bei 5·2 Ω die Säure zu stark spritzt.

Derselbe Versuch, wiederholt bei $l = 12$ mm, $d = 0,34$ mm, $k = 5^\circ \text{ Bé} = 1,04 = \frac{n}{1,12} H_2SO_4$, ergab die Tafel I a.

Tafel I a.

r_a	e	i	e	r_i	D
19,5	115,1	5,9	35	5,93	9
18,4	112,2	6,1	38	6,22	9,5
16,8	107,5	6,4	43	6,72	10
14,5	104,5	7—	47	6,71	11
12,7	95,3	7,5	55	7,33	12
11,5	89,7	7,8	60	7,69	13
10,9	88,3	8,1	69	8,51	14
9—	74,7	8,3	76	9,15	15
7,8	65,1	8,35	84	10,05	15,5
6,5	54,6	8,4	97	11,54	16
5,2	40—	8,15?	110	13,5	17*

* spritzt stark.

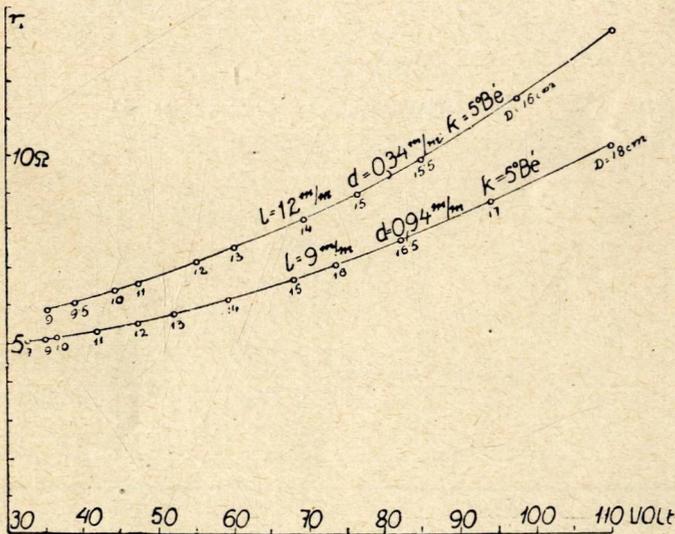
Nach dem Entfernen des Induktors (also auch der Selbstinduktion) bekam ich folgende interessante Tafel (I b).

Tafel I b.

r_a	e_a	i	e	r_i	D
36	136,8	3,8	18,5	4,86	—
32	135,4	4,25	20	4,72	—
28	128,8	4,6	23	5—	—
25 }!	120—	4,8	25	5,20	—
25 }	17,5	0,7	135	192,85	—
20	14—	0,7	137	195,55	—
18	12,6	0,7	139	198,55	—
16	11,2	0,7	141	201,11	—

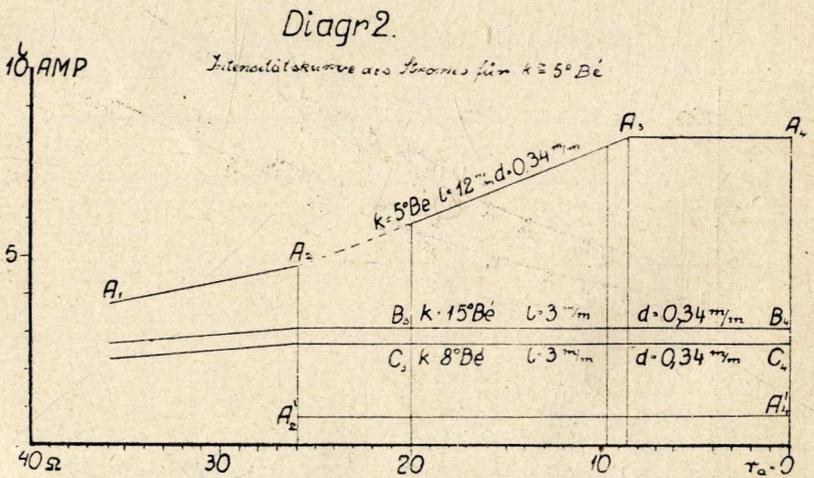
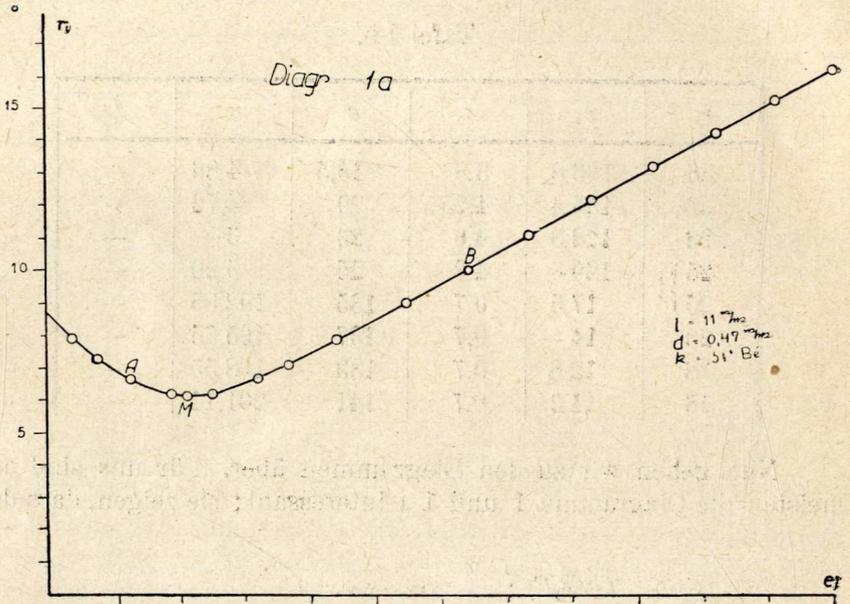
Nun gehen wir zu den Diagrammen über. Für uns sind am meisten die Diagramme 1 und 1 a interessant; sie zeigen, dass der

Diagr. 1



Widerstand des Wehnelt nicht konstant ist, wie bei den Metallen (selbstredend bei den kleinen Temperaturschwankungen). Er ändert

sich in Abhängigkeit von der tätigen Spannung auf den Elektroden des Wehnelt. Die Kurven (vgl. Diagr. 1 a und 3 a) haben im Punkte

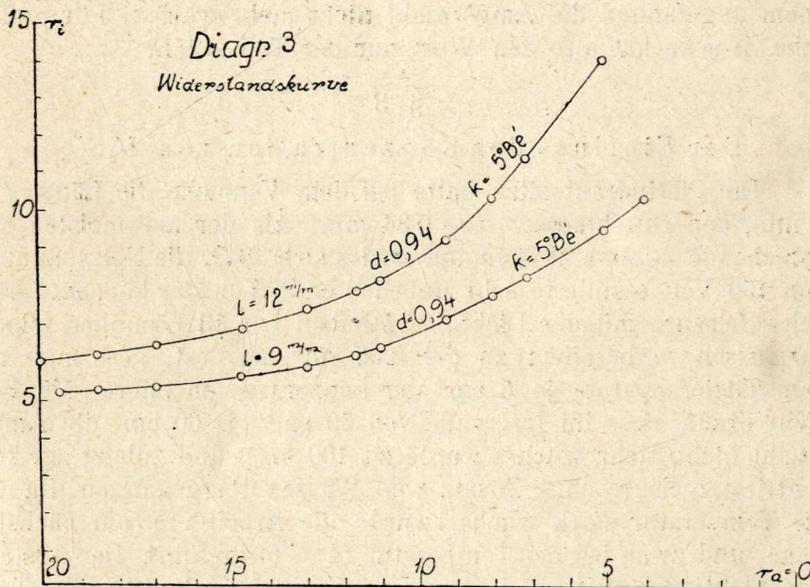
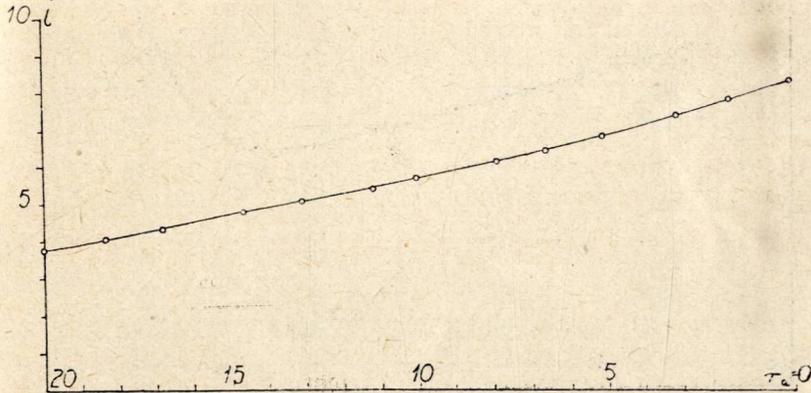


M ein Minimum. Der Widerstand des Wehnelt fällt beim Steigen der tätigen Spannung von 30 bis 51.6 Volt ziemlich schnell von

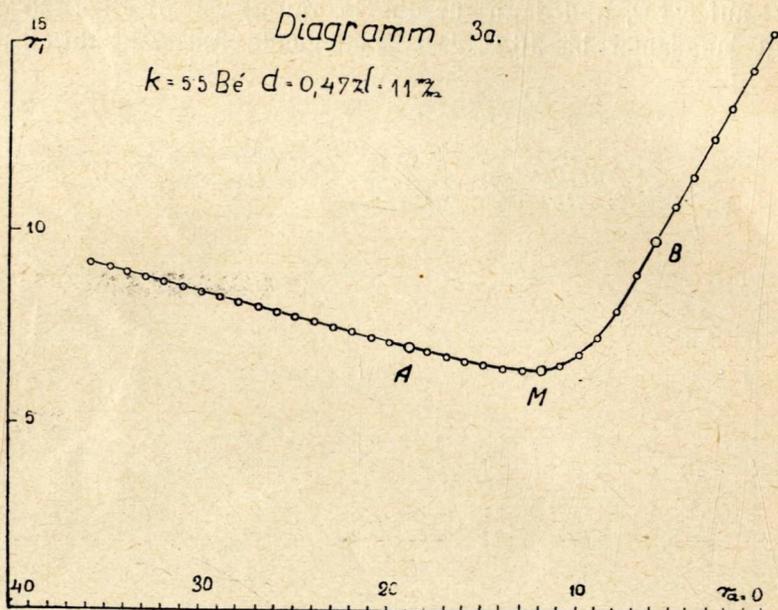
8.8 Ω auf 6.3 Ω , und dann für die Spannung von 51.6 bis 150 Volt steigt langsamer bis 16 Ω . Der absteigende Ast geht durch den

Diagr 2a

Die Intensitätskurve des Anodes für stark verdünnte $H_2, 10^{-4}$
 $k = 10 \text{ cm}^2, 104$ mit der Dichte 2.84 in 31 a g sitzt



Punkt A über; von demselben wirkt der Wehnelt als Unterbrecher und der aufsteigende Ast geht durch den Punkt B durch, von wel-



chem angefangen die Ampèrezahl nicht mehr wächst. Für praktische Zwecke hat also den Wert nur der Teil *AMB*.

§. 3.

Der Einfluss der Konzentration von H_2SO_4 .

Die Platindrahtspitze hatte bei dem Versuche die Länge $l = 3$ mm, den Durchmesser $d = 0,34$ mm. Als der am meisten entsprechende äussere Widerstand erwies sich 36Ω , die Netzspannung von 150 Volt oszillierte sehr unbedeutend. Von der konzentrierten Schwefelsäure mit der Dichte 2,84 haben wir 13 Lösungen folgendermassen vorbereitet: zu den 200 cm^3 aq. dest. goss man mit dem Titrierapparate je 5 cm^3 der konzentrierten Säure. Mit Hinsicht drauf, dass im Intervalle von 50 cm^3 bis 60 cm^3 die Ampèrezahl nicht mehr wuchs, wurde zu 100 cm^3 , und zuletzt zur konzentrierten Säure ohne Zusatz vom Wasser übergegangen. Da nun die Temperatur stark wuchs, wurde die Arbeit erst am nächsten Tage, und zwar bei der Temperatur 14° C fortgeführt. Der Abstand der Elektroden betrug 5 cm. Der Versuch gab folgende Tafel (Tafel II):

Tafel II.

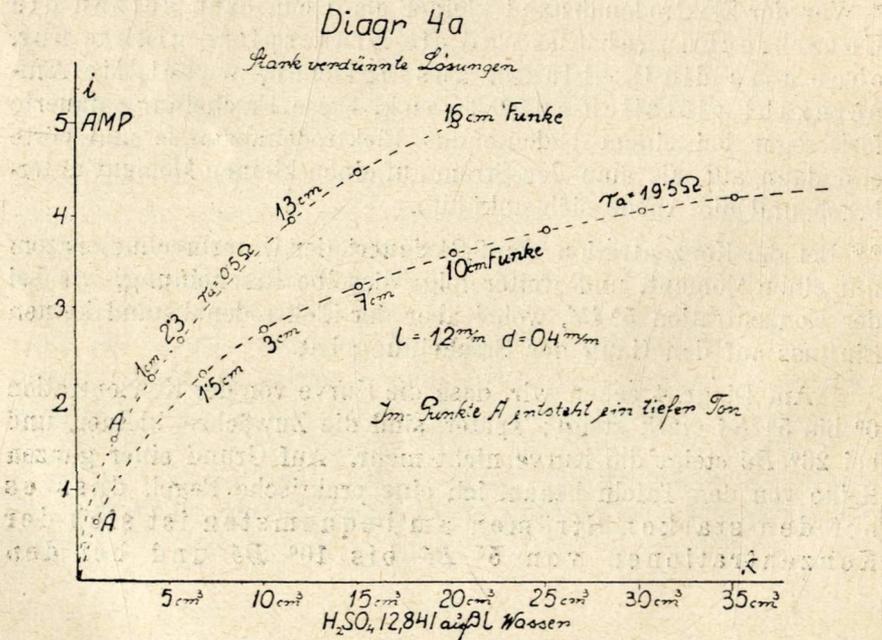
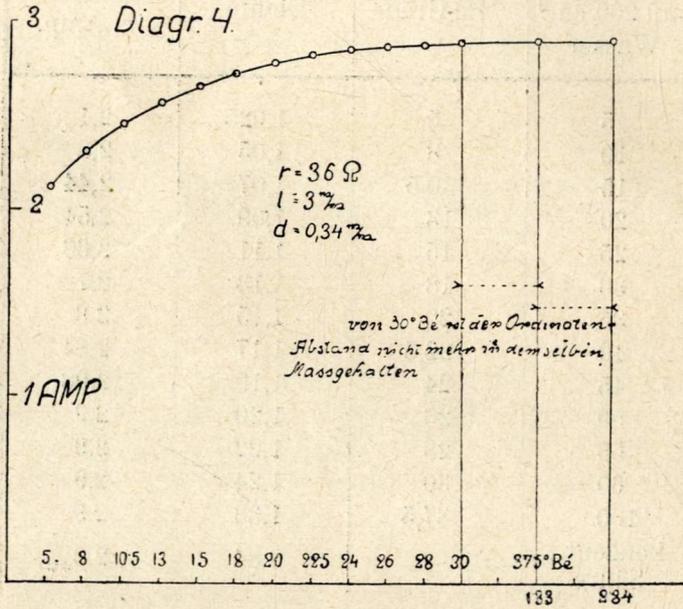
cm ³ H ₂ SO ₄ auf 200 cm ³ Wasser	Bé-Grade	Dichte	Intensität in Amp.
5	5	1,025	2,1*
10	8	1,05	2,3
15	10,5	1,07	2,44
20	13	1,09	2,54
25	15	1,11	2,66
30	18	1,13	2,7
35	20	1,15	2,8
40	22,5	1,17	2,84
45	24	1,19	2,88
50	26	1,20	2,9
55	28	1,22	2,9
60	30	1,24	2,9
100	37,5	1,33	2,9
konzent. Säure	—	2,84	2,9**

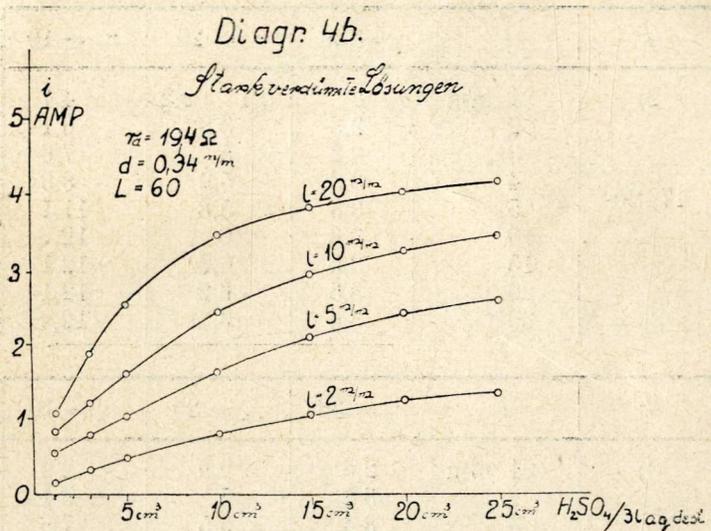
* War der Elektrodenabstand kleiner als 5 cm, dann setzen die Unterbrechungen aus und die Drahtspitze glühte nur, ohne dass die Gasblasen ausschieden, wobei die Ampèrezahl plötzlich auf 0,2 sank. Diese Erscheinung dauerte fort, sogar bei einem bedeutenden Elektrodenabstande und hörte erst dann auf, als man den Strom auf einen kleinen Moment unterbrach und die Anode sich abkühlte.

** Bei der Konzentration von 2,84 dauert der Unterbrechungsstrom nur einen Moment, und weiter folgt dieselbe Erscheinung, wie bei der Konzentration 5° Bé, wobei aber der Elektrodenabstand keinen Einfluss auf den Gang der Erscheinung hat.

Am Diagr. 4 sehen wir, dass die Kurve von der Konzentration 0° bis 5° Bé stark steigt; später sind die Zuwächse kleiner, und bei 26° Bé steigt die Kurve nicht mehr. Auf Grund einer ganzen Reihe von den Tafeln bekam ich eine praktische Regel, dass es bei den starken Strömen am bequemsten ist sich der Konzentrationen von 5° Bé bis 10° Bé und bei den

schwachen Strömen der Konzentrationen von $\frac{n}{50} H_2SO_4$ bis $\frac{n}{10} H_2SO_4$ zu bedienen.





Handelt es sich um die Vergrößerung der Stromintensität, so haben wir dazu zwei Mittel: a) den Draht zu vergrößern, und zwar l und d , b) mehrere Drähte parallel zu verbinden. Diese Mittel sind nützlicher, als die Vergrößerung der Konzentration. Dabei ist es gut, beim längeren Gebrauche des Wehnelt wenigstens 3 l Lösung vorzubereiten; es ist also auch vom diesem Standpunkte praktischer, die obere Grenze von 10^0 Bé nicht zu überschreiten.

§. 4.

Die Länge der Platindrahtspitze.

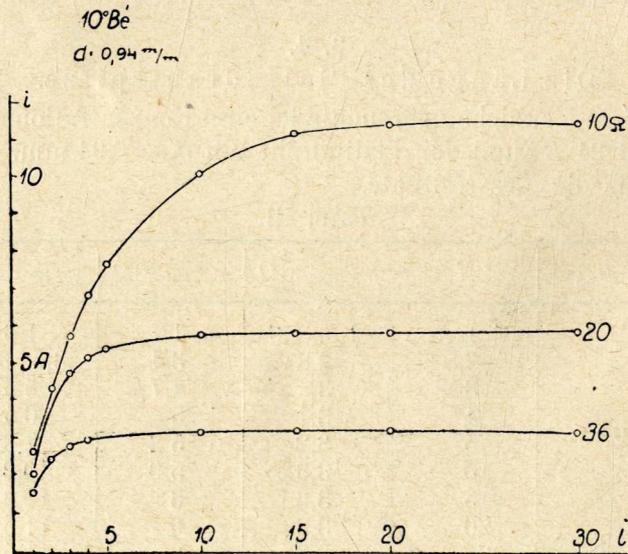
Bei dem Versuche gebrauchte ich drei Konzentrationen: 10 Bé, 17 Bé und 24 Bé und den Platindraht mit $d = 0,94$ mm. Die Tafel III gibt uns die Messresultate.

Tafel III.

k	l	$r_a = 36 \Omega$	$r_a = 20 \Omega$	$r_a = 10 \Omega$
1)	1 mm	1,5...1,6	1,7	1,8
	2	2,8	3,4	3,5...3,6
10 Bé	3	3	4,7	5,5
	4	3,1	5	6,5
	5	3,2	5,2	7,8
	10	3,3	5,9	10,2
	15	3,3	6	11,2
	20	3,3	6	11,5
	30	3,3	6	11,5

k	l	$r_a = 36$	$r_a = 20$	$r_a = 10$
2) 17 Bé	1 mm	2	2,1 ... 2,2	4,1
	2	2,3	3,8	6,1
	3	3,2	5	7,6
	4	3,3	5,3	8,9
	5	3,3	5,8	11,1
	10	3,3	6	12
	15	3,5	6,2	12,1
	20	3,5	6,2	12,1
	30	3,6	6,3	12,2

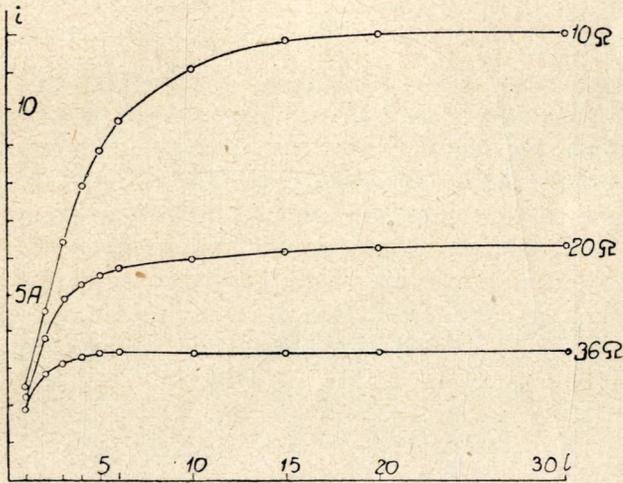
k	l	$r_a = 36$	$r_a = 20$	$r_a = 10$
3) 24 Bé	1 mm	2,5	2,9	2,9
	2	3,2	5	6,1
	3	3,4	5,5	7,6
	4	3,4	5,9	8,9
	5	3,5	6	9,9
	10	3,5	6,2	11,9
	15	3,6	6,5	12,6
	20	3,6	6,4	12,6
	30	3,7	6,4	12,8

Diagr. 5₁

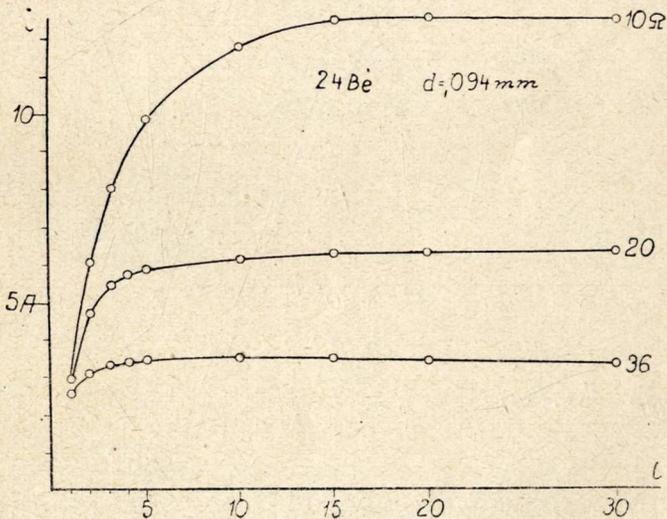
Die Stromstärke wächst mit der Länge der hervorstehenden Platindrahtspitze (vergl. Diagr. 5), aber nicht proportional, da die

17Be
 $d = 0,094 \text{ mm}$

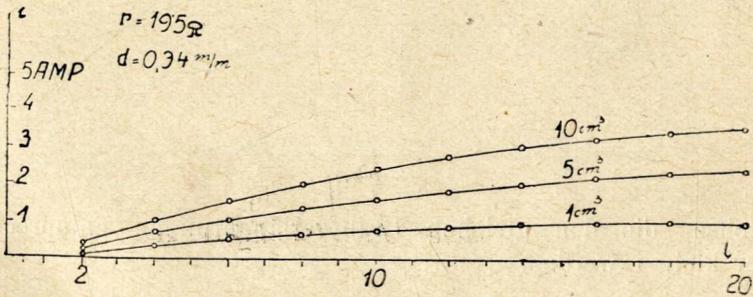
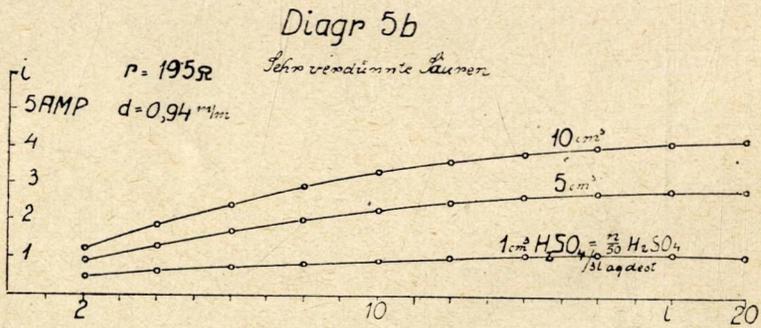
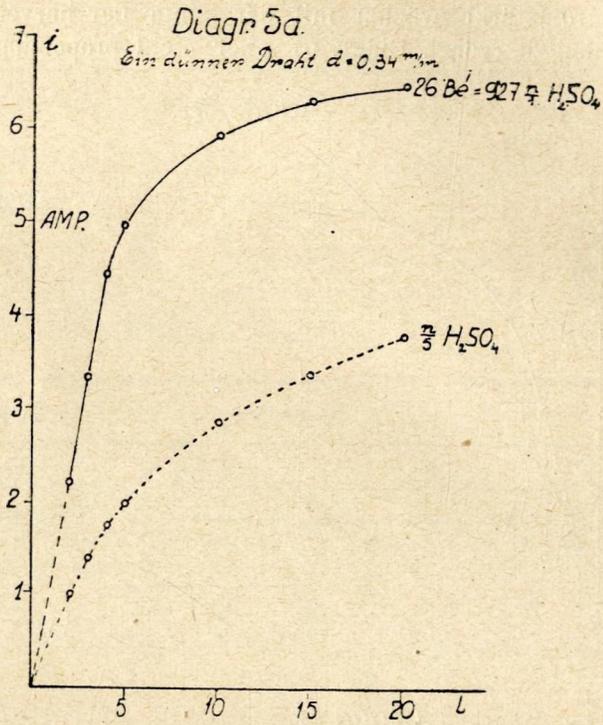
Diagr. 5₂.



Diagr 5₃



Zuwächse, die den gleichen Drahtverlängerungen entsprechen, immer kleiner werden.



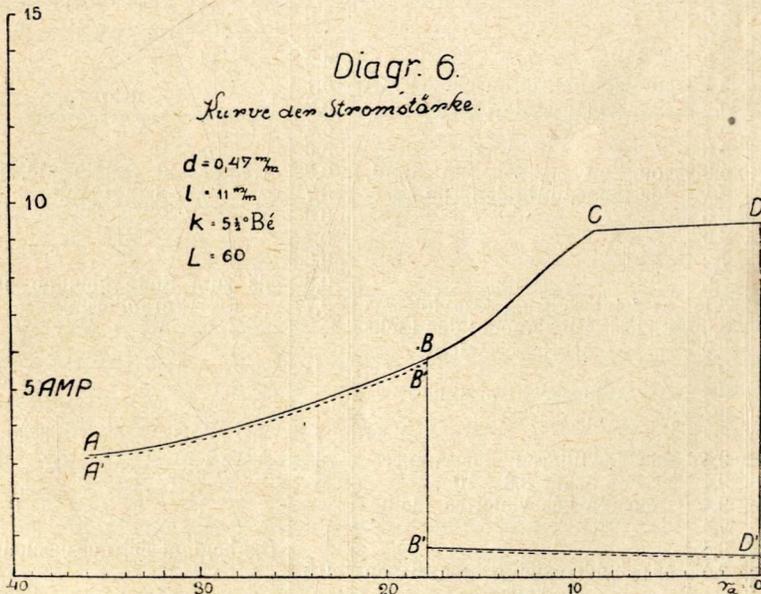
In der Tafel III. 2 habe ich mit den Pfeilchen die Richtung angedeutet, in welcher der Ton höher wird. Die Tonhöhe wächst mit dem Kleinerwerden von l und r_a . Als untere Grenze muss man 3 mm nehmen, da bei 2 mm die Drähte leicht verbrennen. Aus den Diagrammen 5 — 5 b ist es ersichtlich, dass bei den Konzentrationen, die höher als $\frac{n}{1} H_2SO_4$ sind, die Kurven von 2 bis 5 mm plötzlich in die Höhe steigen, aber nach 5 mm die Zuwächse kleiner werden, so das $l = 15$ mm zu überschreiten keinen Sinn mehr hat. Bei kleinen Konzentrationen — ohne Rücksicht auf die Drahtdicke — ist die Steigung sehr langsam. Auch hier sind nach $l = 15$ mm die Zuwächse sehr unbedeutend.

Wenn wir dabei die Diagramme $5_{1/1}$, $5_{1/2}$, $5_{1/3}$ vergleichen, so ist es evident, dass es ohne Rücksicht auf l genügt, sich auf $k = 10$ Bé zu beschränken, da eine Erhöhung der Konzentration nur sehr unbedeutend die Stromstärke erhöht.

§. 5.

Die Rolle der Selbstinduktion.

Um den Einfluss der Selbstinduktion zu bestimmen, schaltete ich in den Wehneltstromkreis die Primärspule des Induktors als Selbstinduktion ein und entfernte ganz die Sekundärspule. Ausser-



dem habe ich die Primärspule (die hemmend auf die Elektronengeschwindigkeit wirkt) mit dem Morsetaster verbunden, so dass ein Druck auf den letzten die Selbstinduktion ausschaltete. Dann änderte ich r_a je um einen Ohm, von $r_a = 36 \Omega$ angefangen bis Null, und las bei jedem Widerstand die Ampèrezahl, einmal mit eingeschalteter, andererseits mit ausgeschalteter Spule.

Diese Zusammenstellung erlaubte mir leicht beide Fälle gleichzeitig zu untersuchen. Die Resultate dieser Versuche sind aus der Tafel IV. ersichtlich.

Tafel IV.

Eingeschaltete Selbstinduktion			Ausgeschaltete Selbstinduktion		
r_a	i	Bemerkungen	i	Bemerkungen	
36	3,2	Auf der Anode scheidet sich das Gas aus und dieses Auscheiden wächst ↓	3,2	dtto	
35	3,3		3,3		
34	3,5		3,5		
33	3,5		3,5		
32	3,8		3,8		
31	3,8		3,8		
30	3,9		3,9		
29	4		4		
28	4,1		4,1		
27	4,2		4,2		
26	4,4	4,4	dtto		
25	4,6	4,6			
24	4,9	4,9			
23	4,9	4,9			
22	5,1	entsteht ein Geräusch, der immer lauter wird		5,1	
21	5,2			5,2	
20	5,4	5,4		Ampèrezahl fällt rapid, und der Draht glüht ↓ bis zum Ende beinahe ohne Veränderung	
19	5,6	5,6			
18	5,9	von Zeit zu Zeit ein Knall, der langsam in den Ton übergeht			0,8
17	6,1				0,7
16	6,6	0,6			
15	6,9	0,7			
14	7,2	0,6			
13	7,6	spritzt	0,8		
12	8,1	es zeigt sich ein rosaviolettes Licht bei der Anode; das Licht vergrößert sich	0,7		
11	8,6		0,7		
10	8,9	Ampèrezahl oszilliert ↓ das Oszillieren der Ampèrezahl 8,8... 10 ein starkes violettes Licht	↓	Gas beginnt sich auszuschleiden	
9	9,2				
8	9,4				
7	9,4				
6	9,4				
5	9,4				
4	9,4				
3	9,4				
2	9,4				
1	9,4				
0	9,4	es scheiden sich grosse Blasen aus	0,5		

Das graphische Bild dieser Tafel haben wir im Diagramm 6. Die Kurve der Stromstärke $ABCD$ ist bei der eingeschalteten Selbstinduktion stetig, während die Kurve $A'B'C'D'$ ohne Selbstinduktion unstetig ist, und zwar sie zeigt einen Sprung im Punkte BB' , in welchem die Ampèrezahl rapid von 5,6 auf 0,8 fällt. Derselbe Punkt gibt beim Einschalten der Selbstinduktion einen Knall, und der Wehnelt beginnt als Unterbrecher zu wirken. Den Punkt BB' nenne ich im weiteren Verlaufe einen singulären Punkt.

Der zweite Punkt, der für uns grosse Bedeutung hat, ist der Punkt C , von welchem an die Kurve parallel zur XX — Achse verläuft. Vor diesem Punkte beginnt die Ampèrezahl stark zu oszillieren und in der Nähe der Anode zeigt sich ein violettes Licht analog dem, das im Geisslerschen Rohr entsteht.

Um den Einfluss der Selbstinduktion weiter zu untersuchen, liess ich eine kupferne Röhre, 60 cm lang, 7 cm im Durchmesser machen, und indem ich dieselbe über die Primärspule schob (der Primärspule aufstülpte), änderte (verminderte) ich die Selbstinduktion. Es bedeute L die Länge des von der Röhre unbedeckten Teiles der Spule; z. B. $L = 50$ bedeutet, dass 10 cm von der Röhre bedeckt sind. Da kann man die Resultate der Versuche kurz folgendermassen zusammenfassen:

1) Die Selbstinduktion vergrössert den Widerstand des ganzen Kreises; z. B. für $r_a = 10 \Omega$, $d = 0,4$ mm, $l = 10$ mm, $k = 10^0 B\acute{e}$ bekam ich folgende Tafel:

Tafel V.

L	60	50	40	30	20	16	10
i	7,2	7,5	8,4	9,1	9,5	Sprung von 9,1 auf 0,6	0,6

2) Bei dem kleineren äusseren Widerstand r_a genügt eine kleinere Selbstinduktion, damit der Wehnelt als Unterbrecher wirke.

Beispiel: $r_a = 10 \Omega$, $d = 0,4$ mm, $l = 4$ mm; dann bekomme ich den singulären Punkt (den Sprung) bei $L = 30$ cm (der Ampèremeter zeigt dabei 4,5 Amp.), und bei $r_a = 36 \Omega$ caeteris paribus für $L = 39$ cm ($i = 3$ Amp.).

3) Bekommt man beim Vermindern von L den Sprung, dann steigt die Ampèrezahl nicht mehr, d. h., sie kehrt nicht auf die frühere Zahl zurück, obwohl man die Primärspule verlängert (durch

das Herunternehmen der kupfernen Röhre), und der Platindraht glüht schon sogar bei ganzen $L = 60$. Erst wenn man den Strom auf einen Moment unterbricht und dann wiederum schliesst, bekommt man im Wehnelt die Unterbrechungen.

Es zeigt sich im allgemeinen bei dieser Erscheinung eine Verspätung, analog der magnetischen Hysterese; z. B., wenn ich im obigen Beispiel die Röhre aufstülpe und den Sprung bei $L = 15$ bekomme, so verschiebt sich der Sprung bei dem Herunternehmen der Röhre in Verbindung mit dem Stromausschalten bis $L = 19$.

4) Ich habe r_a und l so gewählt, um bei $L = 60$ im Wehnelt den Grundton G der Geige zu bekommen. Das bekam ich z. B. bei $r_a = 10 \Omega$, $l = 10$ mm, $d = 0,4$ mm und $L = 60$. Verminderte ich L , so entstand eine sehr hübsche Tonleiter. Das Interessante dabei war der Umstand, dass die Längen der unbedeckten Primärspule folgende Zahlenreihe ergab:

60 49,7 44,2 41,8 38 34 31,3 27,5,

also beinahe dieselbe, die wir in der Akustik bekommen, wenn wir die Saite nach den Intervallen der Durtonleiter, von dem Grundton angefangen, verkürzen, d. h.

$1, \frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{8}{15}, \frac{1}{2}$.

Für eine Saite von der Länge 60 cm bekommen wir angenäherte Werte:

60, 53, 48, 45, 40, 36, 32, 30.

Nehmen wir für den Grundton statt 60 die Zahl 56, dann bekommen wir beinahe dieselben Zahlen, wie oben bei der Selbstinduktion. Das ist umsomehr berechtigt, da es sehr schwer ist, für den ersten Ton genau die Stelle zu finden, wahrscheinlich deswegen, weil am Ende der Spule die magnetischen Kraftlinien nichtgeschlossen sind und sich zerstreuen.

Auf Grund dieses Versuches bekommen wir ein Gesetz, dass eine zweimal kleinere Selbstinduktion einen zweimal höheren Ton verursacht, oder dass die Zahl der Unterbrechungen der Selbstinduktion umgekehrt proportional ist.

5) Indem wir zwei beliebige Messserien mit verschiedenen Drahtlängen vergleichen, so sehen wir caeteris paribus, dass ein kürzerer Draht grössere Selbstinduktion erfordert; z. B. bei $d = 0,4$ mm, $r_a = 10 \Omega$ und $k = 10^9 \text{ B}\acute{\text{e}}$ bekam ich den Sprung für die Drahtlänge $l = 10$ mm bei $L = 15$ und für $l = 4$ mm bei $L = 30$.

§. 6.

Der Durchmesser des Drahtes.

Um den Einfluss der Drahtdicke zu untersuchen, nahm ich drei Platindrähte $l = 10$ mm lang, vom Durchmesser

$$I = 0,92 \text{ mm}, \quad II = 0,46 \text{ mm}, \quad III = 0,31 \text{ mm},$$

also vom Verhältnis 6:3:2, mass die Stromstärke bei der Konzentration 5 *Bé*, 10 *Bé*, 18 *Bé* und bei dem äusseren Widerstand $r_a = 20 \Omega$ und 10Ω , und zwar zuerst jeden Draht allein, und zuletzt eine Kombination der Drähte II und III, die ich mit IV bezeichne.

Auf Grund dieser Messungen bekam ich folgende Tafel VI.

Tafel VI.

k	r_a	I	II	III	IV
5 <i>Bé</i>	20 Ω	6	5,5	5	5,9
	10 Ω	9,2	7,7	6,2	9,7
10 <i>Bé</i>	20 Ω	6,4	6	5,6	6
	10 Ω	10,4	8,8	7,2	10,7
18 <i>Bé</i>	20 Ω	6,5	6,2	5,9	6,1
	10 Ω	11,6	9,8	8	11,7

Das Vergleichen der Rubriken I und IV zeigt, dass zwei dünne Drähte zusammen eine Stromstärke gaben, die nur wenig von der Stromstärke, die der dicke Draht gab, abweicht. Die Tafel VI zeigt, das hier eine grosse Rolle der Widerstand r_a (und dadurch auch die Stromstärke e_i) spielt. Bei $r_a = 20 \Omega$ geben dünne Drähte zusammen eine kleinere Stärke als ein dicker Draht, und die Differenz wächst mit der Konzentration. Dagegen sehen wir beim Widerstand $r_a = 10 \Omega$ eine umgekehrte Erscheinung; II und III zusammen genommen geben grössere Stärke als I und die Differenz wird kleiner mit dem Wachsen der Konzentration. Da der Preis des Platins ziemlich hoch ist (z. B. kostet bei uns ein Draht $l = 10$ cm und $d = 0,94$ cm 8 Dol.), so ist es in der Praxis gut, zwei Drähte vom Durchmesser 0,3 bis 0,4 mm und 25 bis 30 mm lang zu kaufen. Aus solchen Drähten gefertigte Wehneltunterbrecher reichen vollkommen aus, um Unterbrechungen ohne Knall von einigen in der Sekunde bis 3000 zu bekommen.

Man muss beim Wehnelt darauf achten, dass das Wasser destilliert sei, weil die Chlorverbindungen des gewöhnlichen Wassers

stark das Platin angreifen. Ich war einmal gezwungen, eine Röntgenphotographie eines gebrochenen Armes zu machen, was mit dem Aussuchen der günstigsten Position $2^m 47^s$ dauerte. Als Unterbrecher fungierte der Wehnelt für $k = 5^\circ B\acute{e}$, $r_a = 8 \Omega$, $l = 10$ mm, $d = 0,94$ mm. Dabei gebrauchte ich wegen Mangels an Destillierwasser das gewöhnliche Wasser. In diesen Umständen bekam ich in der Primärspule $i = 10$ Amp. und in der Sekundärspule den Funken 15 cm lang. Die Dicke des Drahtes fiel in dieser kurzen Zeit von 0,94 mm auf 0,92 mm und beinahe gleichmässig längst der hervorragenden Spitze.

§. 7.

Die Lage des singulären Punktes.

Die Lage des singulären Punktes ist wichtig, um zu bestimmen, welchen Widerstand bei der gegebenen Konzentration und der gegebenen Länge der Drahtspitze man gebrauchen soll, damit der Wehnelt als Unterbrecher wirken könnte. Die Zahlen I—IV haben dieselbe Bedeutung, wie in der Tafel VI. Für die Orientierung führe ich die Tafel VII. für $l = 10$ mm, $L = 60$ an.

Tafel VII.

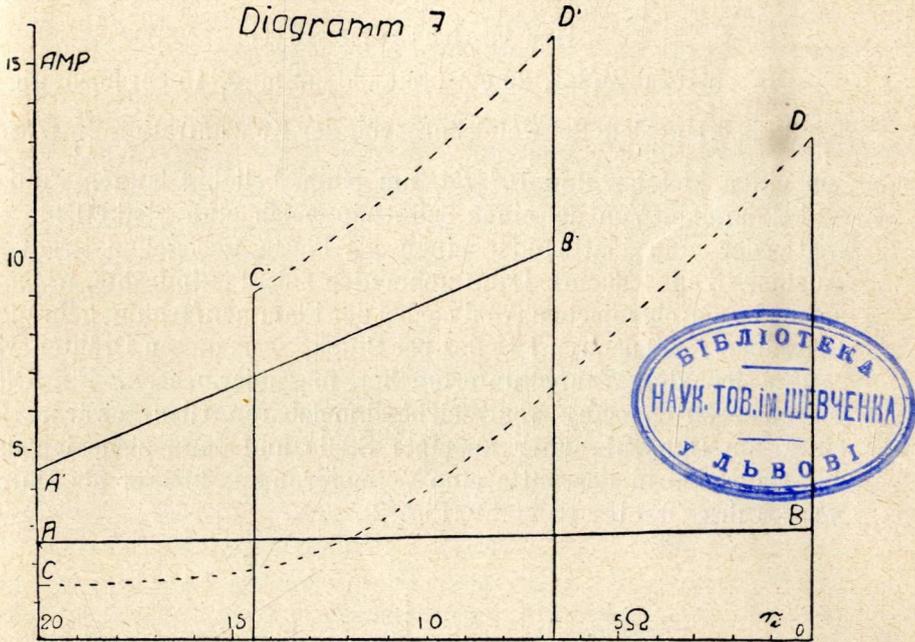
d	$5^\circ B\acute{e}$		$10^\circ B\acute{e}$		$18^\circ B\acute{e}$	
	r_a	i	r_a	i	r_a	i
I	18	5,4	15	7,4	11,5	10,2
II	25	4,3	21	5,4	19	6,4
III	32,5	3,4	28	4,2	24	5,1
IV	13,5	8?	11,5	10	10	11,2

§. 8.

Die Länge und die Qualität des Funkens.

Von der ganzen Reihe der Versuche habe ich die Säurekonzentration $\frac{n}{10} H_2SO_4$ gewählt, um zu zeigen, wie man elegant mit einer schwachen Säure operieren und dabei gleichzeitig ein breites Gebiet für den elektrischen Funken bekommen kann (vgl. Diagr. 7). Und zwar bekomme ich für $l = 12$ mm und $d = 0,4$ mm beim Ändern des Widerstandes von 20Ω bis 0Ω den Zuwachs der Ampèrezahl von 2,5 Amp. bis 3 Amp., und gleichzeitig wächst der Funke von 1,4 cm bis 12 cm. Für einen dicken Draht ($l = 9,4$ mm und

$d = 0,94$ mm) wächst die Ampèrezahl von 4,3 bis 10,5 Amp., und der Funke entsteht erst bei $r_a = 14,5 \Omega$ und hat sofort die Länge 9 cm; bei $r_a = 6,8 \Omega$ beträgt die Länge des Funkens 16 cm.



Auf die Qualität des Funkens hat einen grossen Einfluss ausser der Länge und der Dicke der Platinspitze die Säurekonzentration. Und zwar unterhalb von $2,5$ *Bé*, d. h. circa $\frac{n}{1} H_2SO_4$ bekommen wir ein violettes Band, (wie im Geisslerschen Rohr), von hellen dünnen Aderchen durchschnitten. Bei dem Vergrössern der Konzentration verschwindet das violette Band und es erscheint ein immer hellerer und dicker Funke. Im Diagr. 7. geben die Strichlinien die Funkenlänge in cm.

Bei einem grossen Induktor kann man auch kleine Funken von 1 bis 3 mm bekommen. Zu diesem Zwecke nehme ich die Säure von der Konzentration $\frac{n}{17} H_2SO_4$, welche ich bekomme, indem ich $4 \text{ cm}^3 H_2SO_4$ von der Dichte 2,84 in 3 l. aq. destil. auflöse; der Draht von der Dicke 0,94 mm muss dabei 2 mm ($l = 2$ mm) hervorragen. Indem ich den Widerstand $r_a = 20 \Omega$ einschalte, bekomme ich den Funken D 1 mm lang, bei $r_a = 10 \Omega$ ist $D = 2$ mm, bei

$r_a = 0$ $D = 3$ mm. Bei denselben Umständen gibt ein dünner Draht den Funken $D = 5$ mm ohne Rücksicht auf den äusseren Widerstand von 0 bis 40 Ω .

§. 9.

Die technische Seite.

In ein Glasgefäss, 20 cm breit, 30 cm lang, 15 cm hoch, giesse ich 3 bis 4 l gelöste Schwefelsäure von der Konzentration $\frac{n}{17} H_2SO_4$, um einen kleinen, und 10° *Bé*, um einen beliebig langen Funken zu bekommen. Von der einen Seite hänge ich eine Bleikathode auf (entweder eine Platte oder einen als Platte gebogenen Draht im Ausmass 3 cm \times 6 cm). Dann nehme ich zwei Platindrähte, wie man solche in der chemischen Analyse bei der Flammenfärbung gebraucht (dieselben kosten circa 1 Dollar per Stück). Aus diesen Drähten verfertige ich die Weheltunterbrecher folgendermassen. Ein Glasröhrchen 30 cm lang vom leichtschmelzbaren Glas erwärme ich stark am Bunsenbrenner an einer Stelle und dann ziehe ich dasselbe aus, bis in der Mitte eine Verengung — kleiner als Durchmesser des Drahtes entsteht (Fig. 2).

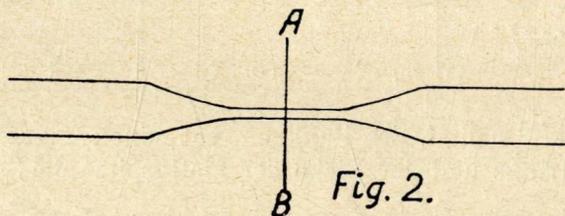


Fig. 2.

In der engsten Stelle *AB* schneide ich das Röhrchen mit einem Glasschneide-Messer durch und lasse es voll erkalten. Unterdessen befestige ich den Platindraht an einen Kupferdraht, solchen, wie man bei der elektrischen Glocke verwendet (natürlich nach Entfernen der Isolation), mittelst eines dünnen Drahtes (von der *G*-Saite der Geige) — vgl. Fig. 3.

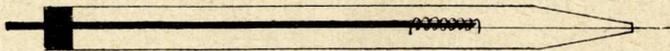


Fig. 3.

Jetzt schiebe ich den Draht in das vorbereitete Glasröhrchen hinein, wobei ich die Röhrchenspitze so lange abschneide, bis die Platinspitze durch dieselbe leicht durchgeht. Das andere Ende des

Röhrchens schliesse ich dicht mit einem Gummistöpsel; der letzte hat eine doppelte Funktion: a) er lässt die Spitze eine voraus angegebene Länge l behalten, b) er erlaubt nicht der Säure ins Röhrchen höher als 1 cm zu steigen, und den Kupferdraht anzugreifen. Ein so gebauter Wehnelt — ohne das Einschmelzen der Platinspitze, ohne spezielle Gummiröhrchen etc. — funktioniert ausgezeichnet und lässt sich leicht auf die angegebene Länge einstellen. Es ist interessant, dass das Röhrchen von der Hitze nicht springt, auch dann, wenn man die un stetige Kurve untersucht, obwohl ich bei meinen Untersuchungen sogar bis zu 22 Amp. bei dem Draht von der Dicke 0,92 mm, $r_a = 5 \Omega$ und $k = 10^0 \text{ Bé}$ gelangte. Nur dieser neuen Konstruktion verdanke ich alle sehr genauen Diagramme № 5.

§. 10.

Ich betrachte es als nützlich meine Abhandlung zur allgemeinen Kenntniss zu geben, da ich nirgends in der Literatur etwas genaueres über den Wehneltunterbrecher finden konnte; die Originalarbeit von Wehnelt konnte ich auch nicht bekommen. Im Werke von Kohlrausch und Holborn: „Leitvermögen der Elektrolyte“ 1916 ist die Frage einfacher gestellt und die beiden Elektroden sind dort so gross, dass ihre Dimensionen keine Rolle spielen. Meine Arbeit behandelt das Leitungsvermögen unterhalb dieser Grenze.

Es wäre noch manches zu bearbeiten. An der ersten Stelle wäre der Einfluss der Entfernung der Elektroden, sowie der Dimensionen der Kathode, wann die Grösse derselben die Stromstärke zu beeinflussen beginnt, an der zweiten die Bedeutung der Temperatur, so wohl der ganzen Lösung, wie auch der Platinspitze zu untersuchen.

Es wäre auch interessant die Ursache der Änderung des inneren Widerstandes r_i des Elektrolyten zu finden; dabei müsste man a) die Polarisation b) den Extrastrom berücksichtigen.

Beim Wehnelt handelt sich um zwei Sachen, d. h. um Unterbrechungszahl in sec. und die Intensität des unterbrochenen Stromes. Diese Grössen n und i sind Funktionen von wenigstens 8 Faktoren-Variablen $e r_a l d k r_i e_i L$. Von diesen sind einige, wie $k l d$ unabhängig, andere abhängig, wie z. B. der innere Widerstand r_i des Wehnelt und die Temperatur ϑ . Man muss zuerst diese Abhängigkeit finden, und erst dann zum Bau der obengenannten Funktion n und i schreiten. Dazu ist eine ganze Reihe von zweckmässig durchgeführten Versuchen, so wie eine Reihe von

Tafeln und Diagrammen erforderlich. Ohne Untersuchung aller dieser Abhängigkeiten können einige meiner Schlüsse bei weiteren Versuchen sich als unrichtig zeigen, aber die Tafeln werden doch ihren Wert beibehalten und können einen Grund zur weiteren Arbeit bilden.

Ich habe Versuche mit einem Gleichstrom durchgeführt. Es wäre aber interessant dieselben auch mit Wechselstrom durchzuführen, da — wie bekannt — der Wehnelt den Strom nur in einer Richtung durchführt, also wie ein Umformer wirkt.

Tarnopol, am 20. Februar 1927.

