

## V. Ueber einen Apparat zur Messung sehr kleiner Zeiträume; von W. Hankel.

(Aus d. Berichten d. K. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. Febr. 1866; vom Hrn. Verf. übersandt.)

Behufs der Lösung gewisser Aufgaben war ich veranlaßt einen Apparat zu construiren, der sehr kleine Zeiträume mit ebenso viel Genauigkeit als Bequemlichkeit zu messen gestattete. Da derselbe wohl bei den meisten der in der Physik mannigfach vorkommenden Untersuchungen, welche die Messung sehr kleiner Zeiten erfordern, mit Vortheil benutzt werden kann, so hoffe ich, daß die Angabe seiner Einrichtung, die von den bisher angewandten in manchen nicht unwesentlichen Punkten abweicht, nicht ohne Interesse seyn wird.

Wie bei allen zu diesem Zwecke bestimmten Apparaten erfolgt auch bei meiner Einrichtung durch Zuhülfenahme einer nach bekannten Gesetzen vor sich gehenden Bewegung eine Verwandlung des Zeitunterschiedes in einen Raumunterschied, und zwar werden Anfangs- und Endpunkt des zu messenden Zeitraumes durch zwei mittelst galvanischer Ströme in Bewegung gesetzte Hebelvorrichtungen auf einem bewegten Körper verzeichnet.

Der bewegte Körper, auf welchem die Zeichen aufgetragen werden, besteht aus einem Paraffinringe *A* (Fig. 1, S. 139) der in eine Rinne 285<sup>mm</sup> im Durchmesser haltenden messingenen Scheibe *BD*, eingegossen ist. Die Rinne *A* ist 36<sup>mm</sup> breit und 8<sup>mm</sup> tief, und steht 5<sup>mm</sup> vom äußersten Rande der Scheibe ab. Um den Paraffinring herzustellen, wird die Scheibe genau horizontal gerichtet, und sodann erhitzt, bis die in die Rinne gelegten durch Alkanna tief dunkelroth gefärbten Paraffinstücke<sup>1)</sup> geschmolzen sind.

1) Das zu dem Ringe verwandte Paraffin muß einen Zusatz von Stearin erhalten, um weniger zähe zu seyn; es würde sonst durch seinen Widerstand beim Einschlagen der nachher zu beschreibenden Spitzen die gleichförmige Rotation der Scheibe etwas beeinträchtigen können. An-

Nach dem Erkalten wird die Messingscheibe auf dem vorderen Ende *C* einer horizontalen Axe *CE* befestigt, welche durch ein großes aus sorgfältig gearbeiteten messingenen Zahnrädern und Getrieben gebildetes Räderwerk in gleichförmige Umdrehung gesetzt werden kann. Um nun aus der Oberfläche des Paraffins eine auf dieser Drehungsaxe *CE* senkrechte Ebene zu bilden, wird dieselbe mittelst eines mehr oder weniger breiten Meißels während des Umlaufs selbst abgedreht. Zu diesem Behufe wird nach dem Aufsetzen der Scheibe auf den Zapfen *C* vor ihrer linken Seite auf dem den ganzen Apparat tragenden starken Tisch ein hölzerner Support *FG* mittelst der Schraube *F* aufgeschraubt. Das obere Ende *G* dieses Supports befindet sich im Niveau des horizontalen Durchmessers der Scheibe *BD* und dient zum Auflegen der Meißel.

Um die Lage der Marken auf der Scheibe genau angeben zu können ist der auf der Vorderfläche neben dem Paraffinringe noch vorhandene 5<sup>mm</sup> breite Rand in ganze und halbe Grade eingetheilt worden. Ueber dem höchsten Punkte dieses Randes befindet sich ein Nonius *HJ*, der noch Zehntel eines halben Grades zu messen gestattet. Dieser Nonius trägt zugleich in der Richtung des Radius der Scheibe ein kleines Lineal *HK*, das über die Paraffinfläche hinwegreicht. An der mit dem Nullpunkte des Nonius zusammenfallenden scharfen rechten Kante des Lineals werden die auf der Scheibe eingedrückten Marken eingestellt, und durch Ablesen des Nonius ihre Lage auf der Scheibe bestimmt. Die erwähnte scharfe Kante trägt noch eine Eintheilung in Millimeter, um den Abstand der Marken

fangs versuchte ich reines Stearin anzuwenden, das seiner Weichheit wegen gar sehr geeignet erschien, aber durch seine starke Zusammenziehung beim Erkalten Uebelstände veranlafte, indem der Ring breite Risse bekam, und sich, trotzdem daß das Stearin in der Rinne selbst geschmolzen war, öfter vom Metall ganz ablöste. Ich setzte daher dem Paraffin so viel Stearin zu, daß es möglichst seine Zähigkeit verliert, und die zuletzt genannten Uebelstände noch nicht eintreten. Das Färben der Substanz geschieht einfach durch Eintauchen von Alkannawurzel in die geschmolzene Masse.

vom äußeren Rande des Paraffinringes zu erkennen, und infolge dessen die Auffindung der zu den einzelnen Versuchen gehörigen Zeichen zu erleichtern. Während des Umlaufs der Scheibe wird der zwischen den Spitzen *L* und *M* bewegliche Nonius nach oben zurückgeschlagen.

Um nun die Geschwindigkeit, mit welcher die Scheibe umläuft, durch den Apparat selbst verzeichnen zu lassen, ist folgende Einrichtung getroffen. Die Welle *CE*, auf welcher die Scheibe sitzt, trägt in *N* einige Schraubengänge, in welche die Zähne eines kleinen Rades *O* eingreifen. Auf der Axe *PQ* dieses Rades befindet sich in *P* eine kleine spiralförmig gestaltete Scheibe, die an einer Stelle einen plötzlichen Abfall von 10<sup>mm</sup> besitzt. Auf dem so gestalteten Rande dieser kleinen Scheibe liegt der Vorsprung *R* eines Hebels, der in der Stütze *SW* bei *S* seinen Drehpunkt hat, und in *T* einen eisernen Hammer trägt. Beim Umlaufen der spiralförmigen Scheibe wird durch den Vorsprung *R* der Hebel gehoben, und fällt dann plötzlich nieder, wenn der Vorsprung die Stelle des erwähnten Abfalles erreicht. Das Herabfallen des Hebels erfolgt genau nach 30 Umläufen des Paraffinringes.

Auf dem Hebel *ST* ist in *V* (isolirt durch Elfenbein) ein Messingstück befestigt, durch welches zwei an den unteren Enden mit Platinspitzen versehene Schrauben hindurchgehen. Diese Platinspitzen tauchen beim Herabfallen in zwei mit Quecksilber gefüllte Vertiefungen des Holzstückes *V'*, die mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung stehen. Beim Herabfallen des Hebels wird also diese Kette geschlossen. Der Strom dieser Kette geht nun durch den einen Elektromagnet eines Registrirapparates, wie solche jetzt bei astronomischen Beobachtungen im Gebrauche sind, und erzeugt mittelst der Spitze eines durch den Elektromagnet in Bewegung gesetzten Hebels auf einem durch ein Uhrwerk vorbeigeführten Papierstreifen einen Eindruck.

Durch den zweiten gleich neben dem ersten stehenden Elektromagnet dieses Registrirapparates fließt ein anderer Strom, der durch einen mit einer Secundenuhr verbundenen

Krille'schen Unterbrecher<sup>1)</sup> jede Secunde geschlossen und geöffnet wird; die Spitze des zu ihm gehörigen Hebels erzeugt also auf dem zuvor erwähnten Papierstreifen jede Secunde einen Eindruck<sup>2)</sup>. Aus den in neben einander liegenden Reihen befindlichen Eindrücken läßt sich die während 30 Umläufen des Paraffinringes verflossene Zeit bis auf wenige Hundertstel einer Secunde bestimmen, und sonach die Umdrehungsgeschwindigkeit desselben mit großer Genauigkeit berechnen.

Nach Erläuterung des zur Messung der Rotationsgeschwindigkeit des Paraffinringes dienenden Verfahrens gehe ich zu der Beschreibung derjenigen Vorrichtung über, durch welche die Marken, welche den Anfangs- und Endpunkt des zu messenden sehr kleinen Zeitintervalles bezeichnen sollen, auf dem Paraffinringe hervorgebracht werden.

Vor der rechten Seite des Paraffinringes stehen im Niveau des horizontalen Durchmessers der Scheibe *BD*, 16,6<sup>mm</sup> von einander entfernt, die Spitzen *a*, *a* zweier Hebel *l*, *l*, welche durch zwei Elektromagnete in Bewegung gesetzt

1) Der Krille'sche Unterbrecher besteht aus zwei kleinen mit engen seitlichen Oeffnungen versehenen und mit Quecksilber gefüllten Gefäßen. Die beiden Oeffnungen stehen einander in so geringem Abstände gegenüber, daß das Quecksilber zwischen ihnen einen kurzen Faden bildet, ohne auszufließen. In die beiden Quecksilbergefaße werden die Enden der galvanischen Kette geleitet; so lange der Quecksilberfaden besteht, ist dieselbe geschlossen. Bei der von mir gewählten Einrichtung wurde derselbe durch ein schmales Glimmerblättchen, das an einem durch das Pendel einer Secundenuhr bewegten Hebelarme befestigt war, durchschnitten, und somit in jeder Secunde die Kette einmal geöffnet. Da das Glimmerblättchen nur schmal war, so trat es gegen Ende jeder Schwingung des Pendels aus der Verbindungslinie beider Oeffnungen heraus, und das sofortige Zusammenfließen des Quecksilbers schloß die Kette von Neuem.

2) Ist das Glimmerblättchen in Bezug auf den Hin- und Hergang des Pendels nicht genau gleich gestellt, so sind die Intervalle zwischen den geraden und ungeraden Schlägen den Intervallen zwischen den ungeraden und geraden Schlägen nicht gleich. Man hat dann entweder eine Correction an die einzelnen Secunden anzubringen, oder muß die Abstände der Eindrücke des anderen Elektromagnets nur von den geraden, oder nur von den ungeraden Secundenschlägen aus abmessen. <sup>1</sup>

werden, und beim Vorwärtsschlagen einen schwachen Eindruck in der Paraffinmasse erzeugen.

Diese Hebel samt den Elektromagneten befinden sich auf einer 11<sup>mm</sup> dicken Messingplatte *bb*, die sich vor dem Paraffinringe in einer mit seiner Ebene parallelen Richtung zwischen zwei Leisten *cc* und *d* verschieben läßt; die durch die Leiste *cc* hindurchgehende Schraube *e* drückt die Messingplatte stets an die der Scheibe zunächst liegende Leiste *d* an. Die Verschiebung der Messingplatte zwischen ihren Leisten um bestimmte kleine Strecken wird durch die Schraube *f* bewirkt, welche gegen den rechten Rand der Platte drückt.

An dem uns zugewandten Rande der Messingplatte erheben sich zwei starke 75<sup>mm</sup> breite und 40<sup>mm</sup> hohe Eisenstücke *gg*, *gg*. In jedes dieser Eisenstücke sind zwei etwas über 10<sup>mm</sup> dicke, und gegen 100<sup>mm</sup> lange massive Eisenkerne eingeschraubt; auf jeden derselben ist eine aus vielen Windungen eines mäfsig starken mit Seide überspannenen Kupferdrahtes gebildete Spirale *h*, *h*, *h*, *h* aufgeschoben. Je zwei dieser Eisenkerne, welche in demselben Eisenstücke sitzen, bilden einen hufeisenförmigen Magnet, wenn die betreffenden Spiralen in entsprechender Weise mit einer galvanischen Kette verbunden werden.

Vor den beiden Polen der Elektromagnete hängen zwei aus Eisenplatten von 60<sup>mm</sup> Breite, 36<sup>mm</sup> Höhe und fast 5<sup>mm</sup> Dicke bestehende Anker *i*, *i*, die um Spitzen, welche in drei starken von der Messingplatte sich erhebenden Messingstützen *k*, *k*, *k* angebracht sind, sich drehen. Werden diese Anker gegen die Pole der Elektromagnete gezogen, so bewegen sich die oberhalb ihrer Drehaxe befindlichen Hebel *l*, *l* mit ihren Spitzen *a*, *a* gegen den Paraffinring. Nach dem Öffnen der Kette ziehen die an den Armen *r*, *r* wirkenden Spiralfedern *m* (Fig. 1 und 2, S. 139), deren Spannung durch die Schrauben *n* vergrößert und verkleinert werden kann, die Anker wieder zurück. Die Hubhöhe (der den Ankern gestattete Weg) wird durch die Schraube *o* regulirt.

Fig. 1.

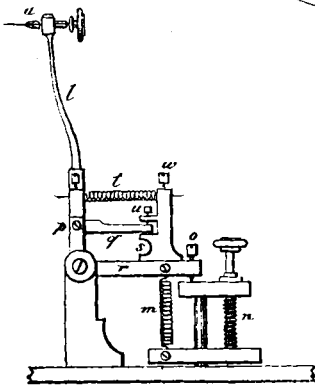
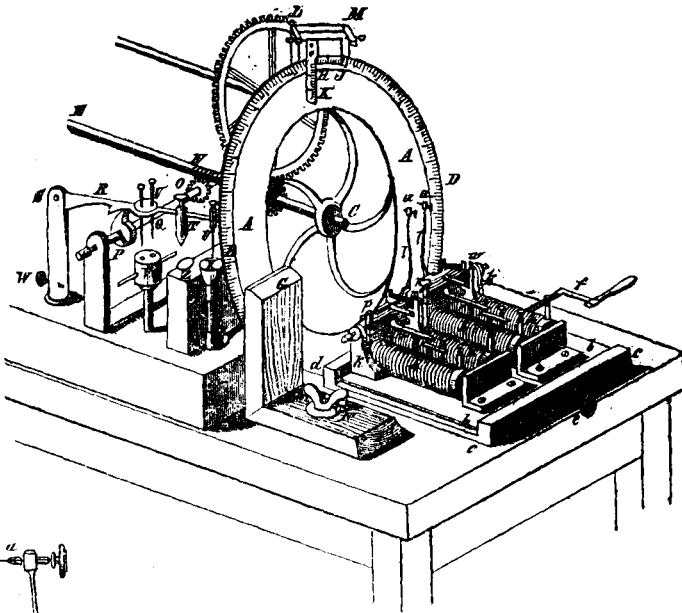


Fig. 2.

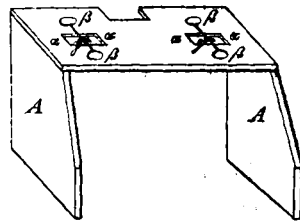


Fig. 3.

Man sieht leicht ein, daß die Spitzen nicht während eines längeren Schlusses der durch die Spiralen der Elektromagnete geleiteten elektrischen Ströme in die Paraffinmasse eingedrückt bleiben dürfen, indem sonst anstatt kurzer Marken vollständige Kreise in das Paraffin verzeichnet würden. Dies ließe sich allerdings vermeiden, wenn man die Hebel *l, l* aus einem federnden Stäbchen bildete; indessen nehmen die Schwingungsweiten eines solchen so langsam ab,

dafs man anstatt einer einzigen Marke in der Paraffinmasse zahlreiche auf einem Kreise liegende Eindrücke erhält. Da es nur auf die Lage des ersten Eindrucks ankommt, so werden die folgenden Eindrücke keine Störung bewirken, wenn sie sich nur nicht über den ganzen Umkreis erstrecken. Um jedoch jedenfalls durch den Schlufs der Kette eines Elektromagnets nur einen einzigen Eindruck zu erhalten, mufs den Hebelarmen  $l, l$  so zu sagen ein Gelenk gegeben werden; jeder Hebelarm  $l, l$  ist zwischen zwei Spitzen, die durch nach oben gerichtete Fortsätze  $p$  (Fig. 2) der Anker  $i$  (Fig. 1) gehen, beweglich. Der horizontale Fortsatz  $q$  ruht auf dem durch den Arm  $r$  mit dem Anker festverbundenen kleinen Ansatz  $s$  und wird durch die Spiralfeder  $t$  stets gegen denselben zurückgezogen. Wird der Anker vom Magnet angezogen, so treibt also der Fortsatz  $s$  den Hebel  $l$ , und die in seinem oberen Ende befindliche Spitze  $a$  gegen die Paraffinmasse; infolge der erlangten Geschwindigkeit fliegt diese Spitze, sobald der Anker plötzlich an die Pole schlägt noch weiter vor, indem die kleine Feder  $t$  etwas nachgiebt; die Weite, um welche die Spitze nach vorwärts geht, wird durch die Schraube  $u$  regulirt. Sobald aber die Spitze in die Paraffinscheibe gedrungen, zieht die Feder  $t$  den Arm  $l$  zurück. Durch die Stellung der Federn  $m$  und  $t$ , der Schrauben  $o$  und  $u$ , und der in den Köpfen  $a$  ebenfalls vorhandenen Schrauben kann nun die Anordnung so getroffen werden, dafs beim Schlufs der Ketten die Spitzen  $a, a$  in die Paraffinscheibe einschlagen, sofort aber durch die Federn  $t$  zurückgezogen werden, und bei fortdauerndem Schlusse der Ketten die Paraffinscheibe nicht weiter berühren, jeder Schlufs der Kette also nur eine einzige Marke erzeugt, die jedoch nicht als Punkt, sondern je nach der Spannung der Federn  $t$  und der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe als ein Strich von einem oder einigen Millimetern Länge erscheint. Durch die zuvor genannten Mittel läfst es sich auch bewerkstelligen dafs die beiden Spitzen vom Eintritt des Stromes an bis zum Einschlagen in das Paraffin gleiche oder wenigstens sehr nahe gleiche Zeit ge-

brauchen. Ich werde indes später zeigen, daß eine absolute Gleichheit dieser Hubzeit, wie ich es nennen möchte, nicht nöthig ist, indem der etwa vorhandene Unterschied in in den beiden Hubzeiten bei jeder Versuchsreihe gemessen und in Rechnung gebracht wird. Die Spitzen läßt man stets nur so weit einschlagen, daß ihr Eindruck eben noch deutlich erkannt wird.

Um eine Reihe von Versuchen hintereinander ausführen zu können, ist, wie bereits erwähnt, die Messingplatte mit den Elektromagneten und den Hebeln und Spitzen  $a$ ,  $a$  in einer der Scheibe  $BD$  parallelen Richtung verschiebbar. Man stellt dieselbe zunächst so, daß die rechte Spitze  $a$  nahe am rechten Rande des Paraffinringes  $A$  steht; ist durch den Schluß der Ketten auf diesem Ringe von jeder Spitze eine Marke erzeugt, so werden durch Umdrehen der Schraube  $f$  die Messingplatte und somit die Spitzen  $a$ ,  $a$  etwas nach links verschoben und dies so lange wiederholt, bis die linke Spitze den linken Rand des Paraffinringes nahe erreicht. Mittelst des kleinen quer über den Ring gelegten Lineals  $HK$  lassen sich die beiden zusammengehörigen Marken, deren Winkelabstand gemessen werden soll, leicht herausfinden, indem ihr Abstand auf dem Radius unverändert  $16,6^{\text{mm}}$  beträgt.

Bei gewissen Vorgängen, z. B. bei Messungen der Fortpflanzung von Schwingungen, werden entweder für beide oder wenigstens für den einen Elektromagnet die Umstände so sich gestalten können, daß in rasch aufeinander folgenden Zeitmomenten der Schluß beider oder der einen Kette sich öfter wiederholt. Da nun in der kurzen Zwischenzeit zwischen zwei Schwingungen eine Verschiebung der Messingplatte sammt den Spitzen  $a$ ,  $a$  durch die Schraube  $f$  nicht ausführbar ist, so bedurfte der Apparat noch eines weiteren Zusatzes, um nur der ersten Schwingung den Schluß der Ketten zu gestatten, während allen nachfolgenden dies versagt ist. Die zu diesem Zwecke construirte Vorrichtung besteht aus einer kleinen hölzernen Bank,  $A$ ,  $A$  Fig. 3, die mit ihren Seitenwänden auf dem rechten und linken Rande



der Messingplatte  $bb$  (Fig. 1) ruht und deren oberes Querbrettchen ein wenig höher als das Ende der Schrauben  $w$  liegt. Oberhalb der beiden Schrauben  $w$  (Fig. 1 und 2) hat das Brettchen zwei längliche Oeffnungen  $\alpha\alpha$  und  $\alpha\alpha$ . Neben jeder Oeffnung befindet sich in einer auf der Scheibe senkrechten Richtung, also vor und hinter der Oeffnung eine kleine Vertiefung  $\beta$ ,  $\beta$ , und  $\beta$ ,  $\beta$ , deren Rand nach der Oeffnung hin etwas eingeschnitten ist. In der durch diese Einschnitte gebildeten sehr schmalen Rinne liegt ein Stückchen nicht zu dünnen Platindrahtes, das an dem über der Durchbohrung befindlichen Theile ein kleines vertikales Bleistückchen  $\gamma$  und  $\gamma$  trägt. Jedes dieser Bleistückchen liegt, wenn die Ketten der Elektromagnete nicht geschlossen sind, an einer der Schrauben,  $w$  an. Die vier zuvor genannten Vertiefungen (Näpfchen  $\beta$ ) sind mit Quecksilber gefüllt, und der Platindraht besitzt eine solche Länge, daß er bei der zuvor bezeichneten Lage in beide Quecksilbermassen eintaucht. Durch diesen Draht wird nun mittelst der Quecksilbermassen der Strom, der zu den Elektromagneten gehen soll, geleitet. Sobald ein Elektromagnet seinen Anker anzieht, stößt die zu ihm gehörige Schraube  $w$  das Bleistück, und somit auch den Platindraht vorwärts nach der Scheibe hin. Giebt man dem hinteren Ende des Platindrahtes gerade eine solche Länge, daß es nach dem Vorwärtsschieben durch die Schraube  $w$  das Quecksilber in seinem Näpfchen nicht mehr berührt, so ist dadurch der Strom dieses Elektromagnets für jeden folgenden (z. B. durch die sich wiederholenden Schwingungen bewirkten) Vorgang, der bei seinem ersten Auftreten den Schluß der Kette zu bewirken vermochte, vollständig unterbrochen; es entstehen auf der Scheibe also keine weiteren Zeichen.

Oben wurde bereits erwähnt, daß eine völlige Gleichheit in der Hubzeit der beiden Elektromagnete, deren Spitzen in die Paraffinscheibe schlagen, nicht erforderlich ist; es genügt, wenn diese Hubzeit für jeden einzelnen constant, oder auch selbst proportional mit der Zeit veränderlich ist. Es läßt sich nämlich leicht eine solche Einrichtung treffen, daß

während einer Versuchsreihe der Unterschied in der Hülfszeit genau gemessen werden kann.

Zu diesem Zwecke gehen die Ströme, welche die beiden genannten Elektromagnete wirksam machen sollen, durch eine Art von Commutator, der so eingerichtet ist, daß in der einen Lage seines Bügels die Elemente beider Ketten sich aneinanderfügen, und ihren Strom durch die gleichfalls aneinander gefügten Spiralen beider Elektromagnete senden, während in der anderen Lage jede Kette ihren Strom nur durch die Spiralen des ihr speciell angehörigen Magnets in den gewünschten Augenblicken führt. Dieser Umstand erfordert aber, daß die beiden Ketten sammt Größe und Form der auf ihren Umläufen liegenden Widerstände möglichst nahe gleich sind, damit bei Vereinigung beider Ketten zu einer die Einwirkungen auf beide Elektromagnete möglichst nahe dieselben bleiben, wie bei ihrer gesonderten Wirkung. Dies ist selbstverständlich nur mit vollkommen constanten Elementen zu erzielen: leider erfreuen wir uns aber noch nicht des Glückes, kräftige constante Elemente zu besitzen, die man lange Zeit, ohne ihre Abnutzung befürchten zu müssen, stehen lassen kann. Da es bei dem Gebrauche des beschriebenen Apparates aber nicht unwesentlich ist, daß derselbe zu jeder Zeit sogleich bereit steht, ohne daß man erst mit der Zusammensetzung der galvanischen Elemente sich zu befassen braucht, so habe ich, wo es nicht auf Genauigkeit von weniger als 0,0003 Sekunden ankam, für jeden Elektromagnet eine aus 6 Elementen (Kohle, amalgamirtes Zink und verdünnte Schwefelsäure) bestehende Kette angewandt. Die sechs Kohlen- und Zinkstücke jeder Kette lassen sich durch Umdrehen einer Schraube in ihren Glasgefäßen heben und senken; es bedarf nur einiger Umdrehungen dieser Schraube, um die Kette zum Gebrauche fertig zu haben; nach Beendigung der Messungen werden durch umgekehrte Drehung der Schrauben die Kohlen- und Zinkstücke so weit gehoben, daß sie nicht mehr in die Schwefelsäure tauchen. Der Apparat bleibt auf diese Weise, da bei den Versuchen die Ketten stets nur auf sehr kurze

Zeit geschlossen werden, mehrere Monate lang selbst ohne Erneuerung der Flüssigkeit brauchbar. Aber auch selbst bei dem kurzen Schlufs tritt, wie man aus den weiterhin mitgetheilten Versuchsreihen ersehen kann; Polarisation ein, und es darf nicht erwartet werden, daß dieselbe selbst bei gleich lange dauernder Schließung für beide Ketten genau dieselbe ist, oder bei darauf erfolgter, ebenfalls gleich lange dauernder Oeffnung bis auf denselben Betrag wieder verschwindet. Der Apparat gestattet alle diese Schwankungen zu messen; übersteigen sie die Gränzen der beabsichtigten Genauigkeit, so müssen die zuvor beschriebenen Elemente durch constante ersetzt werden.

Bestimmung der Schwankungen in der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe und in der Hubzeit der beiden Elektromagnete.

Die S. 143 beschriebenen 12 Elemente aus amalgamirtem Zink, Kohle und verdünnter Schwefelsäure waren hinter einander zu einer Kette verbunden, deren Strom die beiden Elektromagnete nach einander durchlief; geschlossen wurde die Kette durch das Herabfallen des Hammers *T* (Fig. 1), indem dabei die Platinspitze *U* in das Quecksilber des Gefäßes *X* tauchte.

Gleichzeitig bewirkte das Herabfallen des Hammers durch Eintauchen der beiden Platindrähte *V* in die mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen des Holzstückes *V'* in der S. 136 bezeichneten Weise den Schlufs der Kette des einen Elektromagnets im Registrirapparate, während die Kette des anderen Elektromagnets dieses Apparates durch eine Uhr jede Secunde geschlossen und geöffnet wurde.

In der nachstehenden Tabelle enthält die erste Columnne die Nummer der aufeinander folgenden Schläge des Hammers, die zweite die diesen Schlägen entsprechenden, auf dem Papierstreifen des Registrirapparates abgelesenen Zeiten, die dritte die Differenzen dieser Zeiten, oder die zur Vollendung von 30 Umdrehungen verbrauchten Zeiten, die vierte die Lage der Anfänge der auf der Paraffinscheibe durch die rechte Spitze gemachten Marken, die fünfte die Lage der

Anfänge der gleichzeitig von der linken Spitze erzeugten Marken, und die sechste die Differenz der Lagen je zweier gleichzeitig gemachter Marken.

1	22,40		323,5°	331,1°	7,6°
2	30,03	7,63	322,5	330,0	7,5
3	37,62	7,59	322,2	329,9	7,7
4	45,23	7,61	321,5	329,0	7,5
5	52,83	7,60	322,2	329,8	7,6
6	60,46	7,63	320,7	328,5	7,8
7	68,06	7,60	322,2	329,8	7,7
8	75,58	7,52	322,3	329,6	7,3

Die zweite Columnne ergibt die mittlere Dauer von je 30 Umläufen = 7,597 Secunden; die größte Abweichung davon (zwischen 7 und 8) beträgt 0,077 Sec. In dieser Gröfse sind aber nicht blofs die Unregelmäßigkeiten der Rotation der Scheibe, sondern auch die bei der Messung der Zeit mittelst des Registrirapparates begangenen Fehler enthalten<sup>1)</sup>.

Aus der mittleren Dauer von 30 Umläufen (= 7,597 Sec.) erhält man die Zeit, in welcher die Paraffinscheibe sich um 1° gedreht hat, = 0,0007034 Sec. Das Mittel aus den Zahlen der letzten Columnne, welche die Differenzen der Lagen je zweier zusammengehöriger Marken namhaft machen, ist 7,575°; zu einer Drehung von 7,575° ist mithin die Zeit von 0,005328 Sec. erforderlich; um dieses Intervall schlug also im Mittel die linke Spitze später in den Paraffinring als die rechte. Die größte Abweichung von dem mittleren Unterschiede beträgt 0,275° (in No. 6); ihr entspricht die Zeit 0,0001934 Sec. Die Abweichungen in der Differenz der Hubzeiten beider Magnete von dem mittleren Werthe übersteigen also nicht 0,0002 Sec.

Die kleinen Unterschiede zwischen den Zahlen der vierten und ebenso zwischen den Zahlen der fünften Columnne sind durch den nicht stets in gleicher Weise erfolgten Abfall des Hammers entstanden, und haben auf die Genauigkeit der Messungen keinen bemerkbaren Einfluss; denn diese

1) Der Registrirapparat war aus einem älteren, von den Telegraphenstationen ausangirten Stöhrer'schen Doppelstiftapparate hergestellt worden. Poggendorff's Annal. Bd. CXXXII.

Unterschiede sind zu gering, als dafs sie bei der Zeitmessung mittelst des Registrirapparates, wo allerdings der Fall des Hammers die eine Marke hervorbringt, Bedeutung erlangen könnten, und bei den Marken der Paraffinscheibe handelt es sich nur um die Differenzen ihrer Lage.

Zum weiteren Nachweise, dafs die Abweichungen in den Differenzen der Hubzeiten den oben gefundenen Werth von 0,0002 Sec. nicht erheblich übersteigen, führe ich noch die Lagen, der Marken auf der Paraffinscheibe aus einer anderen der obigen analogen Versuchsreihe an; die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe war bei dieser zweiten Beobachtungsreihe gröfser als zuvor; die Dauer von 300 Umläufen derselben betrug nur 63,26 Sec.

	Lagen der Marken der		Differenz
	rechten Spitze	linken Spitze	
1	349,1	354,7	5,6
2	348,0	353,8	5,8
3	349,9	355,4	5,5
4	348,4	354,5	6,1
5	349,0	355,3	6,3
6	349,6	355,6	6,0
7	349,7	354,7	6,0
8	349,2	355,4	6,2
9	350,0	356,6	6,6
10	348,1	354,0	5,9
11	346,5	352,5	6,0

Der Mittelwerth der Differenzen beträgt 6,0<sup>1</sup>). Aus der zuvor über die Dauer von 300 Umdrehungen gemachten Angabe folgt die Zeit, in welcher sich die Scheibe um 1° dreht, = 0,0005857 Sec. Die größte Abweichung in den Differenzen vom Mittel steigt nur auf 0,5°; dem entspricht

- 1) Zwischen dieser und der vorhergehenden Versuchsreihe liegt ein Zeitraum von  $\frac{1}{2}$  Jahr, in welcher Zeit mancherlei Aenderungen am Apparat vorgenommen worden waren; diess erklärt die Abweichung in den mittleren Werthen der Differenzen.

eine Zeitdauer von 0,000293 Sec., also ein nur wenig größerer Werth als zuvor.

Uebrigens kann in der letzten Versuchsreihe ein Theil der Abweichungen auch noch dadurch bewirkt worden seyn, daß die Paraffinscheibe nicht vollständig eben abgedreht worden ist, sondern am inneren Rande mit ihrer Oberfläche etwas tiefer gelegen hat als in der Mitte und am rechten Rande. Diefs würde wenigstens den Umstand erklären, daß das Mittel aus den 5 ersten Versuchen etwas kleiner sich darstellt, als aus den 5 letzten; bei der angenommenen Beschaffenheit der Oberfläche des Paraffinringes hätte die linke Spitze bei den letzten fünf Versuchen einen etwas weiteren Weg zurückzulegen gehabt, als bei den ersten fünf.

Bestimmung der Genauigkeit, mit welcher die Hand auf ein Zeichen eine Marke zu geben vermag.

Wenn wir auf ein gegebenes Zeichen eine Bewegung mit der Hand ausführen sollen, so vergeht vom Augenblicke des Eintretens des Zeichens bis zur Vollziehung dieser Bewegung ein gewisser Zeitraum, und es kann gefragt werden, wie groß dieser Zeitraum sey, und welche Schwankungen in diesen Messungen auftreten. Ich wende mich zunächst zur Beobachtung der letzten Frage.

Wie schon oben S. 143 bemerkt, konnte durch Umlagen eines Commutators die Verbindung der beiden Batterien von je 6 Elementen erstens so hergestellt werden, daß die Ströme beider aneinandergesetzt die Spiralen der beiden Elektromagnete durchliefen; zweitens aber auch so, daß der Strom je einer Batterie aus 6 Elementen durch die Spiralen nur je eines der vor der Paraffinscheibe liegenden Elektromagnete ging. Dabei war im letzteren Falle die Einrichtung so getroffen, daß der Schluß der einen Kette durch die Platinspitze (Fig. 1) *U* des am Apparate befindlichen Hammers erfolgte, während die andere Kette einen sogenannten Taster, wie er beim Telegraphiren mit dem Morse'schen Apparate angewendet wird, enthielt, und durch Niederdrücken des Hebels an diesem Taster geschlossen wurde. Der Ham-

mer *T* fiel auf ein Metallstück *Z*, und erzeugte infolge dessen einen scharfen kurzen Schlag; gleichzeitig tauchte die Platinspitze *U* in das Quecksilber des Gefäßes *X* und schloß dadurch die erste Kette. Auf die Wahrnehmung dieses Schlages durch das Gehörorgan drückte ich mit meiner rechten Hand den Hebel des Tasters nieder, und schloß dadurch die zweite Kette.

Um stets den Unterschied in der Hubzeit der beiden Elektromagnete in Rechnung ziehen zu können, wurde derselbe bei jeder Versuchsreihe drei Mal gemessen. Gewöhnlich bestand eine Versuchsreihe, wie ich gleich eine solche ausführlich mittheilen werde, aus 11 Messungen; bei der 1., 6., 11. Messung war der Commutator so gelegt, daß beide Ketten durch beide Elektromagnete gingen; wurde während die Platinspitze am Hammer ins Quecksilber tauchte, der Hebel des Tasters niedergedrückt, so wurde die ganze Kette geschlossen, und beide Elektromagnete schlugen (bis auf den Unterschied in ihrer Hubzeit) gleichzeitig. Bei den Messungen 2 bis 5 incl. 7 bis 10 incl. dagegen schloß das Fallen des Hammers die eine Kette von 6 Elementen, und die Spitze des zugehörigen Elektromagnets machte eine Marke in den Paraffinring, während die Spitze des anderen Elektromagnets erst durch das Niederdrücken des Tasters mittelst der Hand in Bewegung gesetzt wurde.

Die ausführliche Mittheilung einer Versuchsreihe wird die Einzelheiten noch klarer machen.

No. der Versuche	Zeitpunkt in welchem der Hammer fällt	Lage der Marken der linken Spitze	Lage der Marken der rechten Spitze	Unterschied in den Lagen der beiden Marken
1	0,17	242,6	236,5	6,1
2		350,0	215,1	225,1
3		350,0	196,6	206,6
4		349,6	199,3	209,7
5		348,5	195,0	206,5
6		191,4	185,0	6,4
7		344,5	164,0	179,5
8		345,4	184,5	199,4
9		347,7	188,6	200,9
10		347,8	190,5	202,7
11	79,84	182,5	186,2	6,3

Aus den beiden Zahlen der zweiten Columnne ergibt sich die zu 300 Umläufen der Paraffinscheibe verbrauchte Zeit = 79,67 Secunde.

Die Marken, deren Lage in der dritten Columnne verzeichnet sind, wurden mit Ausschluss der Versuche 1, 6 und 11 durch den herabfallenden Hammer erzeugt, während die Marken 1, 6 und 11 dieser Columnne, so wie sämtliche in der vierten Columnne aufgeführte Marken dem Niederdrücken des Hebels am Taster mit der Hand ihre Entstehung verdanken, und zwar sind die unter 2, 3, 4, 5 und 7, 8, 9 und 10 der letztgenannten Columnne eingetragenen Marken durch den Strom der einen Kette aus 6 Elementen, dagegen die zu 1, 6 und 11 in der dritten und vierten gehörigen Marken durch den vereinigten Strom beider Ketten, d. h. einer aus 12 Elementen gebildeten Kette, erzeugt.

Aus den Differenzen der No. 1, 6 und 11 in den genannten beiden Columnnen ergibt sich der Unterschied in der Hubzeit beider Elektromagnete im Mittel =  $6,3^{\circ}$ ; um so viel schlägt die linke Spitze später als die rechte.

Die Differenzen der übrigen Zahlen der dritten und vierten Columnne liefern das Zeitintervall zwischen dem Entstehen des Tones und des infolge seines Hörens mit der Hand auf den Hebel des Tasters ausgeführten Drucks. Das Mittel der Differenzen 2 bis 6 ist =  $212,0^{\circ}$ ; das Mittel der Differenzen 7 bis 11 ist =  $195,5^{\circ}$ ; das Mittel aus allen 8 Versuchen also =  $203,7^{\circ}$ . Da nun die Hubzeit des linken Elektromagnets, der durch das Fallen des Hammers in Bewegung gesetzt ist, um  $6,3^{\circ}$  gröfser ist, so ist das vorstehende Mittel um diesen Betrag zu erhöhen, so dafs das mittlere Zeitintervall zwischen dem Entstehen des Tones und dem ausgeübten Drucke der Hand durch eine Drehung der Paraffinscheibe um  $210,0^{\circ}$  gemessen wird. Mit Rücksicht auf die zuvor genannte Umlaufszeit von 300 Rotationen entspricht eine Drehung von  $1^{\circ}$  der Scheibe  $0,0007374$  Sec.

Die Abweichungen der einzelnen Versuche von dem obigen Mittel betragen:



in No.	in Graden	in Zeit
2	+ 21,4 <sup>o</sup>	+ 0,0158 Sec.
3	+ 2,9	+ 0,0021 »
4	+ 6,0	+ 0,0041 »
5	+ 2,8	+ 0,0021 »
7	— 24,2	— 0,0178 »
8	— 4,6	— 0,0034 »
9	— 2,8	— 0,0021 »
10	— 1,0	— 0,0007 »

Die größte Abweichung eines einzelnen Versuchs vom Mittel steigt hiernach bis 0,0178 Secunde, erreicht also noch nicht den Werth von 0,02 Sec.

Bei einer anderen ähnlichen Versuchsreihe, wobei der Hammer nicht auf ein Platinblech, sondern auf eine Metallglocke schlug, aber ebenfalls einen kurzen und scharfen Ton erzeugte, betrug das Maximum der Abweichung eines Versuchs vom Mittel aus 8 Versuchen 0,01409 Sec.

Aehnliche Resultate gaben andere Versuchsreihen, so daß ich also behaupten darf, daß ich bei gehöriger Aufmerksamkeit und Uebung innerhalb einer Schwankung von noch nicht 0,02 Sec. auf das Hören eines scharfen, kurzen Schläges oder Tones ein Zeichen mit der Hand (durch Druck) zu geben vermag.

Bestimmung der Zeit, welche zwischen der Entstehung eines Tones und einem infolge der Wahrnehmung desselben mittelst der Hand ausgeübten Drucke verfliest.

Nicht bloß mit Rücksicht auf die Physiologie, sondern auch mit Rücksicht auf physikalische Untersuchungen sowie auf die praktische Astronomie ist die Beantwortung der Frage: welche Zeit vergeht zwischen dem Eintreten einer Erscheinung und eines unmittelbar nach ihrer Wahrnehmung mittelst eines Druckes der Hand gegebenen Zeichens, von Interesse. Ich will zunächst die Frage beantworten, wie groß dieser Zeitraum werde, wenn ein scharfer kurzer Schlag oder Ton mittelst des Gehörs wahrgenommen wird.

Die bereits in dem vorhergehenden Abschnitte ausführ-

lich mitgetheilte Versuchsreihe kann sofort zur Lösung der betreffenden Frage benutzt werden. Der herabfallende Hammer schloß möglichst genau in dem Augenblicke, wo er auf das Blech auftraf, durch das Eintauchen der Platinspitze *U* in das Quecksilber *X* die Kette des linken Elektromagnets. Um jedoch bei dem, wenn auch nur geringen, doch stets vorhandenen Zurückspringen des Hammers eine neue Oeffnung der Kette infolge eines Heraustretens der Platinspitze aus dem Quecksilber nach dem ersten Eintauchen unmöglich zu machen, mußte die Platinspitze ein wenig früher die Quecksilberfläche berühren, als der Hammer die metallische Unterlage (ein auf ein Kupferstück gelöthetes Platinstück) erreichte. Infolge dieses Umstandes wird der nachher zu ermittelnde Zeitunterschied etwas zu groß gefunden, indess ist der Fehler nur unbedeutend; übrigens läßt er sich, wie ich sogleich zeigen werde, durch eine geringe Aenderung des Apparates bestimmen und in Rechnung ziehen.

Sehen wir zunächst von ihm ab, d. h. nehmen an, daß die Kette des linken Elektromagnets in demselben Augenblicke geschlossen werde, in welchem der fallende Hammer das untergelegte Blech trifft, so lehrt die Versuchsreihe des vorhergehenden Abschnittes, daß zwischen der Entstehung des Tones und der unmittelbar darauf ausgeführten Druckbewegung im Mittel eine Zeit verfließt, welche bei der S. 149 angegebenen Rotationsgeschwindigkeit einem Lagenunterschiede der Marken von  $210,0^\circ$  entspricht. Da nun  $1^\circ = 0,0007374$  Sec. ist, so betragen  $210,0^\circ$ ,  $0,1549$  Sec.

Das Ohr stand bei den betreffenden Versuchen um  $0,6$  Meter von dem Orte der Erzeugung des Schalles ab. Um den Weg von  $0,6$  Meter zu durchlaufen, bedarf die Schallbewegung  $0,0018$  Sec. Wird dieser Werth von  $0,1549$  Sec. abgezogen, so bleiben  $0,1531$  Sec. Dieses Zeitintervall verfloss also, bevor ich im Stande war, auf die Wahrnehmung eines Tones durch den Druck mit der Hand ein Zeichen zu geben.

Zuvor wurde erwähnt, daß die Platinspitze ein wenig früher die Quecksilberfläche erreicht hat, als der Hammer

seine metallische Unterlage. Der Unterschied betrug dem Raume nach ungefähr  $\frac{1}{2}$  Millimeter. Die infolge des Falles des Hammers erzeugte Marke entsteht also etwas früher als der Ton. Es ist leicht, mittelst des Apparates selbst die zwischen dem Eintauchen der Platinspitze in das Quecksilber und dem Aufschlagen des Hammers verflossene Zeit zu messen.

Zu diesem Behufe wurde anstatt des gläsernen mit Quecksilber gefüllten Gefäßes X ein hölzernes angebracht, das durch eine Glaswand in zwei getrennte Hälften geschieden war, und die bisher angewandte eine Platinspitze durch zwei mittelst Elfenbein von einander isolirte Platinspitzen ersetzt. Die Anordnung der Leitung war weiter dergestalt getroffen, daß beim Herabfallen des Hammers von den beiden Spitzen je eine in das Quecksilber der einen Hälfte des hölzernen Gefäßes eintauchte, und dadurch je eine der beiden mit den Elektromagneten in Verbindung stehenden Ketten schloß. Die Platinspitzen wurden nun z. B. in einem Versuche so gestellt, daß die eine noch ungefähr 1<sup>mm</sup> oberhalb der unter ihr befindlichen Quecksilberfläche stand, während die andere Spitze in das Quecksilber auf ihrer Seite so eben eintauchte. Der Schluß der zu der letztern Spitze gehörigen Kette erfolgte also so viel früher, als die andere Spitze Zeit gebrauchte, um bei ihrem Fallen das bis zur Berührung des Quecksilbers noch fehlende Millimeter zurückzulegen. Durch Stellung des S. 143 erwähnten Commutators in die eine Lage konnte der Unterschied in der Hubzeit der beiden Elektromagnete, und durch Stellung in die andere Lage der Unterschied der Zeitpunkte des Eintauchens gemessen werden. Wurden diese letzteren Messungen mit Rücksicht auf den gefundenen Unterschied der Hubzeiten corrigirt, so ergab sich in der angedeuteten Versuchsreihe ein Zeitunterschied von 0,003432 Sec.

Um den Einfluß des zu frühen Eintauchens bei den früheren Versuchen auszuschneiden, wird es also hinreichen, die Hälfte der vorstehenden Angabe von dem oben erhaltenen Werthe 0,1531 Sec. abzuziehen, so daß mithin genauer die

Zeit, welche in der obigen Versuchsreihe für mich im Mittel nöthig war, um nach dem Anlangen des Schalles an mein Ohr eine Bewegung mit der Hand auszuführen, 0,1514 Sec. betrug.

Mit dem vorstehenden Werthe stimmen die Mittel anderer Versuchsreihen nahe überein; so gab z. B. eine  $\frac{1}{2}$  Jahr früher ausgeführte Versuchsreihe nach Anbringung der nöthigen Correctionen für die Entfernung des Ohres von der Erzeugungsstelle des Schalles und des etwas zu frühen Eintauchens der Platinspitze den Werth 0,1452 Sec. Von zwei ein Jahr zuvor an demselben Nachmittage ausgeführten Versuchsreihen lieferte die eine den Werth 0,1551 Sec.

Das Mittel aus allen 4 Messungen beträgt 0,1505 Sec. Die Abweichungen der zu sehr verschiedenen Zeiten gefundenen einzelnen Werthe vom Mittel erreichen, wie man sieht, nicht 0,01 Sec.

Bei den vorstehenden Beobachtungen war der erzeugte Schlag kurz, scharf und ziemlich laut. Verliert er diese Eigenschaften, so wird die Zwischenzeit, in welcher ich mit der Hand die Druckbewegung auszuführen vermag, im Mittel je nach den Umständen 0,01 bis 0,03 Sec. gröfser.

Eine solche Vergröfserung trat z. B. ein, als ich den Hammer, um das Zurückspringen zu vermeiden, auf einen Wachsklumpen fallen liefs<sup>1)</sup>; oder, wie wir später sehen werden, als der Schall durch Entfernung von seinem Entstehungsorte geschwächt wurde.

In Versuchsreihen, bei welchen mehrere meiner an Ausführung von Versuchen gewöhnten Bekannten den Hebel des Tasters nach Wahrnehmung des Falles des Hammers niederdrückten, erhielt ich etwas gröfsere Zahlen als meine eigenen Bewegungen ergaben; aber auch hierbei stellte sich für jeden derselben ein gewisser Mittelwerth heraus.

In drei von einem meiner Freunde unmittelbar nach ein-

1) Bei dem Geräusche der zum Betriebe der Scheibe und des Papierstreifens im Registrirapparate dienenden Räderwerke, so wie bei den Secundenschlägen des einen Elektromagnets in letzterem hatte man Mühe den Fall des Hammers auf das Wachs zu hören.

ander angestellten Versuchsreihen erhielt ich z. B. für die einzelnen Versuchsreihen die Mittelwerthe (bereits corrigirt wie oben) 0,1855, 0,1849 und 0,1961 Sec.; wobei die Abweichungen der einzelnen Messungen von ihrem Mittel noch 0,05 Sec. etwas überstiegen.

In drei ähnlichen von einem anderen Freunde ausgeführten Versuchsreihen ergab sich der Mittelwerth der drei Versuchsreihen 0,1796, 0,1672 und 0,1774, wobei die Abweichungen der einzelnen Messungen von ihrem Mittel ebenfalls bis 0,05 Sec. stiegen.

In einer ersten von einem jungen Mädchen ausgeführten Versuchsreihe stieg der Mittelwerth der zwischen dem Antreffen des Schalles an das Ohr und der Ausführung einer Druckbewegung durch die Hand verflossenen Zeit bis 0,2528 Sec.; in einer kurz darauf ausgeführten sank er, wahrscheinlich infolge der erlangten Uebung, bis auf 0,2265 Sec. Dafs diese Verringerung in der That eine Folge der durch die erste Versuchsreihe erlangten Uebung war, dürfte auch aus dem Umstande sich ergeben, dafs die Abweichungen der einzelnen Messungen vom Mittel in der ersten Versuchsreihe bis 0,0554 Sec., dagegen in der zweiten nur bis 0,0363 Sec. stiegen. Bei einer Wiederholung der Versuche nach Jahresfrist ergab sich ebenfalls wieder ein Zeitintervall von 0,2246 Sec.

In einer von einer älteren Dame ausgeführten Versuchsreihe betrug der Mittelwerth 0,2680 Sec., während die Abweichung vom Mittel bis 0,0532 Sec. stiegen.

Bei ungeübten Beobachtern darf man erwarten, dafs im Allgemeinen die grössten Abweichungen der einzelnen Versuche vom Mittel auf Seite der grösseren Intervalle liegen werden, was sich auch durch die Beobachtungen bestätigt. Bei meinen eigenen Messungen sind die Maxima der Abweichungen der einzelnen Versuche vom Mittel im positiven und negativen Sinne gewöhnlich ziemlich gleich, und das absolute Maximum liegt bald auf der positiven bald auf der negativen Seite.

Zur Beurtheilung der vorstehenden Resultate scheint mir

die Bemerkung nicht überflüssig, dafs, wenn auch zwischen den Schlägen des Hammers, je nach der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe, eine Zeit von 7 bis 14 Secunden verging, man doch wenigstens eine ungefähre Erwartung des Augenblickes hatte, in welchem der Schlag erfolgen würde. Entsteht ein Schlag völlig unerwartet, so wird die Zwischenzeit zwischen seiner Ankunft am Ohre und dem Drucke der Hand sicherlich etwas vergrößert werden.

Bestimmung des Zeitraumes zwischen dem Aufblitzen eines Lichtes und dem Ausüben eines Druckes mit der Hand.

Es wurden zwei verschiedene Vorrichtungen construiert, mittelst deren in dem Augenblicke, wo eine gegen den hellen Himmel gerichtete, aber für gewöhnlich von einem schwarzen Schirme bedeckte Spalte plötzlich durch Niederdrücken eines Hebels frei wurde, der Schluß der einen Kette aus 6 Elementen eintrat. Ich beobachtete aus der Entfernung von einigen Fussen den Ort der Spalte, und übte sofort nach dem Wahrnehmen der hellen Lichtlinie einen Druck auf den Hebel des sogenannten Tasters aus, um hierdurch die Kette der 6 übrigen Elemente zu schliessen. Es wurden auch jetzt wieder in jeder Versuchsreihe 11 Messungen gemacht, und ebenso wie früher die 1., 6. und 11 Messung durch geeignete Stellung des S. 143 erwähnten Commutators zur Bestimmung des Unterschiedes in der Hubzeit der beiden Elektromagnete benutzt. Ich führe in dem Folgenden gleich die Mittelwerthe aus den 8 übrigen Beobachtungen, bei denen die eine Kette durch Niederdrücken des Hebels am Taster geschlossen wurde, an. Das Niederdrücken des Hebels, welcher die Spalte öffnete, geschah durch einen Gehülfen, und zwar stets einige Secunden nach dem Herabfallen des Hammers; das Oeffnen der Spalte erfolgte also nicht ganz unerwartet, sondern war durch den Schlag des Hammers angekündigt. Um nicht den Schlag des durch das Oeffnen der Spalte in Thätigkeit gesetzten Elektromagnets zu hören, und etwa durch diesen Schlag zum Niederdrücken des Hebels am Taster verleitet zu werden, hatte

ich meine Ohren so mit Baumwolle verstopft, dafs ich den Schlag dieses Elektromagnets nicht mehr hören konnte, während der lautere Schlag des fallenden Hammers noch hinreichend wahrnehmbar blieb. Diese Vorsicht war durch den wohl nicht erwarteten Umstand geboten, dafs die Zeit, welche nach dem Sehen eines Vorganges verfließt, bevor ich mit der Hand eine Druckbewegung auszuführen vermag, nicht unerheblich gröfser ist als diejenige, welche zwischen dem Anlangen eines Schalles an dem Ohre und einer infolge dessen ausgeführten Druckbewegung verfließt.

Die folgenden Beobachtungen wurden zu sehr verschiedenen Zeiten gemacht. Die erste Columnne enthält die zwischen dem Oeffnen der Spalte und der Druckbewegung verfllossene Zeit im Mittel aus je 8 Versuchen, während in der zweiten Columnne sich die gröfste Abweichung in jeder Reihe von diesem Mittel verzeichnet findet:

1.	0,2127 Sec.	0,0718 Sec.
2.	0,2195 "	0,0449 "
3.	0,2013 "	0,0173 "
4.	0,2139 "	0,0687 "
5.	0,1762 "	0,0176 "

Die drei ersten Versuchsreihen waren mit dem einen, die beiden letzten nach Jahresfrist mit einem anderen Apparate ausgeführt worden. Das Mittel aus den 5 Werthen der ersten Columnne beträgt 0,2057 Sec., ist also erheblich gröfser, als der entsprechende Werth im vorigen Abschnitt 0,1505 Sec. Ausserdem ist auch die Unsicherheit einer einzelnen Beobachtung viel gröfser beim Sehen als beim Hören; sie kann, wie man sieht, bei mir unter ungünstigen Umständen selbst bis 0,07 Sec. steigen.

Man könnte vielleicht den Einwand machen, dafs die Versuche in der bisherigen Form nicht recht vergleichbar seyen mit den im vorigen Abschnitte behandelten, indem der Eindruck des hellen Himmellichtes nicht stark genug gewesen sey, obwohl derselbe, wie ich bemerken mufs, auf dem schwarzen Grunde des Schirmes, welcher die Spalte umgab, sehr grell hervortrat. Um diesen Einwand zu entkräften:

liefs ich das Lichtzeichen auf andere Weise geben. An einem sogenannten Taster wurde eine Einrichtung in der Art angebracht, dafs in dem Augenblicke, in welchem durch das Niederdrücken des gewöhnlichen Hebels die eine Kette aus 6 Elementen geschlossen wurde, eine aus mehreren Elementen (Zink-, Kohle-, Salpetersäure) bestehende Kette geöffnet wurde. Der Strom dieser letzteren Kette durchlief die innere Rolle eines starken Inductionsapparates; im Augenblicke des Oeffnens entstand in der äufsern Spirale desselben ein Inductionsstrom, der zwischen zwei vor meinen Augen befindlichen Spitzen als Funken überging. Sofort nach dem Wahrnehmen dieses Funkens drückte ich den Hebel des bereits früher gebrauchten Tasters, welcher die aus den 6 anderen Elementen bestehende Kette schlofs, nieder. Ich fand die Zeit zwischen dem Schlusse der ersten Kette (mit dem wir wohl für die hier nöthige Genauigkeit die Entstehung des Inductionsfunken gleichzeitig setzen dürfen), und zwischen dem Schlusse der zweiten Kette in zwei Versuchsreihen 0,2268 und 2447 Sec.

In einer von einem jungen Mädchen ausgeführten Versuchsreihe betrug der Zeitraum zwischen dem Oeffnen der Lichtspalte und der Druckbewegung durch die Hand 0,2525 Sec. (größte Abweichung vom Mittel 0,0196 Sec.), während in einer anderen bald darauf ausgeführten Versuchsreihe über die Zeit zwischen dem Anlangen eines Schalles am Ohre und dem mit der Hand ausgeübten Drucke nur 0,2246 Sec. (größte Abweichung vom Mittel 0,0536 Sec.) erhalten wurden.

Im Allgemeinen dürfte also wohl die Behauptung als richtig gelten, dafs der Zeitraum zwischen dem Wahrnehmen einer Erscheinung und dem Ausführen einer Druckbewegung mit der Hand kürzer ausfällt, wenn die betreffende Erscheinung mittelst des Ohres als wenn sie mittelst des Auges aufgefaßt wird. Die äufseren Verhältnisse, unter welchen die mitgetheilten Versuche ausgeführt wurden, kann man insofern als einander entsprechend betrachten, als, während auf das Auge zerstreutes Tageslicht einwirkte, das Ohr dem fort-



währenden Getöse der umlaufenden Räderwerke, so wie den harten Secundenschlägen des Registrirapparates ausgesetzt war.

*Bestimmung der Zeit zwischen einem auf den rechten Vorderarm ausgeübten Drucke und der nach Wahrnehmung desselben mit der Hand dieses Armes ausgeführten Druckbewegung.*

Es schien mir nicht ohne Interesse zu seyn, mit den beiden im Vorstehenden angegebenen Zeiträumen, welche zwischen der Einwirkung eines Vorganges auf das Gesicht oder Gehör und zwischen der Ausführung einer Druckbewegung durch die Hand verfließen, denjenigen zu vergleichen, welcher zwischen dem Eindrücke eines mäßig starken Schlages auf den Arm und einer infolge dieser Empfindung ausgeführten Druckbewegung verläuft.

Um derartige Messungen ausführen zu können, befestigte ich mittelst Kupferdrähten ein Platinblech auf meinem rechten Unterarme; durch einen von einem Gehülfen mittelst einer massiven Messingkugel auf dieses Blech ausgeführten Schlag oder Stofs wurde die eine aus 6 Elementen bestehende Kette geschlossen, während ich durch die rechte Hand sofort nach der Empfindung dieses Schlages die Kette zu schliessen suchte. Der Schlag war stets einige Zeit nach dem Niederfallen des Hammers  $T$  gegeben, so dafs er nicht völlig unerwartet kam.

In einer ersten Versuchsreihe erhielt ich den Zeitraum zwischen dem Schlage und dem durch meine Hand ausgeführten Drucke  $= 0,1475$  Sec. (größte Abweichung vom Mittel  $0,0368$  Sec.), in einer zweiten unmittelbar darauf ausgeführten  $= 0,1614$  Sec. (größte Abweichung  $0,0528$  Sec.). Nach Verlauf eines Jahres erhielt ich bei einem analogen Verfahren jenen Zeitraum  $= 0,1548$  Sec. (größte Abweichung  $0,0635$  Sec.).

Das Mittel aus allen drei Versuchsreihen beträgt  $0,1546$  Sec., weicht also nur wenig von dem oben S. 153 für die Ausführung einer Druckbewegung nach dem Hören angegebenen Mittel ab; dagegen ergab sich die Unsicherheit der einzelnen Messungen größer.

Bei einer von einem jungen Mädchen ausgeführten analogen Versuchsreihe betrug der Zeitraum zwischen dem Schlage auf den Arm und dem mit der Hand ausgeübten Drucke 0,2003 Sec. (größte Abweichung vom Mittel 0,0615 Sec.), während einige Tage zuvor der Zeitraum zwischen dem Hören und dem Drucke (S. 154) 0,2246 Sec. gefunden worden. Während für mich die beiden Zeiträume sich nahe gleich ergeben hatten, war in dem letzten Falle die Zeit für Ausführung einer Druckbewegung nach einem Schlage auf den Arm etwas kleiner als nach dem Hören eines kurzen scharfen Tones.

Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft.

Bisher sind zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles stets größere Distanzen benutzt worden. Die Genauigkeit in der Zeitmessung, welche der zu den vorstehenden Versuchen angewandte Apparat gestattet, so wie die bei hinreichender Uebung eintretende exacte Ausführung einer Druckbewegung mittelst der Hand nach dem Hören eines kurzen Schlages lassen erwarten, daß es möglich seyn werde, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles auch bei Verwendung mäßiger Distanzen mit einer den bisherigen Bestimmungen nicht nachstehenden Genauigkeit zu messen.

Die größte innerhalb der Räume des physikalischen Cabinets der hiesigen Universität zur Verfügung stehende Distanz, auf welche solche Versuche ausgeführt werden konnten, betrug 25,76 Meter, und ich habe den Versuch gemacht, aus der Verbreitung des Schalles auf diese Entfernung hin seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu bestimmen.

In die Bahn jeder der aus 6 Elementen bestehenden galvanischen Ketten wurden zwei gegen 27 Meter lange mäßig starke Kupferdrähte eingeschaltet und parallel neben einander auf dem Fußboden von dem zur Zeitmessung dienenden Apparate, der an dem einen Ende jeder Distanz von 25,76 Meter stand, durch mehrere Zimmer hindurch bis zu dem andern Ende derselben hingeleitet. Die beiden Drähte, wel-

che in die durch den Fall des Hammers zu schließende Kette eingeschaltet waren, wurden unmittelbar mit ihren Enden verknüpft, während die Enden der beiden Drähte in der anderen Kette mit einem eben solchen Taster (Schlüssel) verbunden wurden, wie er bereits unmittelbar neben dem Räderwerke in eben diese Kette eingeschaltet war. Während der Messungen selbst wurde der Hebel des einen dieser beiden Taster durch angehängte Gewichte niedergedrückt erhalten, so daß das Niederdrücken des Hebels an dem anderen den Schluß der Kette bewirkte. Ich ziehe es im vorliegenden Falle vor, die einzelnen Messungen selbst mitzutheilen, damit Jeder sich leichter eine klare Einsicht in die auf diesem Wege zu erzielende Genauigkeit verschaffen könne.

Eine erste Versuchsreihe führte ich auf diese Weise aus, daß der Hebel des 25,76 Meter vom Zeitmessungsapparate entfernten Tasters durch Gewichte geschlossen gehalten wurde, während ich unmittelbar nach dem Schlage des Hammers den Hebel des neben dem Räderwerke befindlichen Tasters niederdrückte; das Ohr stand dabei von der Schallquelle um 0,6<sup>m</sup> ab. Bei einer zweiten Versuchsreihe wurde umgekehrt der letztere Taster durch angehängte Gewichte geschlossen gehalten, während ich in 25,76 Meter Entfernung nach Wahrnehmung des Schalles den Hebel des dort befindlichen Tasters niederdrückte. Eine dritte Versuchsreihe glich genau der ersten, eine vierte der zweiten. Wie früher S. 149 beschrieben, wurde auch jetzt in jeder Reihe der 1., 6. und 11. Versuch zur Bestimmung des Unterschiedes in der Hubzeit der beiden Hebel benutzt, und darnach der Winkelabstand der durch das Niederfallen des Hammers und der durch die Druckbewegung meiner Hand erzeugten Marken corrigirt.

1. Versuchsreihe		2. Versuchsreihe		3. Versuchsreihe		4. Versuchsreihe		
Dauer von 300 Umläufen der Scheibe								
92,39 Sec.		107,66 Sec.		81,82 Sec.		102,28 Sec.		
Unterschied beider Marken								
im Bogen	in Zeit Sec.	im Bogen	in Zeit Sec.	im Bogen	in Zeit Sec.	im Bogen	in Zeit Sec.	
212,8°	0,1821	291,1°	0,2903	—	—	264,9°	0,2510	
167,8	0,1485	262,4	0,2617	220,7°	0,1672	237,9	0,2254	
187,8	0,1607	252,5	0,2518	214,0	0,1621	232,4	0,2201	
187,7	0,1606	224,5	0,2239	208,0	0,1576	229,1	0,2170	
186,7	0,1413	219,5	0,2189	221,4	0,1675	261,1	0,2474	
170,5	0,1459	232,5	0,2319	188,9	0,1431	233,5	0,2212	
166,7	0,1426	226,1	0,2255	192,7	0,1460	—	—	
176,4	0,1508	— <sup>1)</sup>	—	222,0	0,1682	—	—	
Mittel	179,8°	0,1534	244,1°	0,2434	209,7°	0,1588	243,1°	0,2303

Das Mittel aus der 1. und 3. Versuchsreihe ist = 0,1561 Sec.; das Mittel aus der 2. und 4. Reihe aber = 0,2368 Sec. Die Differenz beider beträgt 0,0807 Secunden. Dieser Zeitraum ist also zur Fortpflanzung des Schalles durch einen Raum von 15,76 — 0,6 = 25,16 Meter verbraucht worden.

Die Temperatur zur Zeit der Beobachtungen betrug in den Zimmern 14,1° R. Nehmen wir die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles bei 0° = 332,2 Meter, so würde sie bei 14,1° R. oder 17,6° C. 342,7 Meter betragen, und der Schall zum Durchlaufen eines Raumes von 25,16 Meter eine Zeit von 0,0734 Sec. gebrauchen. Die vorstehenden Messungen ergaben 0,0807 Sec., also einen um 0,0073 Sec. zu hohen Werth.

So gering diese Abweichung auch ist, so scheint sie mir doch durch einen besondern Umstand bewirkt worden zu seyn. Schon oben S. 153 ist bemerkt worden, daß bei weniger harten und kurzen Schlägen die seitens der Hand ausgeführte Druckbewegung etwas später erfolgt; da nun bei den vorstehenden Messungen der Schall aufser durch den Abstand noch besonders durch den Umstand, daß er durch Oeffnungen dreier Thüren hindurchgehen mußte, sehr ge-

1) Wo die Zahlen fehlen, hatte die Spitze des einen Hebels die Paraffinfläche, die wahrscheinlich keine absolut genaue Ebene gewesen war, nicht erreicht.

schwächt wurde, so dürfte die im Schall eingetretene Veränderung eine geringe Verspätung der Druckbewegung veranlassen haben. Dafür spricht auch, daß für andere Beobachter bei gleichen Versuchen ebenfalls eine etwas zu große Zeit sich herausstellte. So ergab sich z. B. als Hr. Dr. Zöllner einen dem vorigen analogen Versuch ausführte, die Zeit zwischen dem Falle des Hammers und dem Niederdrücken des Hebels am Taster, als er 0,94 Meter von der Erzeugungsstelle entfernt war, im Mittel in einer Versuchsreihe = 0,1698 Sec. und in einer zweiten = 0,1612 Sec., während für dieselbe Zeit in dem Abstände von 25,67 Met. in einer Versuchsreihe 0,2496 Sec. und in einer zweiten 0,2363 Sec. erhalten wurden. Die Differenz der Mittel beträgt hiernach 0,0774 Sec.

Bei diesen Messungen war die Temperatur der Luft 21° C.; die Geschwindigkeit des Schalles würde also 344,7 Meter betragen haben, und zum Durchlaufen eines Raumes von 24,82 Meter würden 0,0720 Sec. erforderlich gewesen seyn. Die Differenz zwischen dem beobachteten Werthe 0,0774 und dem berechneten beträgt also 0,0054 Sec., und zwar ist wieder der beobachtete Werth um diesen Betrag größer als der berechnete.

Ich habe im Vorstehenden die von Moll im Jahre 1823 gefundene Geschwindigkeit des Schalles zu Grunde gelegt; die in den vorhergehenden Abschnitten über den Zeitunterschied zwischen dem Wahrnehmen einer Erscheinung durch die verschiedenen Sinne und der Ausführung einer Druckbewegung mitgetheilten Messungen, sowie die bekannten Verschiedenheiten in den persönlichen Fehlern bei astronomischen Beobachtungen dürften eine Wiederholung der Messung der Schallgeschwindigkeit mit Rücksicht auf alle jetzt bekannten Fehlerquellen nicht überflüssig erscheinen lassen. Bei Anwendung eines dem zuvor beschriebenen analogen Verfahrens würde eine Distanz von noch nicht 1000 Meter hinreichen, um die Schallgeschwindigkeit weiter als auf  $\frac{1}{500}$  genau zu ermitteln, da zufolge der zuvor berichteten Beobachtungen die Abweichungen sich innerhalb 0,01 Sec. halten.

Messung der Verzögerung in der Ausbildung eines elektrischen Stromes durch Einschaltung von spiralförmigen um Eisenkerne gewundenen Drähten.

Zum Schlufs will ich noch auf eine andere Verwendung des vorstehend beschriebenen Apparates eingehen, nämlich auf die Verwendung desselben zur Messung der Verzögerung in der Ausbildung elektrischer Ströme, und zwar möge hier als Beispiel der Fall dienen, wo zwar gleiche Widerstände, aber in verschiedener Form in die Bahn der Kette eingeschaltet werden.

Um einen massiven hufeisenförmigen Eisenkern, dessen Schenkel gegen 500<sup>mm</sup> Länge und 108<sup>mm</sup> im Durchmesser hatten, waren gegen zwei Centner eines 2,2<sup>mm</sup> dicken mit Baumwolle und Gutta percha überspannenen Kupferdrahtes gewunden. Die gesammte Drahtmasse war auf vier Rollen vertheilt, die auf die Schenkel des Eisens aufgesetzt werden konnten: es wurden jedoch die Drähte so mit einander verknüpft, dafs ein elektrischer Strom nicht den ganzen Draht hintereinander, sondern, durch Zusammennehmen je zweier Rollen, nur einen Draht von halber Länge, aber doppelter Dicke zu durchlaufen hatte. Sodann war mittelst eines Differentialgalvanometers ein auf einem dicken Serpencylinder aufgewundener Neusilberdraht so abgeglichen, dafs er einem constanten Strome denselben Widerstand wie jener Kupferdraht darbot. Es sollte nun ermittelt werden, wie grofs die Verzögerung in der Ausbildung eines elektrischen Stromes ausfällt, bis er einen Elektromagnet bis zum Anziehen seines Ankers magnetisirt hat, wenn der Strom erst den Neusilberdraht und sodann anstatt dessen den spiralförmigen Kupferdraht von gleichem galvanischem Widerstande zu durchlaufen hat.

Zu diesen Bestimmungen mufste die Anordnung etwas anders getroffen werden, als zuvor. Anstatt der einen Platinspitze *U* wurden die schon S. 152 erwähnten zwei, durch Elfenbein von einander isolirten Platinspitzen an dem vorderen Ende des Hammers angebracht, und unter ihnen das in zwei Hälften geschiedene hölzerne Gefäfs aufgeschraubt.

Beim Niederfallen des Hammers schlossen die beiden Spitzen durch Eintauchen in die Quecksilbermassen der beiden Hälften des hölzernen Gefäßes zwei getrennte galvanische Ketten. Die eine Spitze schloß eine Kette von 6 Zink-Kohlen-Elementen, welche während einer Versuchsreihe völlig ungeändert blieb, und erzeugte daher stets in gleicher Weise eine Marke auf der Paraffinscheibe. Die andere Spitze dagegen schloß eine aus den gewöhnlichen 6 Zink-, Kohlen-, und aus einigen hinzugefügten Daniell'schen Elementen bestehende Kette, in deren Bahn abwechselnd der Neusilberdraht und die Kupferspiralen eingeschaltet wurden; brachte letztere eine Verzögerung hervor, so mußte die Marke auf dem Paraffinringe später erscheinen, als bei Einschaltung des im Widerstande gleichwerthigen Neusilberdrahtes.

Die beiden Platinspitzen brauchen nicht gleichzeitig in das Quecksilber einzutauchen; es genügt, wenn der Unterschied in ihrem Eintauchen ungeändert derselbe bleibt, da die gesuchten Werthe durch die Differenzen der Marken, welche die zweite Spitze veranlaßt, gefunden werden.

Es möge hier eine Beobachtungsreihe ausführlich mitgeteilt werden.

		Marken durch die unverändert bleibende Kette	Marken durch die zweite Kette bei Einschaltung des Neusilberdrahtes	der Kupfer- spiralen	Unterschiede
	Sec.				
1	0,00	290,5		330,9	40,4
2		291,0	295,0		4,0
3		292,0		333,9	41,9
4		294,0	297,7		3,7
5		295,1		340,5	45,4
6		290,1	294,2		4,1
7		284,1		325,3	41,2
8		285,0	289,5		4,5
9		283,3		324,5	41,2
10		285,0	289,1		4,1
11	131,23	286,3		326,5	40,2

Das Mittel der letzten Columnne ist 41,72, der vorletzten 4,08; im Mittel ist also durch die Einschaltung der Kupfer-

spiralen eine Verzögerung um  $41,72 - 4,08 = 37,64^\circ$  eingetreten. Die Zeit zu 300 Umläufen betrug nach den Zahlen der zweiten Columnne 131,23 Sec.; einer Verzögerung um  $37,64^\circ$  entspricht also ein Zeitraum von 0,04573 Sec.

Bei der eben beschriebenen Versuchsreihe waren die Pole des grossen Hufeisens frei; in einem folgenden Versuche wurden dieselben jeder mit einem sogenannten Halbanker (Eisenstück von 230<sup>mm</sup> Länge, 111,8<sup>mm</sup> Breite und 47,0<sup>mm</sup> Höhe) bedeckt, und die einander zugewandten etwas konisch verjüngten Enden dieser Eisenstücke bis auf einen geringen Abstand einander genähert. Durch diesen Umstand stieg, unter sonst gleichen Bedingungen, die Verzögerung von 0,04573 Sec. auf 0,06334 Sec.

Diese Versuche lehren deutlich, wie alle Messungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität bei Anwendung von Drähten, die spiralförmig gewunden sind und Eisenkerne enthalten, durchaus unbrauchbar sind.

Die bisher behandelten Fälle werden genügen, um die mannigfache Verwendung des beschriebenen Apparates darzulegen; die Mittheilung der Resultate anderer damit ausgeführter Versuchsreihen behalte ich einer späteren Mittheilung vor.

## VI. *Untersuchungen über die Dichtigkeit des Ozons; von Hrn. J. L. Soret.*

(*Compt rend. T. LXI, p. 941 et T. LXIV, p. 904.*)

### Erster Artikel.

Was man gegenwärtig über die volumetrischen Relationen des Ozons weifs<sup>1)</sup> läßt sich folgendermassen zusammenfassen:

1. Gewöhnlicher Sauerstoff verringert sein Volum wenn man ihn ozonisirt, d. h. theilweis in Ozon verwandelt, z. B. durch Elektrisiren.

1) Siehe Ann. Bd. CXXI, S. 268.