Widerstand handelt, ist man gegenwärtig noch immer auf die Benutzung der Grove'schen oder Bunsen'schen Combination mit Anwendung der Salpetersäure angewiesen.

**VII. Ueber die Wärmecapacität verschiedener Bodenarten und deren Einfluss auf die Pflanze, nebst kritischen Bemerkungen über Methoden der Bestimmung derselben;
von Dr. Leopold Pfaundler,
Privatdocent in Innsbruck.**

Zweck der Untersuchung.

Eine Bestimmung der Wärmecapacität der Bodenarten scheint vielleicht in so fern eine nutzlose Arbeit zu seyn, als die wechselnde und zum Theil chemisch undefinirbare Zusammensetzung der letzteren der Erkenntniß von Gesetzmäßigkeiten hindernd in den Weg treten muß.

Es war aber nicht meine Absicht Gesetze für den Zusammenhang zwischen chemischer Zusammensetzung und Wärmecapacität der Erdarten zu ermitteln, oder zu bestätigen, da dieses Problem in der Hauptsache bereits durch die Untersuchungen von Regnault, Neumann, Kopp etc. über die spec. Wärmen chemischer Verbindungen als gelöst zu betrachten ist. Ich hätte eher umgekehrt die Wärmecapacität der Erden aus ihrer Zusammensetzung berechnet, wenn nicht eine directe Bestimmung der ersteren viel schneller und sicherer zum Ziele führte.

Der Zweck meiner Bestimmungen war also ein anderer, den ich hiermit darlegen will.

Unsere Kenntnisse über den Vegetationsproceß lassen uns in demselben, so mangelhaft wir auch seine einzelnen Phasen kennen, ein Bogenstück aus dem Kreislauf der Stoffe erblicken. Seit Liebig nachgewiesen, daß die in

den Bau der Pflanze eingehenden Stoffe in 2 Gruppen zerfallen, deren eine jene Elemente umfaßt, welche vorzugsweise aus der Atmosphäre stammen und in derselben der Pflanze in immer gleicher und hinreichender Menge dargeboten werden, während die der zweiten Gruppe angehörigen Stoffe aus dem Boden stammen, dessen Zusammensetzung veränderlich ist; seitdem lag es nahe die Verschiedenheiten im Gedeihen der Pflanze dieser verschiedenen chemischen Zusammensetzung zuzuschreiben.

Unter gleichen klimatischen Verhältnissen mußten, so schien es, Bodenarten, welche der Pflanze gleiche Nahrung lieferten, auch eine gleiche Vegetation erzeugen können. Eine Verschiedenheit der letzteren aber mußte als Folge einer Verschiedenheit der Bodenzusammensetzung betrachtet werden.

Diese Theorie fand mehrfache Bestätigungen, theils durch Kulturversuche, theils durch Beobachtungen in der freien Natur, wo die Botaniker das ausschließliche Fortkommen mancher Pflanzenarten auf kalkfreiem oder kalkhaltigem Boden, so wie namentlich das Auftreten von Parallelförmigkeiten derselben Arten auf chemisch verschiedener Unterlage beobachteten.

Während nun von mancher Seite in dieser Beziehung zu weit gegangen wurde, indem man für alle einschlägigen Erscheinungen die geognostische Unterlage als Erklärungsgrund benutzte, erkannten vorsichtigerer Forscher bald die Unzulänglichkeit der Erklärungsweise, und wiesen auf die physikalischen Verschiedenheiten von Bodenarten gleicher oder ähnlicher Zusammensetzung hin, in welchen der Grund zu den beobachteten Ausnahmen zu suchen sey.

Ursprünglich wurde aber diesen physikalischen Verschiedenheiten mehr in soferne Bedeutung beigelegt, als man in ihnen die Ursache chemischer Verschiedenheiten erkannte. Eine größere Lockerheit z. B. befördert die Verwitterung und Lösung der Bestandtheile. Diefes sind jedoch erst Wirkungen in zweiter Linie, sie gehören eigentlich

in die Klasse der rein mechanischen Bedingungen, welche sich von den physikalischen unterscheiden lassen.

Die umfangreichen und sorgfältigen Untersuchungen, welche Professor A. Kerner im hiesigen botanischen Garten seit einer Reihe von Jahren ausgeführt, ergeben, daß die chemische Zusammensetzung der Unterlage, wenn auch von großem, doch bei weitem nicht von jenem entscheidenden Einflusse sey, wie man früher vermuthet hatte. Viele Pflanzenarten sind in Bezug auf ihre Nahrung gar nicht so sehr wählerisch, sie nehmen z. B. gerne statt einer gewissen Menge von *Magnesia* eine entsprechende Menge Kalk auf, ohne dadurch eine wesentliche Veränderung zu erleiden, während sie andererseits durch eine nur wenig veränderte physikalische Beschaffenheit ihrer Unterlage in Wachsthum und Erscheinungsweise weit mehr afficirt werden.

Diese Thatsachen lassen sich vorausschen, wenn man beachtet, daß der Kreislauf der Stoffe mit einem Kreislauf der Kräfte im Causalnexus steht, dem die Stoffe ihre Bewegung verdanken.

Es genügt nicht, daß die Aschenbestandtheile im Boden vorhanden seyen, es muß eine Kraft da seyn, um sie zu heben. Da die Löslichkeit dieser Aschenbestandtheile vorwiegend gering ist, überhaupt nur in sehr verdünnten Lösungen der Pflanze zuträglich sind, so muß eine bedeutende Quantität Wassers mitgehoben werden. Das ist nicht möglich ohne Aufwendung einer sehr beträchtlichen Arbeitsquantität. Diese wird gewonnen durch Verbrauch einer äquivalenten Menge von Wärme. Nur ein Theil des gehobenen Wassers strömt wieder innerhalb der Pflanzen zurück und giebt dadurch zur Rückbildung von Wärme Anlaß, ein anderer Theil verdampft an der Oberfläche der Blätter.

Dieser Antheil entzieht also der Pflanze nicht bloß die in ihr angehäuften Arbeitsquantität, sondern außerdem noch eine neue Menge Wärme, die als sogenannte latente Wärme im Wasserdampf entweicht. Die Erklärung der Hebung der Pflanzensäfte durch die Capillaritäts- oder endosmotischen

Kräfte ist durchaus nicht mit der eben gegebenen im Widerspruche stehend, sondern führt nur den Proceß mehr im Detail aus, indem sie eine Vorstellung gibt, auf welchem Wege die Verwandlung der Wärme in Arbeit stattfindet. Das Schlusresultat ist, daß die Aufnahme der Aschenbestandtheile durch die Pflanze nur möglich ist durch Verbrauch von Wärme.

Es läßt sich leicht zeigen, daß auch die Aufnahme der anderen Gruppe von Nahrungsstoffen ein gleiches Schlusresultat zur Folge haben muß.

Die Bildung der verbrennlichen Pflanzenstoffe ist im Ganzen ein Reductionsproceß. Der Kohlenstoff, der hier besonders in Betracht kommt, wird aus seinem höchst oxydirten Zustande in sauerstoffärmere Verbindungen übergeführt. Die gleiche Menge Wärme, welche durch Verbrennen des Holzes zu Kohlensäure und Wasser frei wird, muß durch den umgekehrten Proceß absorbirt werden, oder genauer ausgedrückt, zur Vermehrung der Disgregation der Stoffe verbraucht werden. Der Proceß der Ernährung der Pflanzen ist also in allen Theilen mit Wärmeverbrauch verknüpft.

Die wichtige Stelle der Wärme als Vegetationsbedingung ist längst erkannt, wenn sie auch noch nicht im Lichte der mechanischen Wärmetheorie betrachtet worden ist.

Um nun den Einfluß der Bodenzusammensetzung für sich allein auf die Pflanze bestimmen zu können, suchte man jenen der Wärme aus den Beobachtungen zu eliminiren, indem man hierzu Oertlichkeiten wählte, die bei verschiedener Unterlage gleichen Wärmezufüssen ausgesetzt waren. Man beobachtete z. B. auf gleicher Meereshöhe und bei gleicher Exposition auf Kalk- und Schiefergebirge oder sicherer auf künstlicher Unterlage im botanischen Garten unmittelbar nebeneinander. Trotzdem erhielt man keine reinen Resultate, denn auf verschiedenster Unterlage gediehen oft dieselben Pflanzen und in derselben Weise, andererseits zeigten sich dort Verschiedenheiten, wo die Unterlage die gleichen Nahrungsstoffe lieferte.

Es läßt sich nun zeigen, *dafs die Bedingung gleicher Wärmequantitäten unter diesen Umständen nicht erreicht worden war.* Ist bei diesen Versuchen die Lufttemperatur auch immer beiderseits dieselbe, so ist es deswegen noch nicht die Bodentemperatur, denn diese hängt ab von der Wärmecapacität, von der innern und äufseren Leitungsfähigkeit, vom Absorptionsvermögen ihrer Oberfläche gegen strahlende Wärme und Licht. Und wäre selbst die Bodentemperatur dieselbe, so folgte daraus noch lange nicht die Abgabe gleicher Wärmemengen an die Pflanze.

Man hat beobachtet, dafs das Fortkommen mancher Arten vorherrschend von der zugeführten Wärmemenge abhängig ist, während bei andern das Erreichen eines gewissen Maximums und das Nichtsinken unter ein Minimum als Lebensbedingung erscheint. Auf beide Bedingungen sind die aufgezählten physikalischen Eigenschaften von größtem Einflufs, vor allem Wärmecapacität und Leitungsvrmögen. Ihre Wirkungen müssen bei jenen Arten am bedeutendsten hervortreten, welche nur eine geringe Höhe erreichen, weil bei diesen die vom Boden stammende Wärme einen gröfseren Bruchtheil der Gesamtwärme ausmacht.

Will man auf die Erforschung der Vegetationsbedingungen, welche aus den angeführten Gründen jedenfalls grofse Schwierigkeiten bietet, nicht verzichten, sondern dieselbe auf exacter Basis fortführen, so ist diefs nach meiner Ansicht nur möglich, indem man auch die genannten physikalischen Eigenschaften mit in Rechnung bringt. Schon die Erörterung der Frage, ob überhaupt der Einflufs derselben ein so grofser seyn kann, dafs er in Rechnung gezogen werden mufs, setzt Bestimmungen voraus. Erst wenn wir wissen, um wie viel z. B. die Wärmecapacitäten verschiedener Bodenarten von einander abweichen, können wir über die Wichtigkeit oder Unwichtigkeit dieser Untersuchungen entscheiden.

Aus diesem Grunde nun habe ich, weil eben mit ähnlichen Arbeiten zu andern Zwecken beschäftigt, auch einige Bodenarten in Bezug auf ihre Wärmecapacität untersucht

und veröffentliche hiermit die Resultate als erste Anhaltspunkte für weitere Arbeiten.

Als Material stand mir durch die Freundlichkeit des Hrn. Prof. Kerner eine Anzahl von ihm gesammelter Erden zur Verfügung.

Da Bestimmungen dieser Art nicht häufig sind und fast von jedem Experimentator bisher abweichende Apparate und Berechnungsmethoden in Anwendung gebracht wurden, deren Kenntniss zur Schätzung der Genauigkeit der Bestimmungen erforderlich ist, so will ich die von mir befolgte Methode hier beschreiben und glaube dadurch auch Jenen einen Dienst zu erweisen, welche sich mit gleichen Untersuchungen beschäftigen werden.

Methode der Bestimmungen.

Ich wählte die Mischungsmethode und benutzte dazu einen ursprünglich von Regnault construirten, sehr zweckmäßigen Apparat, an dem ich einige kleine Aenderungen anbrachte, die mir seine Anwendung noch bequemer zu machen schienen.

A und A' (Fig. 21 Taf. III) stellt den Erhitzungsapparat von vorn und von seitwärts gesehen dar. Er besteht aus einer blechernen Büchse, in welcher mittelst eines Korkes eine Eprouvette *E* befestigt wird, die den zu untersuchenden Körper aufnimmt.

Beim Apparat von Regnault wird dieselbe durch ein Gefäß von Messingblech vertreten, welches fest mit der Büchse verbunden ist. Die Anwendung der Eprouvette bietet den Vortheil, daß man das Gewicht der beim Versuche entleerten Substanz durch Zurückwägen der ersteren bequemer und sicherer ermitteln kann; auch die Durchsichtigkeit spricht für dieselbe, das geringere Leitungsvermögen des Glases verlängert zwar die nöthige Zeitdauer des Erhitzens, ist dann aber zu Gunsten des Apparates, da es Temperatureinflüsse von Seite des alleräußersten Randes der Eprouvette auf die Substanz und auf das Wasser des Calorimeters weniger möglich macht. Der

durch eine untergestellte Spirituslampe entwickelte Dampf durchströmt den ganzen Raum und gelangt durch die Röhre *D*, welche zugleich als eine der Axen dient; ins Freie. Die gegenüberstehende Axe ist verschlossen. Durch directe, ausführliche Versuche überzeugte ich mich, daß ein im Innern der Eprouvette befestigtes Thermometer bei geschlossener Mündung derselben längstens binnen 35 Minuten die Temperatur des Dampfes annimmt, wenn man den oberen Theil des Apparates mit Wolle umhüllt¹⁾, so wie daß die Temperaturerhöhung, die der Dampf in Folge des Widerstandes beim Ausströmen durch die Röhre *D* erleidet, vollkommen unmeßbar ist. Es ist daher nicht nöthig, ein Thermometer in die Substanz zu versenken, der reducirte Barometerstand giebt die Temperatur derselben mit Hülfe der Siedepunktstabelle.

Der zweite Theil des Apparates *B* und *B'* besteht aus einem hölzernen nach der einen Seite mit einer Glasplatte *G*, nach der andern bis zur Höhe *F* durch ein Brettchen verschlossenen Kasten, in welchem ein Calorimeter gewöhnlicher Construction aufgestellt ist. Die Dimensionen des innern dünnwandigen Cylinders waren: Durchmesser = 47^{mm}, Höhe 70^{mm}. Da ich die Wassermenge aus begreiflichen Gründen möglichst klein wählte (ungefähr 100 Grm.) und die Länge des Thermometergefäßes eine gewisse Höhe der Wassersäule verlangte, so konnte das günstigste Minimalverhältniß zwischen Oberfläche und Cubikinhalt des Gefäßes nicht ganz eingehalten werden. Das äußere Gefäß war entsprechend weiter und tiefer. Beide ruhten auf Korkschnitten.

Das an der Decke des Kastens befestigte Thermometer war ein vorzügliches, von Fastré in Paris angefertigtes Instrument mit willkürlicher Theilung, von deren Divisionen nahezu 12 auf 1° Cels. gingen. Man konnte also

1) Ohne diese Umhüllung bleibt die Temperatur im Innern um 0,05° C. tiefer. Die Vernachlässigung dieses Fehlers würde jedoch nur die vierte Decimalstelle der Wärmecapacität um 1 — 2 Einheiten zu klein ergeben.

$\frac{1}{120}$ eines Grades ablesen. Der Nullpunkt desselben wurde während der Untersuchung oft geprüft, aber stets constant (bei 24,7) gefunden. Da die Scala nur bis 40° C. reichte, so wurde der Reductionsfactor durch mehrere mit größter Sorgfalt ausgeführte Reihen von Vergleichsbeobachtungen mit einem Normalthermometer (ebenfalls von Fastré) ermittelt. Dieses Normalthermometer selbst hatte ich früher durch eben solche Vergleichen mit zwei Thermometern Regnault's im *Collège de France* auf die Richtigkeit seiner Calibrirung untersucht und vollkommen gut befunden. Natürlich wurden auch die Normalpunkte dieses Thermometers beim Vergleiche mit dem andern jedesmal neu bestimmt.

Man wird diese Vorsichtsmaafsregeln nicht überflüssig finden, wenn man bedenkt, daß der Grad der Richtigkeit unserer Thermometer neben ihrer Empfindlichkeit bis jetzt die Gränze der Genauigkeit bestimmt, die man bei der Messung specifischer Wärmen erreichen kann.

Neben dem Thermometer befindet sich in dem Calorimeter ein Rührer in Form einer sehr dünnen durchbrochenen Messingscheibe mit aufgebogenem Rande. Er wird mittelst eines Seidenfadens, der durch die in der Decke befestigte gebogene Glasröhre gezogen ist, in Bewegung gesetzt. Die Bewegung selbst wird durch ein Räderwerk ausgeführt, und kann in Bezug auf Schnelligkeit und Hubhöhe beliebig regulirt werden. Die Anordnung meines Apparates unterscheidet sich demnach von der Regnault's, daß das Calorimeter fest stehen bleibt und statt dessen der Erhitzungsapparat für den Augenblick der Entleerung der Substanz herangeschoben wird. Diese Anordnung bietet mehrere Vortheile. Sie ermöglicht die Anbringung der erwähnten künstlichen Rührvorrichtung, welche gleichmäßiger stattfindet und nicht so ermüdet, wie das Rühren mit ausgestrecktem Arme, überhaupt den Gehülfen entbehrlich macht.

Ferner kann das Herbeiführen und Entfernen des Siedeparates mit größter Schnelligkeit geschehen, ohne daß

man, wie beim Calorimeter, Gefahr läuft, etwas vom Wasser zu verschütten. Endlich braucht das Rühren und Beobachten der Temperatur keinen Augenblick unterbrochen zu werden, was durchaus unvermeidlich ist, wenn man das Calorimeter verschiebt.

Die Ablesung der Temperatur geschieht ohne Fernrohr durch die schützende Glasplatte hindurch, der untere Theil derselben wird überdies noch zur Vermeidung einer Erwärmung des Calorimeters durch den Körper des Beobachters mit einem Stück Pappe bedeckt. Die Ausführung eines Versuches ist demnach folgende.

Die Eprouvette *E* wird aus dem Korkreife gezogen, gereinigt mit der zu prüfenden Substanz bis etwa zu halber Höhe gefüllt und gewogen. Hierauf giebt man dieselbe in ein Wasserbad, bis das Gewicht constant wird. [Ist hierzu nicht mehr Zeit erforderlich als eine Stunde, so kann der Apparat *A* selbst hierzu dienen, für längere Dauer würde die Wassermenge nicht ausreichen.] Nach dem Trocknen wiegt man wieder und erhält so das Gewicht von der Eprouvette + der trockenen Substanz. Jetzt setzt man diese in den Apparat *A*, verschließt die Oeffnung mit einem gut passenden Kork, setzt die erwähnte Baumwollkappe darauf und läßt zur Sicherheit nahezu eine Stunde sieden. Während dieser Zeit steht der Apparat entfernt vom Calorimeter und durch einen Schirm getrennt. Man füllt inzwischen das Calorimeter mit Wasser, welches längere Zeit im Zimmer gestanden und daher möglichst dessen Temperatur angenommen hat, die Füllung geschieht mittelst einer geprüften Bürette. Die Menge des Wassers wird so genommen, daß der Wasserwerth des ganzen Calorimeters sammt Thermometer (dem eingetauchten Theile) und Rührer gerade 100 Grm. beträgt. Einige Minuten vor dem Einschütten der Substanz setzt man das Räderwerk in Gang und beginnt bald darauf die Temperaturbeobachtungen. Eine Uhr signalisirt die Intervalle von je 20 Sekunden. Man notirt die Temperatur am Anfang und Ende von 10 Dritteln. Die Zeit inzwischen benutzt man

zur Ablesung des Barometerstandes. Einige Secunden vor dem 10. Signale bringt man schnell den Apparat *A* zum Calorimeter, entleert nach Entfernung der Kappe und des Korkes durch Umkippen die Substanz im Augenblick des 10. Signales und stellt ihn wieder weg.

Da der Gang des Thermometers vor dem Einbringen der Substanz ohnedieß ein äußerst langsamer ist, so stimmt die einige Secunden vor Eintritt des 10. Signales abgelesene Temperatur vollkommen mit der im Momente des Einschüttens vorhandenen überein. Von da notirt man von 20 zu 20 Secunden den Stand des Thermometers bis zum Eintritt des Maximums und dann noch so lange darüber hinaus, bis die Differenzen nahezu constant werden.

Zum Schluß wiegt man die von außen getrocknete Eprouvette sammt den etwa zurückgebliebenen Spuren der Substanz und erhält so durch Subtraction die Menge derselben, welche ins Calorimeter gelangte.

Beim Umkippen hat man darauf zu achten, daß kein Theil des erhitzten Apparates mit dem Calorimeter-Gefäß oder dem Wasser in unmittelbare Berührung komme. Man verhindert dieß durch einen Korkstreifen, den man in geeigneter Höhe auf dem Brettchen *F* befestigt.

Nicht alle Substanzen lassen sich unmittelbar in die Eprouvette einfüllen. Leichte staubige Erden bleiben eine Zeit lang auf der Oberfläche des Wassers liegen, bis sie benetzt werden und untersinken.

Humusreiche Erden und Torf sinken gar nicht und erfordern also eigene Vorkehrungen. Um diesem Uebelstande abzuheffen, schnitt ich aus Zinnfolie Streifen von 30^{mm} Breite und 50^{mm} Länge, wickelte dieselben um das Ende eines Bleistiftes, bog den vorstehenden Rand zusammen und erhielt so eine cylindrische Büchse, die ich noch vor dem Ausziehen des Bleistiftes in eine 40^{mm} lange beiderseits offene Glasröhre steckte.

Jetzt wurde der Stift herausgedreht und die Substanz fest eingedrückt. Die oberen Ränder der Folie wurden eingebogen und schließlich der gefüllte Cylinder aus der

Röhre geschoben. Man erhält so leicht hinreichend feste Stücke, von denen 6 — 9 in der Eprouvette Platz finden.

Die verwendete Zinnfolie wird zuvor gewogen, um ihren Wasserwerth bestimmen zu können.

Bei sehr leichten Substanzen genügt auch diese Vorkehrung nicht. Ich stampfte dieselben in cylindrische Büchsen vom dünnsten Messingblech, deren Umfang gerade so groß war, daß sie in die Eprouvette paßten, ihre Höhe war gleich ihrem Durchmesser. Sie wurden mit Deckeln aus gleichem Materiale geschlossen. Von diesen Büchsen konnte man 5 — 6 in die Eprouvette bringen. Ihre Anwendung ist bequemer als die der Zinnfoliecyliner.

Bei Entleerung dieser Büchsen fand manchmal ein Verspritzen einiger Tropfen Wassers statt, was sonst nie eintrat. Ich vermied es durch Höherstellen des Calorimeters ¹⁾.

Zwei andere Fehlerquellen lassen sich beide zugleich eliminiren. Die eine ist die Absorption von Wärme durch Auflösung der in den Erden enthaltenen löslichen Salze, die andere, bedeutendere, die Erzeugung von Wärme durch die Benetzung.

Durch Anwendung von Terpentinöl statt des Wassers läßt sich der erste Fehler zwar vermeiden aber nicht bestimmen, weil die Benetzung durch Terpentinöl andere Wärmemengen frei macht als jene durch Wasser. Um die Größe des ersten Fehlers zu ermitteln, sammelte ich die bei einer Bestimmung verwendete Erde quantitativ auf einem Filter, trocknete und wiederholte die Bestimmung. Ich erhielt fast gleiche Zahlen, deren Differenz jedenfalls innerhalb der Beobachtungsfehler lag ²⁾.

Den Fehler durch die Benetzung glaubte ich anfangs durch die beschriebenen Büchsen eliminiren zu können. Wirft man sie im gefüllten aber kalten Zustande in Was-

1) Manchmal ist es bequemer und sicherer, den Siedeapparat aus den Lagern zu nehmen und in freier Hand zu führen.

2) Eigentlich sollte hierbei auch die specifische Wärme der gelösten Salze und ihr Gewicht mit in Rechnung kommen. Es ist aber einleuchtend, daß ihr Einfluß ganz und gar verschwindend ist.

ser, so tritt kein oder nur sehr wenig Wasser in dieselben ein. Nach dem vorhergehenden Erhitzen auf 100° aber hineingebracht, saugen sie sogleich eine entsprechende Menge Wasser ein, da sich die Luft um circa $\frac{1}{4}$ ihres Volums zusammenzieht. Das so eingesaugte Wasser wird dann durch die Wirkung der Capillarität durch die ganze Masse vertheilt und setzt also jedenfalls die ganze Benetzungswärme in Freiheit. Der Fehler wird also so nicht vermieden, dafür trägt das eintretende Wasser dadurch nicht wenig zur Genauigkeit der Bestimmungen bei, daß es die Wärmeabgabe sehr beschleunigt.

Ich eliminirte beide Fehler miteinander durch einen Gegenversuch mit einer gleichen Menge der Substanz von gleicher Temperatur mit dem Wasser. Zu diesem Zwecke stellte ich die gefüllte Eprouvete selbst eine Stunde oder noch länger in das Calorimeter, beobachtete dann unter Bewegung des Rührers den Gang des Thermometers, entleerte (natürlich ohne directe Berührung des Glases mit den Fingern) die Erde in das Wasser und beobachtete neuerdings den Gang des Thermometers.

Die Erwärmung betrug zwischen 0,1 bis zu 2,0 Theilstrichen, also ungefähr $0,01^{\circ}$ bis $0,16^{\circ}$ C. bei einer durchschnittlichen Substanzmenge = 20 Grm. Ich zog den gefundenen Werth jedesmal von dem berechneten Maximum ab. Hierbei wird nur die Hypothese angenommen, daß die Benetzungswärme gleich sey für die heiße und für die kalte Substanz, was wahrscheinlich nicht ganz richtig ist; der Unterschied kann aber nur verschwindend klein seyn.

Ich gehe nun über zur

Methode der Berechnung.

Eine Abweichung in der Berechnung der Versuche kann sich nur auf die Methode der Ermittlung jener Correction beziehen, welche wegen des Wärmeverlustes des Calorimeters an die Umgebung nöthig ist. Unter allen zu diesem Zwecke in Anwendung gebrachten Methoden halte ich

jedenfalls die von Regnault für die sicherste und genaueste.

Ich hatte das Glück dieselbe unter Regnault's persönlicher Anleitung bei Gelegenheit seiner noch nicht veröffentlichten Untersuchungen über den Werth des mechanischen Wärmeäquivalents kennen zu lernen. Die von H. Pape dagegen vorgebrachten Gründe konnten mich nicht überzeugen. Ich gebe im Folgenden eine, wie ich glaube, erschöpfende Darstellung dieser Methode, aus der ihre Vortrefflichkeit von Neuem hervorgehen dürfte.

Bei jedem Versuche sind drei Perioden zu unterscheiden. Die Anfangsperiode umfaßt eine gewisse Anzahl (5 oder 10) Zeitintervalle ($\frac{1}{3}$ Minute) vor dem Vermischen, während welcher Zeit das Calorimeter einzig dem Einfluß der Umgebungs-Temperatur ausgesetzt bleibt. Die Mittelperiode umfaßt n Intervalle vom Einbringen der Substanz bis zum Eintritt des Maximums *und noch einige Intervalle darüber hinaus*, bis die Differenzen aufeinander folgender Ablesungen constant werden. Die Endperiode dauert von da an wieder 5 oder 10 Intervalle¹⁾.

Es bedeute nun t die Mitteltemperatur der Anfangsperiode, v den mittleren Verlust an Wärme per Intervall während dieser Periode, t' und v' dasselbe für die Endperiode.

Die Temperatur am Ende des 1., 2., 3. Intervalles der Mittelperiode werde mit θ_1 θ_2 θ_3 bezeichnet. Demgemäfs ist θ_0 die Anfangs- und θ_n die Endtemperatur der Mittelperiode.

Endlich seyen τ_1 τ_2 τ_3 τ_n die mittleren Temperaturen der einzelnen Intervalle, also $\tau_1 = \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$, $\tau_2 = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$
 $\tau_n = \frac{\theta_{n-1} + \theta_n}{2}$.

Man trägt nun auf der Abscissenaxe Ox auf:

1) Je nach der Dauer der Mittelperiode.

das Stück $OA =$ der Mitteltemperatur der Anfangsperiode $= t$

das Stück $OA' =$ der Mitteltemperatur der Endperiode $= t'$.

Die Stücke $Oa_1, Oa_2, Oa_3 \dots$ bis Oa_n gleich den Mitteltemperaturen $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4 \dots \tau_n$.

Als Ordinaten trägt man auf: $AV =$ gleich dem mittleren Verluste per Intervall in der Anfangsperiode $= v$, $A'V' =$ demselben für die Endperiode $= v'$, nun verbindet man V und V_1 durch eine Gerade und bildet die Summe aller zu $a_1 a_2 a_3 \dots a_n$ gehörigen Ordinaten. Diese Summe ist die gesuchte Correction C . $\theta_n - \theta_0 + C$ ist die wahre Temperaturzunahme des Calorimeters $= \Delta\theta$ und $\theta_n + C$ das wahre Maximum resp. die Endtemperatur, welche bei Abschlufs der äußeren Einflüsse eingetreten wäre.

Diese Construction gilt, wie man sieht, zunächst für den Fall, daß die Temperatur der Umgebung sich nicht ändert. Wäre das Newton'sche Gesetz vollkommen gültig, so ginge die Linie VV' in ihrer Verlängerung durch den Punkt M , vorausgesetzt, daß OM die Umgebungstemperatur darstellt. Kommt das Newton'sche Gesetz aber nicht zur Geltung, so tritt an die Stelle der Geraden $V'V$ eine Curve, die durch M, V und V' geht.

In diesem Falle sieht man auf den ersten Blick, daß

die Sehne VV^1 sich jedenfalls der Curve enger anschließen werde, als eine gerade Verbindungslinie von M nach V^1 .

Ist nun aber die Temperatur der Umgebung nicht constant, so wird die Linie VV' durch eine gebogene zu ersetzen seyn, deren Krümmung nach oben oder nach unten gerichtet ist, je nachdem die Temperatur abnimmt oder zunimmt. Da nun diese Ab- oder Zunahme selbst nur sehr gering seyn kann, da man bei schnell sich verändernder Umgebungstemperatur ohnedieß keine Versuche anstellt, so kann die verursachte Krümmung nur eine sehr geringe seyn, und es muß daher immer noch die Sehne VV' dem Bogen sehr nahe kommen. Selbst wenn durch beide Ursachen, Nichtigkeit des Newton'schen Gesetzes und Aenderung der äußeren Temperatur oder auch noch aus anderen Gründen, die Curve eine ganz unregelmäßige wird, so sind wir nicht im Stande für ihre Ordinaten wahrscheinlichere Werthe anzugeben als die Werthe der Ordinaten der Geraden VV^1 .

Man könnte statt der Temperatur τ_1, τ_2 etc. die Temperaturdifferenzen zwischen diesen und den Umgebungstemperaturen als unabhängig Variable nehmen. Allein der Vortheil dieser Methode ist sehr zweifelhaft. Wie will man nämlich die Umgebungstemperatur messen: die Zimmertemperatur ist sehr merklich verschieden von derjenigen der Luftschichten, welche das Calorimeter unmittelbar umgeben, wie ich mich oft überzeugt habe. In der nächsten Umgebung selbst wechselt sie noch mehr je nach dem Grade der Nähe.

Bei großer Nähe oder gar völliger Berührung durch das Thermometer stört man den Gang des Versuches vollends und vermehrt die Wärmeverluste. Mit Einem Worte: die Umgebungstemperatur läßt sich genau bestimmen. Die oben beschriebene Construction berücksichtigt aber ihren Einfluß und bringt ihn mit dem wahrscheinlichsten Werthe in Rechnung. Gerade hierin liegt ein Hauptvorzug dieser Methode. Sie bietet aber noch den weiteren Vortheil, daß sie das Umrechnen aller Einzeltemperaturen aus den ab-

gelesenen Divisionen in Celsius-Grade unnöthig macht; nur die beiden Größen $\Delta\theta$ und $\theta_n + C$ sind umzurechnen.

Statt der wirklichen graphischen Ausführung der obigen Construction kann man eine Formel benutzen, die sich mit Leichtigkeit daraus ableiten läßt. Man hat für irgend eine Ordinate:

$$\begin{aligned} a, V_r &= A V + p V_r \\ &= A V + \frac{A_1 V' - A V}{A A'} p V \\ &= v + \frac{v' - v}{t' - t} (\tau_r - t). \end{aligned}$$

Für die Summe aller Ordinaten hat man demnach

$$C = n v + \frac{v' - v}{t' - t} [\tau_0 + \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n - n t]$$

und da

$$\tau_0 = \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}, \tau_1 = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \dots \tau_n = \frac{\theta_{n-1} + \theta_n}{2}$$

ist

$$\begin{aligned} C &= n v + \frac{v' - v}{t' - t} \left[\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_{n-1} + \frac{\theta_1 + \theta_n}{2} - n t \right] \\ &= n v + \frac{v' - v}{t' - t} \left(\sum_{n-1}^1 \theta + \frac{\theta_0 + \theta_n}{2} - n t \right). \end{aligned}$$

Ist die Temperaturveränderung während der ersten oder letzten Periode $= 0$, oder zeigt sich eine Zunahme statt eines Verlustes, so ist statt v oder v' beziehungsweise Null $-v$ oder $-v'$ zu setzen. Unter dieser Bedingung giebt die abgeleitete Formel immer ein richtiges Resultat, mag dann die Temperatur der Umgebung, unter, ober oder zwischen t und t' stehen.

Die gefundene Correction C wird, wie bereits bemerkt, zur Differenz $\theta_n - \theta_0$ addirt respective davon subtrahirt, wenn sie negativ ausfällt. Die Gröfse $\theta_n - \theta_0 + C = \Delta\theta$ wird also ganz unabhängig von dem beobachteten Maximum gefunden. Wenn vom eingetauchten Körper noch Wärme in das Wasser übergeht, wenn dessen Temperatur schon im Sinken begriffen ist, so hat diefs auf die Richtigkeit des nach dieser Methode berechneten Resultates gar keinen Einfluß, denn es wird dabei nur vorausgesetzt, dafs in der

obigen Figur die gerade Linie VV^1 noch eine ganz kurze Strecke über V^1 hinaus mit der besprochenen Curve zusammenfalle.

Der numerische Werth von C schwankte bei meinen Versuchen zwischen 0 und 1 Scalentheile des Thermometers, sehr selten erreichte es 2. Man sieht daraus, daß die Genauigkeit der Berechnung dieser GröÙe nach obiger Formel weit mehr als ausreichend, und daß man berechtigt ist, sie für die meisten Fälle noch mehr zu vereinfachen.

Die Temperaturüberschüsse der aufeinanderfolgenden Intervalle der Mittelperiode über die Anfangstemperatur steigen bis gegen das Maximum, wie die Beobachtung ergibt, immer ungefähr wie die Ordinaten einer Parabel.

Ihre mittlere Höhe beträgt demnach nahezu $\frac{2}{3}$ der höchsten Ordinate. Hieraus folgt die Berechtigung, für jene abgekürzte Rechnungsweise, nach welcher Regnault für den mittleren Temperaturüberschuß des Calorimeters über die Umgebung während der ersten halben Minute nach dem Vermischen den Werth $\frac{2}{3}(\theta^1 - \theta_0)$ annimmt¹⁾.

Für jene Methode, nach welcher man dem Wasser eine Anfangstemperatur giebt, die ebenso viel unter der Umgebungstemperatur liegt, als die Schlufstemperatur darüber, folgte aus Obigem, daß man in den meisten Fällen der Wahrheit näher käme, wenn man die Anfangstemperatur *ungefähr* doppelt so tief unter der Umgebung nähme, als die Schlufstemperatur darüber liegt.

Meine Versuche sind alle nach der oben abgeleiteten Formel für C berechnet. Die weitere Rechnung bietet nichts Neues. Zum leichtern Verständniß will ich noch einen Versuch vollständig ausführen.

Wasserwerth des Calorimeter-Gefäßes sammt

Rührer und Thermometer = 2,50 Grm.

Gewicht des Wassers 97,50 »

Gesamtwasserwerth

 100,00 Grm.

1) Pogg. Ann. Bd. CXXII, S. 280.

Substanz: Feinkörniger Kalksand bei 100° getrocknet
 wog in fünf Büchsen eingestampft sammt
 diesen 31,423 Grm.
 die Büchsen allein 10,654 »

Gewicht der Substanz = 20,769 Grm.

Mit der specifischen Wärme für Messing = 0,0939 berechnet sich für die Büchsen ein Wasserwerth = 1,0004. Da sie aber mit Zinn gelöthet waren, mußte der wahre Werth etwas kleiner seyn. Ich fand ihn durch einen eigenen Versuch = 0,8692¹⁾.

Die weiteren Beobachtungsdaten waren folgende:

Reducirter Barometerstand = 699,6^{mm}. — Dauer eines Intervalles
 = 20 Sekunden.

	Signal	Temperatur in Theilstrichen des Thermometers	
I. Periode	0	162,6	
	10	162,9	= θ_0 (Moment des Eintauchens)
	11	185,0	
	12	200,0	
	13	206,1	
II. Periode	14	209,5	Von dem 22. Signale an beginnt das regelmässige Sinken der Temperatur, man wählt also 211,4 als θ_{∞} .
	15	210,7	
	16	211,3	Die Mitteltemperatur der Anfangstemperatur ist
	17	211,5	
		Differenz	$\frac{162,6 + 162,9}{2} = 162,75 = t$
	18	211,5	0
	19	211,5	0
	20	211,5	0
	21	211,5	0
	22	211,4	0
		- 0,1	
		- 0,1	

Von dem 22. Signale an
beginnt das regelmässige Sinken
der Temperatur, man wählt also 211,4 als θ_{∞} .

Die Mitteltemperatur der
Anfangstemperatur ist

$$\frac{162,6 + 162,9}{2} = 162,75 = t$$

ferner ist:

$$\frac{162,6 - 162,9}{10} = -0,03 = v$$

Für die Endperiode hat man

$$\frac{211,4 + 210,5}{2} = 210,95 = t'$$

$$\frac{211,4 - 210,5}{8} = +0,11 = v'$$

1) Durch Annahme dieses Werthes ist zugleich auch jener Fehler eliminiert, der etwa aus einem Wärmeverlust dieser Büchsen während des Fallens entstehen könnte.

III. Periode	Signal	Temperatur in Theilstrichen des Ther- mometers	Differenz — 0,1	$\sum_{n=1}^n \theta$	= 2280,1
	23	211,3	— 0,1	$\frac{\theta_0 + \theta_n}{2}$	= 187,15
	24	211,2	— 0,1	Summe	= 2467,25
	25	211,1	— 0,1	da $n = 12$, ist nt	= 1953,00
	26	211,0	— 0,1	Differenz	= 514,25
	27	210,9	— 0,1	Multiplieirt mit $v - v'$	= 0,14
	28	210,8	— 0,1	Product	= 71,995
	29	210,6	— 0,2	dividirt durch $t^1 - t$	= 48,20
	30	210,5	— 0,1	Quotient nv	= 1,49
				Summe	= — 0,36
					Summe = 1,13 = C

$$\Delta\theta = \theta_n - \theta_0 + C = 211,4 - 162,9 + 1,13 = 49,63$$

$$\text{Wahre Schlufstemperatur} = \theta_n + C = 212,53$$

$$\text{Null-Punkt des Thermometers} = 24,70$$

$$187,83.$$

Die Erhöhung der Temperatur durch die Benetzungswärme wurde gefunden = 0,1 Theilstriche. Nach Anbringung dieser Correction und Umrechnung in Celsiusgrade mittelst des Reductionsfactors (1 Theilstrich = 0,0858 Celsiusgrade) findet man

$$\text{die wahre Temperaturerhöhung } \Delta\theta = 4^{\circ},25 \text{ C.}$$

$$\text{„ „ Schlufstemperatur } \theta_n + C = 16^{\circ},10 \text{ C.}$$

$$\text{die Temperatur des Dampfes } T \text{ ergiebt sich zu } 97^{\circ},70 \text{ C.}$$

Aus diesen Daten berechnet sich die spec. Wärme

$$S = \frac{1}{20,769} \left[\frac{100 \times 4,25}{97,70 - 16,10} - 0,8692 \right] = 0,2089.$$

Grad der Genauigkeit der Resultate.

Es dürfte das bisher Vorgebrachte genügen, um einsehen zu lassen, daß die benutzte Methode in Bezug auf ihre Genauigkeit jedenfalls mehr leistet, als der im Eingange der Abhandlung angerebene Zweck beansprucht.

Wenn ich dennoch darangehe, den Grad der Genauigkeit noch näher zu ermitteln, so geschieht dies mehr für künftige Arbeiten, bei deren Veröffentlichung ich mich dann auf diese Untersuchung berufen kann.

Fehler können im Allgemeinen begangen werden

- 1) durch die Unsicherheit der Wägungen. Da diese jedenfalls bis auf Ein Milligramm richtig sind, so ist der daraus entspringende Fehler außerordentlich klein. Eine einfache Rechnung zeigt, daß die daraus entspringende Unsicherheit in Bestimmung des Wasserwerthes des Calorimetergefäßes nur $\frac{1}{200000} = 0,000005$, die bei der Wägung der Substanz nur etwa $\frac{1}{20000} = 0,00005$ des Schlusresultates erreicht.
- 2) Bei Messung der Wassermenge kann höchstens ein Fehler $= \frac{1}{2000}$ begangen werden, was im Schlusresultat ebenfalls $\frac{1}{2000} = 0,0005$ des gefundenen Werthes beträgt.
- 3) Die Gleichheit der Temperatur im Innern der Eprouvette und im Dampf war durch ein Thermometer constatirt worden, das $\frac{1}{50}$ Grad C. abzulesen gestattete. Die Differenz der Temperaturen könnte also doch noch $0,02^\circ$ C. betragen. Dies verursacht im ungünstigsten Falle (wenn die Abkühlung der Substanz nur 80° beträgt) einen Fehler von $\frac{1}{4000} = 0,00025$ des Schlusresultats.
- 4) Eine unrichtige Angabe oder Ablesung des Barometerstandes um $\frac{1}{10}$ Millimeter verursacht einen Fehler von $\frac{1}{40000} = 0,000025$ des Schlusresultats.
- 5) Der wichtigste Fehler entsteht durch die Unsicherheit in der Ablesung des Calorimeter-Thermometers. Sie beträgt $\frac{1}{10}$ einer Division. Der dadurch im Resultat entstehende Fehler ist immer sehr nahe verkehrt proportional der GröÙe von $\Delta\theta$. Er erreicht im ungünstigsten Falle, wenn die Fehler der obern und untern Ablesung sich addiren, die GröÙe $\frac{2}{10 \Delta\theta}$ (wobei das $\Delta\theta$ in Divisionen des Thermometers zu nehmen ist). Es folgt hieraus, da, einige besonders un-

günstige Fälle abgerechnet, das $\Delta\theta$ immer nahe bei 50 Divisionen erreicht, ein Fehler von $\frac{2}{1000}$ bis $\frac{4}{1000}$ des Schlusresultates.

- 6) Die Wärmeaufnahme des Calorimeters durch Ausstrahlung von Seite des Siedeapparates im Augenblicke des Einschüttens war durch directe Versuche gleich Null gefunden worden.

Ebenso sieht man ein, dafs die Wärmezufuhr von Seite des Beobachters, so wie auch die durch das Rühren erzeugte, wenn sie überhaupt noch von Einfluß wären, bereits durch die Rechnungsmethode berücksichtigt sind, da sie auch während der Anfangs- und Schlufsperiode stattfinden müßten.

- 7) Nun bleiben noch die Fehler, welche

a von der nicht absoluten Genauigkeit der Calibrirung des Thermometers und b von der unrichtigen Ermittlung der Gröfse C abstammen können. Da sie nicht berechnet werden konnten, so suchte ich ihren Einfluß durch besondere, gleich mitzutheilende Versuche mit ein und derselben Substanz auszumitteln, wobei a verschiedene Stellen der Thermometerscale benutzt und b die Gröfse der Correction C theils durch verschiedene Stellung der Umgebungstemperatur, theils durch verschiedene Zertheilung des Körpers modificirt wurden.

Bevor ich diese Versuche mittheile, will ich die in Punkt 1 — 6 aufgezählten Fehler summiren und einige Schlüsse daraus ziehen.

Die aufgeführten Fehler betragen also einen aliquoten Theil des Schlusresultates, der durch die folgenden Zahlen ausgedrückt ist.

Aus 1	{	0,000005
		0,000050
» 2		0,000500
» 3		0,000250
» 4		0,000025
» 5		0,004000
<hr/>		
Summe 1 — 4	=	0,000830
Ganze Summe	=	0,00483.

Bei einer Substanz mit der specifischen Wärme $= 0,2$ entsteht dadurch ein Fehler:

$$\text{durch } 1 - 4 = 0,00016$$

$$\text{Im Ganzen} = 0,00096.$$

Die Fehler 1 — 4 afficiren also im ungünstigsten Falle die vierte Decimale um circa $1\frac{1}{2}$ Einheiten, während der Fehler aus 5, d. i. der bei der Bestimmung des $\Delta\theta$ resp. Ablesung des Thermometers begangene im ungünstigsten Falle fast eine Einheit der dritten Decimale erreicht.

Es folgt aus diesen Zahlen:

Erstens: dafs die Gränze der erreichbaren Genauigkeit vor allem durch die Empfindlichkeit des Thermometers und die Gröfse des $\Delta\theta$ bedingt wird. Wird daher, wie es z. B. bei den Bestimmungen von Pape der Fall war, ein Thermometer benutzt, welches nur $\frac{1}{50}^{\circ}$ C. abzulesen gestattet, so begeht man dadurch einen Fehler, der bedeutend gröfser ist, als jener der durch die Aufserachtlassung der übrigen Fehlerquellen entsteht. Bei den Bestimmungen von Pape beträgt in jenen Versuchsreihen, bei welchen die zu prüfende Substanz selbst erhitzt wird (die andern Versuche sind natürlich bei weitem weniger genau), die Temperaturerhöhung im Maximum 22 Divisionen $= 4^{\circ},4$ C., im Mittel circa 15 Divisionen $=$ circa 3° C. Da nun beim Ablesen dieser 22 resp. 15 Divisionen ein Ablesefehler von 0,2 Divisionen begangen werden konnte, so sind diese Werthe nur auf $\frac{2}{220}$ resp. $\frac{2}{150}$ sicher, und es resultirt daraus eine Unsicherheit von $\frac{1}{210}$ (im ungünstigsten Falle) und $\frac{1}{75}$ (im Mittel) des gefundenen Werthes. Eine unrichtige Bestimmung der Erhitzungstemperatur des Körpers um mehrere Hundertel Grade bringt einen Fehler hervor, der gegen den eben nachgewiesenen fast verschwindend klein ist, ja man müfste die Erhitzungstemperatur wenigstens um *einen ganzen Grad* irrig bestimmen, um einen ungefähr gleich grofsen Fehler zu begehen, wie ihn Pape mit seinem Thermometer nicht vermeiden kann. Die ganze Genauigkeit, mit der man in Neumann's trefflichem Erhitzungsapparat einen Fehler in Bestimmung der Erhitzungs-

temperatur von $\frac{1}{100}$ Grad C. vermeidet, ist vergeudet und überflüssig, wenn man hinterher sich einem Fehler aussetzt, der über 80 Mal so groß werden kann.

Es ist bekanntlich die Aufgabe des Experimentators seine Versuche so einzurichten, daß die Fehler der Einzelmessungen einen möglichst gleichen Einfluß im Schlussergebnisse hervorbringen, so zwar, daß er den größten Fehler auch durch solche Mittel zu verkleinern sucht, welche die kleineren Fehler um Einiges vergrößern. Er wird in dieser Weise so fortfahren, als sich ihre Summe einem Minimum nähert. Dies leistet Regnault's Apparat; verursacht er auch einen kleinen Fehler durch die weniger genaue Ermittlung der Erhitzungstemperatur, so vergrößert er dafür den Werth des $\Delta\theta$, weil er größere Mengen von Substanz aufzunehmen gestattet, und verkleinert dadurch gerade jenen Fehler, der vom größten Einfluß seyn muß. Wenn also H. Pape versichert, daß »seiner Methode bis jetzt keine Fehlerquellen nachgewiesen seyen und er selbst im Laufe seiner Beobachtungen keine habe entdecken können«, so möchte ich darauf aufmerksam machen, daß eine solche Fehlerquelle in der zu geringen Empfindlichkeit des angewendeten Thermometers in Verhältniß zu der zu messenden Temperaturerhöhung zu suchen sey. Die von H. Pape im Mittel erreichbare Sicherheit wurde oben zu $\frac{1}{75}$ berechnet. Bei den Versuchen von Regnault ist diese Sicherheit im Durchschnitt bedeutend größer. So z. B. ist sie bei den zuletzt mitgetheilten Bestimmungen am Kalkspath mindestens $\frac{1}{250}$, da das $\Delta\theta$ immer nahe gleich 5° C. betrug und das Thermometer nahe $\frac{1}{100}^\circ$ C. abzulesen gestattete.

Aus den im Vorstehenden entwickelten Gründen muß ich also ungeachtet der Gegenerwiderung des H. Pape die Ansicht aussprechen, daß seine Versuche nicht den Anspruch auf eine größere Genauigkeit als jene Regnault's erheben können, und daß sie an einem Fehler leiden, der sich vermeiden läßt.

Es versteht sich von selbst, daß ich durch diese Kritik

den Werth der höchst interessanten und mühsamen Untersuchungen des H. Pape über die specifische Wärme wasserfreier und wasserhaltiger schwefelsaurer Salze nicht zu beeinträchtigen beabsichtige, sondern lediglich in dem Interesse handle, die Methoden zur Ermittlung der spec. Wärme auf einen möglichst hohen Grad der Vollkommenheit zu bringen.

Ich habe oben für die Summe jener Fehler, welche sich einer Rechnung unterziehen lassen, das Maximum $= \frac{4}{1000}$ abgeleitet. Ich beschreibe nun jene Versuche, die mir die Ueberzeugung verschafft haben, daß die übrigen noch vorhandenen, die sich nicht berechnen lassen, auf dieses Maximum keinen wesentlichen Einfluß ausüben. Außerdem halte ich dieselben für sehr geeignet, zur Erledigung der oben besprochenen Kontroverse einiges beizutragen.

Controlbestimmungen an isländischem Kalkspath und an Wasser.

Ich nahm Spaltungsstücke von vollkommen reinem und durchsichtigem isländischem Kalkspathe, in der Gröfse, daß sie eben in die Eprouvette eingeführt werden konnten (mit etwa 7 Millimeter langen Kanten) und bestimmte in zwei Versuchen mit möglichster Sorgfalt ihre spec. Wärme. Hierauf spaltete ich sie noch weiter, bis ihre Kanten eine durchschnittliche Länge von 5 Millimeter hatten. Mit diesem Materiale führte ich bei verschiedenen Anfangstemperaturen fünf Bestimmungen aus. Nun spaltete ich neuerdings in Stücke mit ungefähr 3 Millimeter Kantenlänge, und machte damit zwei Versuche. Endlich verwandelte ich sie in größliches Pulver, füllte damit fünf der oben beschriebenen Messingbüchsen und erhielt so eine letzte Bestimmung. Hierbei wechselte natürlicherweise die Dauer bis zum Eintritt des scheinbaren Maximums und zwar von 20 bis 60 Secunden. Beim gepulverten Kalkspathe, wo die Leitungsfähigkeit am geringsten war, dauerte dieß 110 Secunden, also über 5 Mal so lange als in den Fällen, wo das Maximum am schnellsten eintrat. Die Dauer der Mittelperiode wurde immer um 20 bis 40 Secunden länger als die bis

zum Eintritt des Maximums gewählt, je nachdem der Gang des Thermometers früher oder später constant wurde.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Beobachtung und Rechnung.

(Hier folgt nebenstehende Tabelle.)

Die vorstehenden Zahlen sprechen sehr deutlich.

Man sieht vor Allem, daß die Mittelwerthe der spec. Wärmen für die drei verschiedenen Grade der Zertheilung in vier *Decimale* übereinstimmen, daß die Verschiedenheit in dem Betrage der Correction, welche vom kleinsten Werthe 0,1 bis zum Zehnfachen variirt, keinen merklichen Einfluß auf das Resultat ausübt; denn ordnen wir die Werthe nach der Gröfse der Correctionen:

0,1	. . .	0,2063	}	0,2057
0,15	. . .	0,2057		
0,2	. . .	0,2057		
0,3	. . .	0,2055		
0,3	. . .	0,2053		
0,3	. . .	0,2055	}	0,2058
0,4	. . .	0,2060		
0,5	. . .	0,2057		
0,6	. . .	0,2058		
1,0	. . .	0,2060		

so giebt die erste Gruppe bis auf 0,0001 dasselbe Mittel wie die zweite.

Auf gleiche Weise überzeugt man sich von der Unabhängigkeit des Resultates von der Scalenabtheilung am Thermometer, innerhalb welcher die Beobachtung des $\Delta\theta$ vorgenommen wurde.

Berechnet man nach den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung den *wahrscheinlichen Fehler* des Mittels aller 10 Werthe (wobei man die Gewichtszahlen derselben, welche ohnedieß nicht viel abweichen, einander gleich setzt), so findet man zunächst die Summe der Fehlerquadrate

$$M = 0,00000079$$

	Isländischer Kalkspath									
	in 7 ^{mm} langen Stücken		in 5 Millimeter langen Stücken					in 3 ^{mm} langen Stücken		in Pulverform eingeschlossen in 5 Messinghülsen
Ordnungszahl des Versuchs	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
Gewicht der Substanz (<i>P</i>) in Grammen	20,8100	20,7695	24,0176	26,2632	33,2948	32,8935	30,2434	30,2414	31,7420	21,7766
Auf 0° reducirter Barometerstand	713,74	710,32	709,62	709,02	708,32	697,50	705,02	702,93	701,93	705,36
Lufttemperatur in Graden Cels.	10,75	10,00	10,13	10,00	10,05	13,10	11,52	10,20	10,04	10,65
Berechnete Temperatur des Dampfes (<i>T</i>)	98,25	98,12	98,09	98,07	98,04	97,62	97,91	97,83	97,79	97,92
Anfangstemperatur in Theilen des Thermometers (θ_0) *)	145,5	139,9	133,8	133,9	121,3	155,5	121,8	152,8	151,2	146,9
Endtemperatur in Theilen des Thermometers (θ_n)	187,2	181,7	182,1	186,7	188,0	219,4	182,8	211,5	212,9	197,9
Beobachtete Temperatur-Zunahme ($\Delta\theta$)	41,7	41,8	48,3	52,8	66,7	63,9	61,0	58,7	61,7	51,0
Berechnete Correction (<i>C</i>)	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,15	0,6	0,5	1,0 Benetzungswärme = 0,2
Corrigirtes $\Delta\theta$ in Divis. in Graden Cels.	42,1 = 3°,6122	42,1 = 3°,6122	48,6 = 4°,1699	53,0 = 4°,547	67,0 = 5°,7486	64,0 = 5°,4912	61,15 = 5°,2467	59,3 = 5°,088	62,2 = 5°,3368	51,8 **) = 0°,4444
Corrigirte Endtemperatur in Graden Cels.	13°,98	13°,50	13°,53	13°,92	14°,04	16°,71	13°,58	16°,08	16°,19	14°,93 VVasserwerth der Büchsen = 0,8692
Berechnete specifische Wärme	0,2060	0,2055	0,2053	0,2057	0,2055	0,2063	0,2057	0,2058	0,2057	0,2060
	0,20575		0,20570					0,20575		
	Mittel aller Bestimmungen = 0,20575.									

*) Die Gleichung für die Umrechnung in Cels. Grade war:
 $C = (D - 24,7) 0,08580$, wo
C die Grade Cels., *D* die Divisionen bedeutet.

**) Ohne Rücksicht auf die Benetzungswärme ergäbe sich das
 corrig. $\Delta\theta = 52,0$ = 4°,4616 Cels.
 die corrig. Endtemperat. = 14,946
 die spec. Wärme = 0,2071.

und weiter nach der Formel

$$F = \frac{0,67448 \sqrt{M}}{n}$$

den wahrscheinlichen Fehler

$$F = 0,0000599;$$

die spec. Wärme des isländischen Kalkspaths ist also nach meinen Versuchen *wahrscheinlich* zwischen 0,20581 und 0,20569.

Diese Zahl bedarf noch einer kleinen Correction.

Die mittlere spec. Wärme des Wassers zwischen 10° C. und 15° C., in welchen Raum das beobachtete $\Delta\theta$ fällt, ist nicht genau = 1. Man findet für dieselbe mittelst Regnault's Formel:

$$C_{t',t} = 1 + 0,00002 (t' + t) + 0,0000003 (t'^2 + t' t + t^2)$$

den Werth 1,00064, mit welchem also unser Mittelwerth zu multipliciren ist. Man erhält somit aus obigen Versuchen als definitiven Werth für die spec. Wärme des isländischen Kalkspaths die Zahl 0,20588

Regnault fand im Mittel aus 18 Bestimmungen 0,20694 ¹⁾
Kopp " " " " 4 " 0,206 ²⁾

Diese Zahlen stimmen untereinander so gut, daß dadurch die von H. Pape aus Neumann's Untersuchungen citirte Zahl 0,202 bedeutend an Wahrscheinlichkeit verliert.

Rechnet man die ältern Versuche Regnault's, welche im Mittel einen noch um Etwas höhern Werth geben dazu, so ist nun bereits durch mehr als 30 sorgfältige Versuche nachgewiesen, daß die spec. Wärme des Kalkspats mindestens höher als 0,205 liegen müsse.

Der Abstand der Zahl 0,202 von dem Mittelwerthe meiner Versuche ist über 4 Mal so groß, als der Fehler, den

1) Es sind die 18 Bestimmungen, welche Regnault zu seiner Erwiderung auf Pape's Kritik im CXXII. Bande der Poggend. Ann. veröffentlicht hat.

2) Ich lege auf dieses Mittel kein großes Gewicht, da die Versuche Kopp's zu ganz andern Zwecken als zu Normalbestimmungen unternommen wurden, und deshalb nicht den Grad der Genauigkeit erreichen, der hier in Betracht kommt.

man bei meinem Verfahren nach der obigen Betrachtung im allernüthigsten Falle begehen könnte.

Aufmerksam gemacht durch eine Anmerkung Bohn's im Jahresbericht der Chemie 1864, habe ich nachträglich die Originalabhandlung Neumann's selbst nachgesehen und finde daselbst folgende Angaben über den Kalkspath.

I. Versuchsreihe.

Im Kästchen	Frei
0,2015	0,2091
	0,2096

II. Versuchsreihe.

(von Neumann selbst als verlässlicher bezeichnet)

0,203
0,206
0,2050
0,2050
0,2057
0,2030
<hr/> 0,2046.

Hr. Pape hat nun die zweite verlässlichere Versuchsreihe bei Seite gelassen und einen Werth aus der ersten citirt. Aber auch aus dieser nahm er jenen mit 0,2015 heraus, der aus doppeltem Grunde der unwahrscheinlichere ist: Einmal weil die Substanz im Kästchen eingeschlossen war, dann, weil dieser Werth vereinzelt steht, während von den mit der freien Substanz ausgeführten Versuchen *zwei* gutstimmende Resultate vorlagen. Gerade diese stimmen aber auch mit dem Regnault'schen Werthe überein. Es ist daher um so weniger ein Grund vorhanden, ihm den andern Werth 0,2015 vorzuziehen.

Würde man von den obigen Resultaten der zweiten Versuchsreihe Neumann's die beiden offenbar irrigen Resultate 0,203 entfernen, so erhielt man aus den übrigen als Mittel die Zahl 0,20542, welche mit den von mir gefundenen sehr nahe übereinstimmt.

Es wäre nun nur noch die kleine (im Mittel 0,001)

betragende Differenz zu erklären, welche zwischen Regnault's Resultaten und den meinigen stattfindet.

Ich bin geneigt, sie ganz geringen Verschiedenheiten des Kalkspaths zuzuschreiben. Oder sollte sie doch auf einem kleinen constanten Fehler beruhen, der meinem Verfahren anklebt? Um mir hierüber vollkommene Beruhigung zu verschaffen, wählte ich als entscheidendsten Versuch die Bestimmung der specifischen Wärme des Wassers selbst.

Ich füllte drei sehr dünn aufgeblasene Kugeln von Glas mit destillirtem Wasser, so daß noch eine kleine Luftblase zurückblieb, und schmolz sie vollständig zu.

Drei Wägungen ergaben das Gewicht des Wassers und des Glases.

Ich fand:

Glaskugeln mit Stiel ohne Wasser	= 1,6675
" ohne " mit "	= 5,7970
" mit " mit "	= 6,9162
Wasser	= 5,2487
Glas	= 1,5483
dessen Wasserwerth	= 0,3050

Die Versuche wurden wie sonst ausgeführt.

	I. Versuch.	II. Versuch.
Barometerstand (auf 0° red.)	703,99	704,70
Lufttemperatur	11°,10	10,61
Dampftemperatur	97°,87	97,90
Anfangstemperatur	152,3	152,4
Endtemperatur	204,8	204,8
Beobacht. $\Delta\theta$	52,4	52,4
Correction	1,2	1,2
Corrig. $\Delta\theta$	53,6	53,6
	= 4°,598 C.	= 4°,598 C.
Corrig. Endtemperatur	15°,55 C.	15°,55 C.
Spec. Wärme	= 1,0060	1,0056

Auf die spec. Wärme des Wassers bei 0° als Einheit umgerechnet, ergibt sich

1,00664	1,00624
---------	---------

Dies ist die mittlere spec. Wärme des Wassers zwischen $15^{\circ},6$ C. und $97^{\circ},9$.

Aus Regnault's Formel berechnet man für dieselbe den Werth	1,00568
Obige Zahlen geben im Mittel	<u>1,00644</u>
Differenz =	0,00076

Beim Kalkspath, dessen spec. Wärme nahe $\frac{1}{5}$ von der des Wassers beträgt, wäre der daraus entstehende Fehler = 0,00015
 Er ist nicht bloß verschwindend klein, sondern auch nach entgegengesetzter Seite liegend, denn durch seine Berücksichtigung werden die Resultate kleiner.

Bei diesen beiden Versuchen war, da zufällig ganz die gleiche Anfangstemperatur getroffen wurde, der Gang der Zahlen ganz derselbe. Als ich eine dritte Bestimmung unter abgeänderten Umständen anstellen wollte, explodirte ein Kügelchen beim Einschütten, so daß der Versuch vereitelt wurde. Da die beiden ersten Versuche so befriedigend unter einander und mit dem berechneten Werthe übereinstimmten, begnügte ich mich mit denselben. Der Wasserwerth des Glases war mit Zugrundelegung der spec. Wärme 0,197 berechnet worden. Ein Versuch ihn ebenfalls direct zu bestimmen, scheiterte daran, daß die dünnen Splitter nicht vollständig und schnell genug untersanken. Bei dem geringen Gewichte des angewendeten Glases würde aber auch eine ziemlich bedeutende Abweichung in der spec. Wärme des Glases keinen merklichen Einfluß auf das Resultat ausüben.

Aus diesem Versuche folgt zweierlei: Einmal die Abwesenheit eines constanten Fehlers, mithin die Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit der andern Bestimmungen; zweitens die Empfindlichkeit und Vortrefflichkeit des angewendeten Regnault'schen Apparates überhaupt, welcher, trotz seiner Einfachheit und ausnehmenden Billigkeit, so genaue Bestimmungen gestattet, wie sie die Ermittlung der Aenderung der Wärmecapacität mit der Temperatur erfordert.

Nach dieser Abschweifung, bei der ich mich länger auf-

gehalten, als ich ursprünglich beabsichtigte, gehe ich nun an die Mittheilung der

Resultate der Untersuchung der spec. Wärme der Bodenarten.

Nachdem ich mich bei Beschreibung der Methode und der Berechnung so ausführlich ausgesprochen, halte ich die Mittheilung des Details der folgenden Bestimmungen für überflüssig. Die folgende Tabelle enthält die Charakterisirung der untersuchten Erden, insbesondere die Angabe der geognostischen Zusammensetzung des Materials durch dessen Verwitterung sie entstanden sind. Die erste Zahlencolumne enthält die Werthe der spec. Wärmen der bei 100° getrockneten Erden. Die zweite ihren Wassergehalt im lufttrockenen Zustande, die dritte die für diesen Zustand berechnete spec. Wärme. Bezeichnen S , p , S_1 diese drei Werthe, so besteht die Relation:

$$S_1 = S + \frac{p}{100}(1 - S).$$

Die aufgeführten Resultate sind meist Mittelwerthe von zwei oder noch mehreren Versuchen; die durchschnittlich in Anwendung gebrachte Substanzmenge war so groß, daß das 10 40 bis 60 Theilstriche des Thermometers betrug. Nur beim Torf war dasselbe geringer (= 31), sein Werth ist daher etwas weniger, für den vorliegenden Zweck aber jedenfalls hinreichend verläßlich.

Beschreibung der Erde und Fundort derselben	Specifische Wärme der bei 100° getrockneten Substanz	Wasser-verlust bei 100° in Proc.	Specifische Wärme der luft-trockenen Substanz
<i>Flusssand</i> von den Pufsten östlich von Pest (Herminienfeld) feines gelbes Sandpulver ohne Humus	0,1923	0,27	0,1945
<i>Alluvialsand</i> vom Donauufer bei Mautern in Niederösterreich humusfrei . .	0,2140	0,30	0,2163
Sand von der Türkenschanze bei Wien, <i>tertiäre Sandhügel</i> , humusfrei . . .	0,2029	0,41	0,2062

Beschreibung der Erde und Fundort derselben	Specifiche Wärme der bei 100° ge- trockneten Substanz	Wasser- verlust bei 100° in Proc.	Specifiche Wärme der luft- trockenen Substanz
<i>Kalksand</i>	0,2081	—	—
Erde von den <i>Sandsteingebirgen</i> des Wienerwaldes bei Dornbach, hellbraunes feines Pulver	0,2503	2,35	0,2679
Erde vom Anninger, <i>Kalkberge</i> im Wienerwalde, Mittelbraunes grobes Pulver	0,2829	3,00	0,3044
Erde von der Ginselhöhe bei Scheibbs, <i>Kalkberg</i> in den niederösterreichischen Voralpen (Aptychenkalk), hellbraunes, feines Pulver	0,3161	2,00	0,3298
Erde vom Oetscher, <i>Kalkalpe</i> in Unterösterreich, Hellbraune, ziemlich harte Körner	0,2829	3,49	0,3075
Erde vom <i>Granitplateau</i> im Mühlviertel in Oberösterreich	0,3489	1,51	0,3587
Erde von den Schiefergehängen des Donauthales bei Dürnstein (Gneufs)	0,2147	1,41	0,2258
Erde vom <i>Serpentinstock</i> am Südrande des böhmisch-rührischen Gebirgsplateaus	0,2793	1,00	0,2821
Erde vom Kaiserstein, dem Gipfel des niederösterreichischen Schneeberges; dunkelbraune, sehr leichte und sehr <i>humusreiche</i> Krume; geognost. Unterlage: <i>Isokardienkalk</i>	0,4143	5,90	0,4436
Erde aus einem Wiesenmoor am Rákos in Ungarn; enthielt Quarzsand beigewengt	0,2507	1,22	0,2598
<i>Torf</i> aus einem Hochmoor bei Mariazell in Steiermark, fast nur aus Pflanzenresten bestehend und sehr leicht	0,5069	4,55	0,5293
Steppenboden im Inundationsgebiete zwischen der Laggva und Theiß, harte aschgraue, <i>thonige</i> Stücke, völlig unfruchtbar	0,2682	2,09	0,2836
Erde von besonders fruchtbaren Weizenäckern bei Palota in der Nähe von Stuhlweissenburg in Ungarn	0,2847	2,66	0,3037
Szék-Só, Kheirsoda von den Ufern der Lachen bei Tapio-Szella in Ungarn, weißlich aschgraues leichtes Pulver	0,2136	—	—
NB. Bei dieser einzigen Erde beobachtete ich eine negative Benetzungswärme d. h. Abkühlung beim Vermischen mit Wasser.	.		

Schlussfolgerungen.

Die vorliegenden Resultate, so dürftig sie auch noch sind, lassen doch bereits einige Schlüsse zu; sey es auch nur in sofern, als sie Winke geben, auf was für Verhältnisse man bei weiteren Untersuchungen besondere Aufmerksamkeit zu verwenden hat.

Man sieht, dass die Gränzen der Wärmecapacität der Erden bei 0,19 und 0,50 liegen, man kann also in runder Zahl sagen, sie wechsele zwischen der Hälfte und dem Fünftel der spec. Wärme des Wassers. Die niedrigste spec. Wärme kommt den *humusfreien* Bodenarten zu, *gleichgiltig, ob sie aus Silicaten oder aus Kalkerde* der Hauptsache nach bestehen. Es lässt sich dies begreifen, wenn man bedenkt, dass Kalkspath und Bergkrystall die nahe aneinanderliegende spec. Wärme 0,20 und 0,19 besitzen, dass ferner auch die meisten übrigen Silicate nach Neumann's und Kopp's Bestimmungen nahe bei 0,19 liegende Werthe zeigen. Auch Bitterspath stimmt vollkommen mit Kalkspath überein.

Man wird nicht weit fehlgreifen, wenn man allen *trockenen* und *humusfreien* Bodenarten eine nahezu gleiche bei $\frac{1}{5}$ liegende Wärmecapacität zuschreibt.

Die grösste Wärmecapacität, die ich beobachtete, kommt dem Torfe zu (0,507). Ihm zunächst steht die humusreichste aller untersuchten Erden (vom Gipfel des Schneeberges gesammelt) mit 0,4143, hieran reiht sich die Erde vom Granitplateau im Mühlviertel mit 0,3489, welche ebenfalls sehr humusreich ist.

Die übrigen Erden schalten sich zwischen diesen Extremen je nach ihrem Gehalte an Humus ein. Die Mehrzahl besitzt eine spec. Wärme von 0,25 bis 0,28.

Aufser dem gröfseren Gehalt an organischen Ueberresten muss nun offenbar auch ein grofser Wassergehalt die Wärmecapacität sehr erhöhen. Es werden daher insbesondere *thonige* Erden, welche sehr viel Wasser aufsaugen und festhalten, in Bezug auf diese physikalische Eigen-

schaft sich den humusreichsten Erden respect. dem Torfe nähern.

Wir wissen also nun wenigstens das Eine, daß die geognostische Beschaffenheit der Unterlage auf die Wärmeverhältnisse von geringerer Bedeutung ist, und daß dafür zwei andere Factoren: *Humusgehalt* und *Wasserzurückhaltungsvermögen* in den Vordergrund treten. Diesen ist daher bei kommenden Untersuchungen am meisten Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Man hat beobachtet, daß Pflanzen, welche in der Regel auf Schiefergebirgen vorkommen, auch auf Kalkunterlage gedeihen können, wenn diese mit einem starken Polster von Humus bedeckt ist. Sollte neben der Erklärung, daß diese Humusschicht den Kalk von der Pflanze fern halte, nicht auch jene andere beachtenswerth seyn, daß diese Humusschicht gewissermaßen als Surrogat für jene lehmigen sehr wasserreichen Erden diene, welche so häufig bei Verwitterung des Schiefers sich bilden, da beide Unterlagen in Bezug auf ihre Wärmecapacität derselben Klasse angehören?

Ich habe schon im Eingange dieser Abhandlung angedeutet, daß erst nach Bestimmung der andern auf die Wärmeverhältnisse bezüglichen Eigenschaften, insbesondere des Leitungsvermögens, an eine vollständige Behandlung der Frage gedacht werden kann. Es sey mir aber doch gestattet, einige Andeutungen darüber zu geben, welchen Einfluß eine Verschiedenheit in der Wärmecapacität der Erden bei gleicher Leitungsfähigkeit und gleichem Absorptionsvermögen auf die Temperaturverhältnisse ausüben muß.

Setzen wir z. B. gleiche Mengen Erde mit gleicher Oberfläche, die eine mit der spec. Wärme = 0,2, die andere mit der spec. Wärme = 0,4, beide mit derselben Anfangstemperatur den wärmenden Wirkungen von Sonne und warmer Luft aus, so wird sich die erstere viel schneller erwärmen, als die zweite. Genügt also z. B. für die erste die Wärmemenge, welche während eines Frühlingstages zugeführt wird, zu einer solchen Temperaturerhöhung, wie

sie irgend eine Pflanze erfordert, so reicht diese für die zweite Erde noch nicht aus.

Andererseits verzögert aber auch die grössere Wärmecapacität die Abnahme der Temperatur. Sinkt z. B. in einer Nacht die Temperatur der ersten Erde so tief, daß eben irgend eine Pflanze erfriert, so erreicht sie in der zweiten Erde dieses Minimum nicht. *Geringe Wärmecapacität* bedingt also im Allgemeinen *größeren Abstand der Extreme*, *große Wärmecapacität* wirkt den *Extremen entgegen* und sucht sie einander zu nähern.

Diese Verhältnisse sind wichtig genug, um zu erkennen, daß das Studium dieser physikalischen Eigenschaften zur Erforschung der Abhängigkeit der Vegetation von der Beschaffenheit des Bodens unumgänglich nothwendig ist. Zur Befestigung dieser Erkenntniß einen Beitrag geleistet zu haben, war der Zweck dieser meiner Abhandlung, welchen ich erreicht zu haben glaube.

VIII. *Ueber die Durchbohrung des Stanniols durch den Entladungsschlag der elektrischen Batterie; von W. Hankel.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Berichten d. K. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften.)

Stellt man einer mit dem einen Belege der elektrischen Batterie verbundenen Kugel ein mit dem anderen Belege in leitendem Zusammenhange stehendes Stück Stanniol gegenüber, und erhöht die Spannung der Batterie so weit, daß zwischen der Kugel und dem Stanniol ein Funke überspringt, so wird bei diesem Vorgange, selbst wenn die Elektrizität keine erhebliche Stärke besitzt, das Stanniol durchbohrt. Die Beschaffenheit der Durchbohrung, so wie die Größe der dadurch im Stanniol erzeugten Löcher muß mit der Span-