Tafel zur Abhandlung:
Über das electrische Leitungsvermögen etc.

© Naturwiss. med. Verein Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Taf. 1.

Fig. 1.

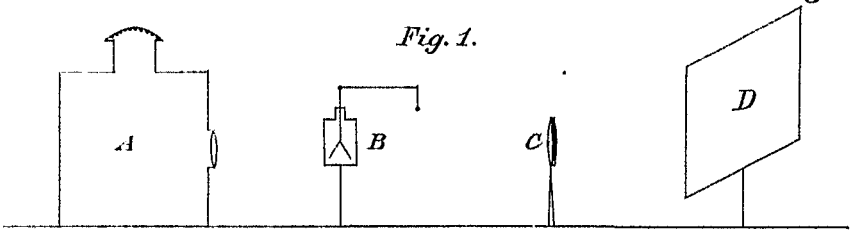


Fig. 2.

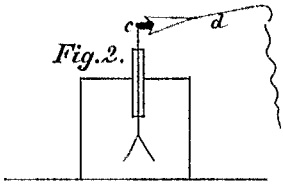


Fig. 3.

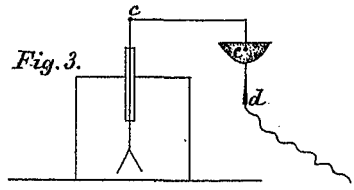


Fig. 4.

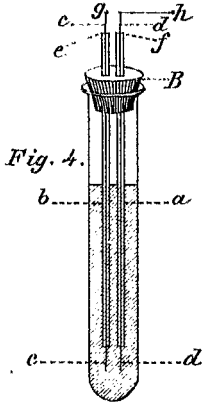


Fig. 5.

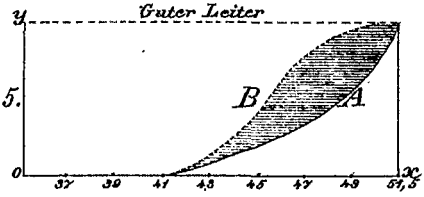


Fig. 6.

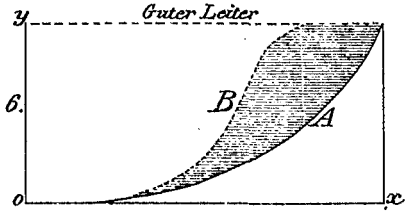
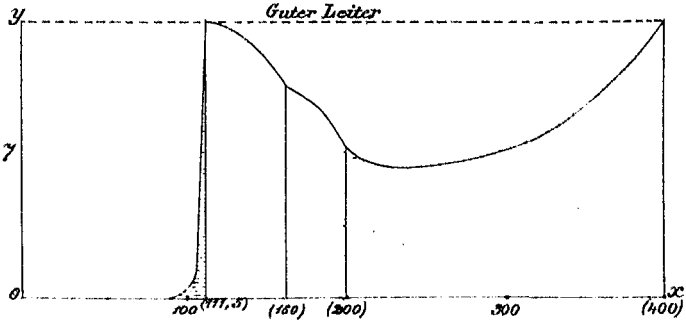


Fig. 7



© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Ueber das electrische Leitungsvermögen einiger Körper bei verschiedenen Temperaturen und Aggregatzuständen.

Von Anton Ritter v. Trentinaglia.

Seitdem der englische Physiker Gray im Jahre 1727 durch seine Entdeckung des elektrischen Leitungsvermögens die frühere Ansicht über die Unmöglichkeit der Hervorrufung eines electrischen Zustandes in einem anelectrischen Körper gänzlich gestürzt hatte, stellte sich die Nothwendigkeit ein, wenigstens die allergewöhnlichsten Körper des organischen und anorganischen Naturreiches in Bezug auf ihr Leitungsvermögen einer näheren Untersuchung zu unterwerfen.

Die ausführlichsten Untersuchungen in dieser Hinsicht sind von Riess, Wiedemann, Karsten, Munck af Rosenschöld, Morgan, Davy etc. angestellt worden. Sie beziehen sich im Wesentlichen auf das Leitungsvermögen einiger Mineralien in krystallisirtem und pulverförmigem Zustande, einiger chemischer, organischer und anorganischer Verbindungen, einiger luftförmiger Stoffe und des Vacuums, sowie auf die gewöhnlichsten Modifikationen des Leitungsvermögens durch Wärmezufuhr.

Die vorliegende Abhandlung verfolgt nun einen vierfachen Zweck. Erstens soll sie die Anzahl der bisher in Bezug auf ihr Leitungsvermögen unter gewöhnlichen Umständen untersuchten Körper vermehren, zweitens die Resultate einiger Messungen in Betreff der Entladungszeit von Halbleitern enthalten, drittens die bei einer Aenderung des Aggre-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

gatzustandes auftretenden Modificationen des Leitungsvermögens von Isolatoren darlegen und zum Schlusse noch einige Aufklärungen geben über das Leitungsvermögen derselben Isolatoren bei Temperaturen, welche unter den Schmelzpunkt der betreffenden Substanzen zu liegen kommen.

Ich will nun vorerst das Arrangement etwas näher beleuchten, welches zu den diesbezüglichen Versuchen getroffen wurde.

Den gegebenen electrisirten Körper repräsentirte ein Goldblattelectroscop, bei welchem eine Divergenz der Blättchen mittelst Vertheilung hervorgerufen wurde. Um die Grösse und Schnelligkeit der Abnahme der electrischen Ladung am Electroscop genauer schätzen zu können, wurde statt der directen Beobachtung der Blättchen das Projectionsverfahren angewendet, welches darin bestand, dass der Ausschlagswinkel durch eine Laterna magica auf einen weissen Schirm projicirt wurde, auf welchem ein Gradbogen verzeichnet war. Das Arrangement ist aus Figur 1 Tab. I. ersichtlich.

A repräsentirt die Laterna magica (Dubosq'sche Lampe mit Gasbeleuchtung).

B das Goldblattelectroscop.

C eine Linse.

D den weissen Schirm.

Die zu untersuchenden Körper wurden nun, wenn in Krystallform, in eine Metallfassung gebracht, wenn in Pulverform, in ein Metallschälchen gefüllt und wie Fig. 2 und 3 Tab. I. zeigt, mit dem Knopf c des geladeneu Electroscopes in Berührung gebracht, während der Griff d eine gute Ableitung besass.

Der resultirende Effect wurde an dem Schirm D beobachtet.

Die der Untersuchung unterworfenen Körper bestanden aus Metallsalzen, einigen organischen Verbindungen und einer kleinen Anzahl von Harzen.

Bevor ich zur Aufstellung der Tabelle schreite, welche

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

die Versuchsresultate über das unter gewöhnlichen Umständen geprüfte Leitungsvermögen der fraglichen Körper enthält, sei noch ein Wort über die bei derlei Untersuchungen nothwendige directe Zeitbestimmung gestattet.

Wie bekannt, diente schon ursprünglich eine ungefähre Zeitmessung als Grundlage, um alle in Untersuchung gezogenen Stoffe in 3 Reihen einzutheilen, nämlich in die Reihe der guten Leiter, Halbleiter und Isolatoren. Einige wenige Versuche zeigen jedoch zur Genüge, dass von einer Zeitmessung im eigentlichen Sinne des Wortes bei derlei allgemeinen Untersuchungen keine Rede sein konnte. Denn entweder fielen bei einem derartigen Versuche die Goldblättchen fast momentan zusammen, und man hatte einen guten Leiter, oder innerhalb kurzer Zeit, und man hatte einen Halbleiter, oder endlich gar nicht, und man hatte einen Isolator vor sich. Ob im zweiten Falle die Reduzirung des Ausschlagswinkels auf Null innerhalb einer, zwei oder mehrerer Sekunden vor sich geht, ist für die ursprüngliche Eintheilung ganz werthlos.

Von wirklichem Interesse dürfte die Zeitbestimmung wohl nur für Halbleiter und im Falle anderweitiger mit einem Körper vorgenommener Veränderungen sein und wäre für diesen Zweck, wenn grosse Genauigkeit gefordert wird, auf electrischem Wege mittelst eines Sekundenpendels und Stimmgabelschwingungen auf die bekannte Weise auszuführen, während für gewöhnliche Versuche eine genaue Sekundenuhr genügen würde. Bei der von mir unternommenen Versuchsreihe stellte sich die Nothwendigkeit ein, die frühere Eintheilung in 3 Reihen um eine zu vermehren, da sich Körper vorfanden, deren Leitungsvermögen auf Grund der hiebei vorgenommenen Zeitmessung dazu berechtigte, ihnen eine Stellung zwischen den guten Leitern und den Halbleitern anzuweisen. Diejenigen Körper ferner, die sich durch den Versuch als Halbleiter herausstellten, wurden in Betreff ihrer Leitungsfähigkeit zum grössten Theile ebenfalls einer Zeitmessung unterworfen und zwar theils auf electrischem Wege

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

mittelst Stimmgabelschwingungen, theils mit Zuhilfenahme einer genauen Sekundenuhr. Die folgende Tabelle enthält nun die Resultate der allgemeinen Versuchsreihe ohne die Messungen der Entladungszeit der Halbleiter.

Die Lufttemperatur des Raumes, in welchem die Versuche ausgeführt wurden, betrug zwischen 12 und 15° Cels.

I. Gute Leiter.	II. Mittelreihe.
1. Kali chlor. crystall.	1. Kali forrocyan. flav.
2. Kali carbon. pur.	2. Kali tartar. cryst.
3. Kali oxalicum.	3. Kali nitr. pulv.
4. Kali cyan. fus. alb.	4. Kali caust. fus.
5. Kali ferrocyan. rubr.	5. Natr. sulfur.
6. Natr. carbon.	6. Natr. acetic.
7. Natr. chlorat.	7. Cupr. acetic.
8. Natr. subsulfuros.	8. Zinc. sulfur.
9. Ammon. carbon.	9. Calc. sulfur.
10. Ammon. chlorat.	10. Acid. citric.
11. Baryum chlor.	11. Acid. borac.
12. Stront. nitric.	12. Alumen.
13. Magnes. sulf.	
14. Ferr. sulfur.	
15. Ferr. sulfuric.	
16. Kali chromic.	
17. Plumb. nitric.	
18. Hydrarg. chlor. mit.	
19. Argent. nitric.	
20. Argent. chlorat.	
21. Stib. sulfur.	
22. Acid. oxal. pur.	
23. Acid. tartar.	
24. Acid. acet. glac.	
25. Acid. carbol. cryst. albiss.	
26. Scammonium.	
27. Kino.	

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

III. Halbleiter.	IV. Isolatoren.
1. Plumb. acet. oxyd.	1. Hydrarg. nitr. oxyd. cryst.
2. Hydrarg. bichl. corros.	2. Zinc. acet.
3. Zinc. acetic.	3. Bernstein.
4. Cupr. acetic.	4. Myrrhen.
5. Acid. borac.	5. Pech.
6. Acid. oxal. pur.	6. Canada Balsam.
7. Acid. tartar.	7. Venet. Terpent.
8. Olibanum.	8. Weihrauch.
9. Scammon.	9. Sandarac.
10. Galbanum.	10. Mastix.
	11. Styrax.
	12. Elemi.
	13. Jalappenharz.

In der ersten Reihe wurden die Körper 1, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 21, 24, 25, 26 in Krystallform, die übrigen in Pulverform, ebenso in der zweiten Reihe die Körper 1, 2, 7, 10, 12 in Krystallform, die übrigen in Pulverform, unter den Halbleitern endlich in der dritten Reihe die Körper 1, 2, 6, 7, 8, 11 in Krystallform, die übrigen ebenfalls in Pulverform der Untersuchung unterzogen.

Bei diesen Versuchen bot sich nun fast von selbst die interessante Frage dar, welche Modifikation des Leitungsvermögens eine Transferirung eines dieser Körper aus der Krystallform in die reine Pulverform zur Folge haben würde.

Fünf von den angeführten Körpern wurden unter diesen Umständen untersucht, allein die gewonnen Resultate zeigten sich ziemlich widersprechend, indem drei dieser Körper, nämlich: Acid. tartar., Acid. oxalic. pur. und Acid. borac. in feiner Pulverform ein besseres Leitungsvermögen zeigten und in dieser Form von der dritten Reihe in die erste und zweite versetzt wurden, während sich bei den andern zwei Körpern, nämlich bei Cupr. acet. und Zinc. acet. gerade das Gegentheil herausstellte und letzterer Körper sich in Pulverform

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

geradezu als Isolator erwies. Mit Rücksicht auf diese letzterwähnten Resultate wäre nur noch hinzuzufügen, dass sich das Acid. borac. in einer Form befand, welche als ein Conglomerat von Pulver und sehr kleinen Krystallen aufgefasst werden konnte.

Um den bei derlei Untersuchungen fast immer auftretenden störenden Einfluss des Wasserdampfes zu beseitigen, wurden diejenigen Körper, welche kein Krystallwasser enthielten, unter der Glasglocke der Luftpumpe über concentrirter Schwefelsäure von den anhaftenden Wasserdämpfen befreit und erst dann der Untersuchung auf ihr Leitungsvermögen unterworfen, während die Krystallwasser enthaltenden Substanzen direct vor dem Versuche über der Flamme eines Bunsen'schen Brenners einige Male vorübergeführt wurden.

Was nun die directe Zeitbestimmung betrifft, so wurde dieselbe für die Körper der zweiten und dritten Reihe ausgeführt und zwar für die zweite Reihe mittelst Stimmgabelschwingungen und ebenso für jene Körper der dritten Reihe, welche die Entladung des Electroscopes in weniger als 5′ veranlassten, während für die mehr Zeit zur Entladung beanspruchenden Halbleiter eine genaue Sekundenuhr in Anwendung gebracht wurde.

Die Körper der zweiten Reihe veranlassten die Entladung des Electroscopes in sehr nahe übereinstimmenden Zeiträumen, als deren Mittel sich 1.2″ ergab, während bei den Körpern der 3. Reihe die Zeitdauer der Entladung zwischen 2.1″ und 3.1″ zu liegen kam.

Ausserdem zeigten zwei dieser Körper die Eigenthümlichkeit, dass sie bis zu einer gewissen Grenzstellung, die einige Grade betrug, sich als Halbleiter, von hier an jedoch als Isolatoren erwiesen.

Die folgende Tabelle enthält die Versuchsresultate für die Körper der dritten Reihe.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Name der Substanz.	Entladungzeit.	Bemerkungen.
1. Plumb. acetic.	4.5″	
2. Hydrarg. bichl. corros.	9.0″	
3. Zincum acetic.	17.6″	
4. Cuprum acetic.	4.5″	
5. Acid. tartaric.	14.0″	
6. Acid. oxal. pur.	31.0″	Bis zur Grenzstellung, dann Isolator.
7. Acid. boracic.	3.4″	
8. Olibanum.	2.1″	
9. Scammonium.	2.5″	Bis zur Grenzstellung, dann Isolator.
10. Galbanum.	2.7″	

Was die in der ersten Tabelle sub III. und IV. verzeichneten Harze betrifft, so erwiesen sich selbe mit Ausnahme der sub III. verzeichneten, sämmtlich als Isolatoren. Als dieselben jedoch in den flüssigen Aggregatzustand übergeführt wurden, ergab sich für sämmtliche Harze das Resultat einer sehr guten Leitungsfähigkeit.

In welchem Zusammenhange nun die Leitungsfähigkeit von Isolatoren im Allgemeinen und Harzen im Besonderen, bei dem Vorhandensein eines flüssigen Aggregatzustandes, mit der inneren Constitution der betreffenden Substanzen steht, lässt sich dann vielleicht einigermassen erkennen, wenn diese Körper in Bezug auf ihre Leitungsfähigkeit bei Temperaturen untersucht werden, welche unter ihrem Schmelzpunkte liegen.

Derartige Versuche wurden von mir mit 4 Körpen angestellt, welche sich im festen Zustande als vollkommene Isolatoren erwiesen, nämlich mit Paraffin, Canada Balsam, Ventian. Terpentin und Schwefel, von welchen besonders letzterer Körper wegen seines merkwürdigen Verhaltens bei den bekannten vier ausgezeichneten Temperaturen von 111.5° C., 160° C., 200° C. und 400° C. ein hohes Interesse darbot.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Das für diese Versuche getroffene Arrangement war folgendes: Ein Reagenzgläschen A (siehe Fig. 4 Tab. I.) von ungefähr 9 Cm. Länge und 1.5 Cm. Weite wurde gehörig ausgetrocknet und mit der betreffenden Substanz bis etwas über $^2/_3$ der Höhe angefüllt.

Das Gläschen wurde sodann mit einem Korke B verschlossen, welcher zwei Bohrungen besass, durch welche zwei mit dünnen, gut ausgetrockneten Glasröhrchen a und b umgebene Messingdrähte c und d führten, welche im Abstande von 0.5 Cm. von einander im Inneren des Glasgefässes mit dem darin befindlichen Körper in innige Berührung gebracht wurden. Die zwei Drähte ragten oberhalb und unterhalb der sie umgebenden Glasröhrchen ungefähr 1 Cm. bis 1.5 Cm. über dieselben hinaus und wurden bei e und f behufs vollkommener Isolation mit etwas Schellak überzogen. Fig. 4 Tab. I. repräsentirt diesen Apparat in ungefähr $^2/_3$ der natürlichen Grösse.

Nach diesen Erläuterungen will ich nun auf die einzelnen Versuche selbst etwas näher eingehen. Was die diesbezügliche Untersuchung mit Paraffin betrifft, so wurde der mit reinem Paraffin bis zu etwa $^2/_3$ der Höhe gefüllte Apparat, wie ihn Fig. 4 Tab. I. zeigt, in ein Quecksilberbad gebracht und langsam erwärmt. In dem Quecksilberbade befand sich ausserdem noch ein Thermometer, um gewisse constante Temperaturen zu erzielen.

Da der Schmelzpunkt des Paraffins bei 51.5° C. zu liegen kommt, so handelte es sich darum, zu ermitteln, ob die Leitungsfähigkeit dieser Substanz bei einer Aenderung des Aggregatzustandes eine sprungweise Modification erfährt, oder ob die Zunahme der Leitungsfähigkeit eine successive ist, ob sich also schon bei Temperaturen unter 51.5° C. Spuren von Leitungsfähigkeit vorfinden. Zu diesem Zwecke wurde das Quecksilber zunächst bis 35° C. erwärmt und auf dieser Temperatur konstant erhalten. Nach einiger Zeit, wenn man annehmen konnte, dass Glasgefäss und Paraffin ebenfalls diese Temperatur erreicht, wurde das Glasgefäss A

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

schnell aus dem Quecksilberbade herausgenommen und mittelst des Gelenkes h (Fig. 4 Tab. I.) der Knopf des Goldblatt-electroscopes mit dem Knöpfchen g des Instrumentes in Berührung gebracht.

Derselbe Versuch wurde bei den Temperaturen von 37°, 39°, 41°, 43°, 45°, 47°, 49° und 51.5° C. ausgeführt. Nachdem das Paraffin durch fortwährende Wärmezufuhr endlich gänzlich geschmolzen war, wurde der Apparat aus dem Quecksilberbade entfernt, der allmähligen Abkühlung überlassen und in diesen Abkühlungsstadien das Paraffin einer umgekehrten Versuchsreihe unterworfen.

Die gewonnenen Resultate lassen sich folgendermassen zusammenfassen.

Bis zur Temperatur von 41° C. zeigte sich keine Spur von Leitungsfähigkeit, von hier an trat dieselbe jedoch in geringem Maasse auf und nahm bei den höheren Temperaturen von 43°, 45° etc. successive zu, bis endlich bei 47° sich das Paraffin als Halbleiter mit einer Entladungszeit von 10—15″ erwies.

Nachdem bei fortdauernder Wärmezufuhr ein Theil des Paraffins bereits geschmolzen war, die unteren Enden der beiden Messingdrähte sich jedoch noch im festen Theile desselben befanden, stellte sich die Leitungsfähigkeit in noch gesteigertem Maasse ein.

Die Zeitdauer der Entladung dauerte 6—10″. Nach vollständiger Schmelzung ergab die Zeitmessung bis zur vollständigen Entladung 4—5″. Dass diese Zeitmessungen keinen Anspruch auf Genauigkeit erheben können, sondern nur approximative Werthe darzustellen im Stande sind, ergibt sich aus dem Versuche selbst, da ja während der Zeitdauer der Entladung die Temperatur der betreffenden Substanz nicht unbedeutenden Aenderungen unterworfen ist und in der That ergaben eine grössere Anzahl eigens zu diesem Zwecke angestellter Versuche und eine aufmerksame Beobachtung das Resultat, dass vom Momente der Berührung bis zur Reduction des Ausschlagswinkels auf eine bestimmte Grenz-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

lage, die Geschwindigkeit des Zusammenfallens der beiden Goldblättchen merklich im Abnehmen begriffen war.

Mit Rücksicht auf die umgekehrte Versuchsreihe in den verschiedenen Abkühlungsstadien ergab sich, den früheren Versuchen entsprechend, eine fortwährende Abnahme der Leitungsfähigkeit, bis sich dieselbe in der Nähe der Temperatur 40^0 auf Null reduzirte.

Zu bemerken wäre noch, dass die Verminderung der Leitungsfähigkeit, bei der Ueberführung in den festen Aggregatzustand, anfangs sehr langsam, in der Nähe der erwähnten Temperatur jedoch ziemlich rasch vor sich ging.

Auf dieselbe Art wurden derartige Versuche mit Canada Balsam und Venetian. Terpentin angestellt und ergaben dasselbe Resultat, nur mit dem Unterschiede, dass bei der umgekehrten Versuchsreihe die Leitungsfähigkeit, vom Momente der Abkühlung an gerechnet, eine geraume Zeit hindurch unverändert blieb.

Sehr interessante und mit dem Vorhergehenden übereinstimmende Resultate lieferte eine Untersuchung des Schwefels in Bezug auf seine Leitungsfähigkeit bei den vier ausgezeichneten Temperaturen.

Das Arrangement des Versuches war dasselbe, nur wurden diesmal die unteren Enden der beiden Drähte vorher erhitzt und sodann in ein Stück Stangenschwefel eingeschmolzen, welches das Volum des schon bekannten Gläschens A bis zu $^2/_3$ seiner Grösse ausfüllte. Das Resultat des Versuches war folgendes: Einige Grade unter 111.5^0 C. zeigten sich schon Spuren von Leitungsfähigkeit, welche mit steigender Temperatur bedeutend zunahmen, bis bei 111.5^0 C., bei welcher Temperatur der Schwefel bekanntlich ein gelbliches, dünnflüssiges Liquidum darstellt, die Leitungsfähigkeit sich als sehr gut herausstellte und zugleich ihr erstes Maximum erreichte.

Von dieser Temperatur an nahm bei fortwährender Wärmezufuhr die Leitungsfähigkeit successive ab, bis bei der Temperatur 160^0 C., wahrscheinlich in Folge der hiebei

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

eingetretenen molecularen Modification, der früher gute Leiter in einen Halbleiter transferirt wurde.

Bei weiterer Erhitzung nahm die Leitungsfähigkeit, anfangs langsamer, in der Nähe der Temperatur von 200° C. jedoch ziemlich rasch ab. Nachdem diese Temperatur erreicht war, zeigte sich der Schwefel auch noch als Halbleiter, erforderte jedoch zur Entladung des Electroscopes eine bedeutend grössere Zeitdauer, als bei der Temperatur von 160° C. Als die Wärmezufuhr fortgesetzt wurde, um den Siedepunkt des Schwefels zu erreichen, nahm seine Leitungsfähigkeit allmälig wieder zu, bis dieselbe bei der Siedetemperatur von 400° C. sich wieder als sehr gut herausstellte und somit ihr zweites Maximum erreichte. Die bei der letzterwähnten Untersuchung des Paraffins, Canada Balsams, Venetian. Terpentins und Schwefels gefundenen Resultate liessen sich vielleicht, wie Fig. 5, 6 und 7 (Tab. I.) zeigt, graphisch versinnlichen.

Fig. 5 repräsentirt die Curven für Paraffin (A die directe, B die Umkehrcurve).

Fig. 6 repräsentirt die Curven für Canada Balsam und Venetian. Terpentin (A die directe und B die Umkehrcurve).

Fig. 7 repräsentirt die Curve für den Schwefel bei den vier ausgezeichneten Temperaturen.

Was nun diese graphische Darstellung der gewonnenen Resultate betrifft, so möchte ich bemerken, dass dieselbe keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit macht, sondern nur einen approximativen Werth besitzt und als Ausgangspunkt für eingehendere Untersuchungen dienen soll.

Fragen wir nun um die Ursache dieser Erscheinungen des zu- und abnehmenden Leitungsvermögens bei einer Aenderung der Temperatur und des Aggregatzustandes, so dürften wir dieselbe wohl in der durch Temperaturvariationen hervorgerufenen Modification der inneren Bewegungszustände der betreffenden Körper zu suchen haben.

Sichere Schlüsse hierüber zu ziehen, ist bei der gegenwärtig vorhandenen Menge des hiezu nöthigen Materials

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

wohl nicht leicht möglich. Zu diesem Zwecke müssten nicht nur grosse Versuchsreihen über die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Körper vorausgehen, sondern auch eine grosse Menge in Bezug auf ihre innere Constitution verschiedener Körper, müsste, jeder für sich allein, den mannigfaltigsten Aenderungen seiner Temperatur, seines Aggregatzustandes etc. unterworfen, und in allen diesen Zuständen genauen Untersuchungen in Betreff der Leitungsfähigkeit unterzogen werden.

An der Hand eines auf diese Weise gesammelten Materials dürfte es dann gelingen, nicht nur die Ursachen der Modificationen des electrischen Leitungsvermögens bei gewissen Zustandsänderungen der Körper zu ergründen, sondern auch tiefer in das Wesen der electrischen Erscheinungen einzudringen und zu näheren Aufschlüssen über die innere Bildung der Materie zu gelangen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck

Jahr/Year: 1875

Band/Volume: 5

Autor(en)/Author(s): Trentinaglia Anton Ritter v.

Artikel/Article: Ueber das electrische Leitungsvermögen einiger Körper bei verschiedenen Temperaturen und Aggregatzuständen. 145-156