dessen fand auch eine auffallende Vermehrung ihrer Feinde statt, und deren jetzt ausschlüpfende Brut ist es, welche Hr. Klein an seinen Fenstern sich abmühen sah, um ins Freie zu gelangen, was diesen nützlichen Geschöpfen durch Öffnen der Fenster wohlweislich gestattet wurde.

Hr. Verfasser *P. Leverkühn*-Sofia sendet „Biographisches über die 3 Naumann's und Biographisches über ihre Werke", Gera-Untermhaus, Verl. v. Eug. Köhler, 1904, 8 Tafeln, eigens für diesen Sonderabdruck aus Naumann's Naturgeschichte der Vögel Mitteleuropas, Bd. I.; br., 88 Seiten.

Hr. *Wirth* übersendet mehrere Exemplare des „Questionnaire de la 1re section du Congrès international de l'Art public, à Liège, 1905", zugleich mit einer Einladung an unsere Gesellschaft, sich als Mitglied dieses Kongresses einschreiben zu lassen.

Hr. *Müllenberger* referirt „über den Geruchssinn der Schmetterlinge" (wird publizirt). Zum selben Thema sagt dann Hr. *Klein* ein Wort über die Duftschuppen der brasilianischen Bläulinge (Lycaeniden) die Einrichtung wurde von Fritz Müller entdeckt, nachdem dessen Kinder ihm Falter gebracht hatten, die „einen guten Geruch" hatten; sie ist auf eine Stufe zu stellen mit den Erscheinungen der Balz oder den lebhafteren Hochzeitsfärbungen in anderen Tiergruppen; hier ist es das Männchen, welches mehr oder weniger starken Duft ausströmt, und so dem in geringerer Anzahl vorhandenen Weibchen eine Auslese ermöglicht.

Als Ort der Mai-Wanderversammlung wird Wiltz bestimmt.

Nächste Sitzung am 16. April 1905.

Bricher.

☞ Umständehalber findet die Wanderversammlung in Wiltz erst am **4. Juni** statt. — Nächste Monatssitzung am **21. Mai.** ☜

Das Gebiet der tiefen Temperaturen.

Vortrag

von Dr. rer. nat. Eug. BISENIUS.

In seinem rastlosen und unstillbaren Forschungstriebe steuert der menschliche Geist unaufhaltsam vorwärts, um die durch die gegenwärtigen Erdbedingungen gesetzten Grenzen zu überschreiten. Wie der Mensch das Bild seiner Zeit ist und das Produkt der entsprechenden geschichtlichen Entwicklung darstellt, so ist die Art und Weise, wie die Naturkräfte sich betätigen können, gegeben durch die jeweilige Daseins-

erscheinung des Weltalls und speziell unserer Erde. Doch mit dem Studium der jetzigen Zustände begnügt der Mensch sich nicht. Wenn es auch nicht in seiner Macht steht, die gewaltigen Grenzsteine zu versetzen von dem Platze, den sie augenblicklich behaupten, so ist es ihm doch vergönnt, sich hinauf auf sie zu schwingen, um auf erhöhtem Standpunkte, von sicherer Grundlage aus, Umschau zu halten, den Blick hinüberschweifen zu lassen nach dem Lande der Sehnsucht, dessen Boden er nicht zu betreten vermag. Wenn am Grenzsteine auch nicht gerüttelt werden kann, so gelingt es ihm doch, im Geiste sich darüber hinaus zu wagen und was er erschaut, giebt ihm Aufschluss darüber, wie es in vergangenen Zeiten wohl auf der Erde ausgesehen haben mag und nach welchem Endzustande sie wohl hineilen wird. Doch nicht die reine Spekulation, welche ja irre führen kann, dient ihm als alleinige Wegebereiterin; einen sicheren und zuverlässigen Leitstern besitzt er am Experiment, das, richtig ausgeführt und richtig verstanden, nicht trügt. Reichen Gewinn heimst er übrigens ein; die gewonnenen Aufschlüsse sucht er für das industrielle und wirtschaftliche Leben zu verwerten, um so das Dasein desto lebenswerter zu gestalten.

Den gewaltigsten Einfluss auf den Entwicklungsgang der Erde üben wohl die Temperaturverhältnisse aus, da der Zustand der Materie und deren Erscheinungen aufs innigste mit ihnen verknüpft sind. Im praktischen Leben spielen sie eine hervorragende Rolle. Die jeweiligen Temperaturbedingungen, welche man schaffen konnte, bilden einen wichtigen Faktor der Kulturgeschichte.

Es leuchtet uns ein, dass von jeher Hitze und Kälte die Aufmerksamkeit der Menschheit auf sich gezogen haben, dass von altersher Hitze und Kälte beliebte Anziehungspunkte für die Wissenschaft gewesen sind, oder vielmehr niedere und höhere Temperaturen, da zwischen beiden kein prinzipieller Unterschied besteht, insofern Kälte nicht negative Wärme ist, sondern nur ein geringeres Mass von Wärme bedeutet.

Die äussersten Temperaturgrenzen, wie sie die Erde in der augenblicklichen Periode nicht darbietet, zu erreichen, ist mannigfach angestrebt worden. Nach oben hin scheint keine bestimmte Grenze gesetzt zu sein; weshalb sollte man nicht annehmen dürfen, dass die Temperatur unermesslich wachsen könne? Bis jetzt beträgt die höchste auf künstlichem Wege erreichte Temperatur nahezu 4000°, wie sie in Moissan's elektrischem Ofen durch Verwendung des elektrischen Licht-

bogens gewonnen wird. Viel schwieriger ist es, die andere Richtung der Bahn zu verfolgen. Viel mehr Mühe und Aufwand kostet es, tiefere Temperaturen zu erreichen; ja sogar, nicht bis ins Unbegrenzte können tiefe Temperaturen erhalten werden. Es besteht ein tiefster Temperaturgrad, der nicht überschritten werden kann. Zu dessen Kenntnis und Feststellung ist man durch folgende Erwägungen gelangt. Von 0° an wächst die Spannkraft eines Gases für jeden Temperaturgrad um $^1/_{273}$ derjenigen bei 0°; infolge dieser erhöhten Spannkraft leistet, wie bekannt, das Gas Arbeit in unsern Kraftmaschinen. Desgleichen nimmt die Spannkraft eines Gases, wenn man es unter 0° abkühlt, für jeden niederen Temperaturgrad um $^1/_{273}$ derjenigen bei 0° ab. Nehmen wir die unbegrenzte Gültigkeit dieses Gesetzes an, so wird die Spannkraft eines Gases bei — 273° gleich Null sein. Da nun die Spannung ihren Ursprung den Bewegungen der kleinsten Teilchen, der Molekülen, verdankt, so müsste, da die Spannkraft Null ist, die Bewegung der Gasmolekülen bei — 273° ihr Ende erreicht haben. Da ferner die Temperaturunterschiede auf die verschieden schnelle Bewegung der Molekülen zurückgeführt werden, so könnte, weil bei — 273° jene Bewegung aufhört, eine tiefere Temperatur nicht bestehen. Dieser Temperaturgrad von —273° wird als absoluter Nullpunkt bezeichnet, im Gegensatze zum relativen Nullpunkte, dem Schmelzpunkte des Eises und die vom absoluten Nullpunkt aus gezählten Temperaturen heissen absolute Temperaturen. Hier wäre, wenn es jemals gelingen sollte, jene tiefste Temperatur, den Nadir der Temperatur, wie man sie bezeichnet hat, zu erreichen, für ein Wissensgebiet die Grenze erreicht. An diesem Punkte würde, der Natur der Sache entsprechend, dem Forschungsdrange ein gebieterisches Halt sich entgegensetzen; die Fahne, welche hier aufgepflanzt ist, trägt die Aufschrift: „Nec plus ultra".

Lange Jahrhunderte hindurch ist die Menschheit nicht über die von der Natur auf der Oberfläche der Erde gegebenen tiefsten Temperaturgrade hinausgekommen, über die durch strenges Frostwetter erzielten Kältegrade. Die niedrigste Temperatur in dieser Beziehung ist bis heute in Ostsibirien zu Werchojansk an der Jana festgestellt worden, wo im Winter das Thermometer bis zu —65° sinken kann.

Wenn es auf künstlichem Wege mit leichter Mühe gelingt, in allen Zonen zu jeder Jahreszeit höhere Temperaturen zu gewinnen, so ist dasselbe nicht der Fall, wenn es sich um die künstliche Erzeugung tieferer Temperaturen

handelt. In dieser Richtung geschah der erste Anstoss erst im 16. Jahrhundert. Damals begann die Temperaturerniedrigung, welche beim Auflösen der Salze in Wasser eintritt, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Die Auflösung eines festen Körpers in einer Flüssigkeit, wofern sie nicht von einer chemischen Wirkung begleitet wird, hat eine Temperaturerniedrigung zur Folge. Es wird nämlich bei diesem Vorgange der Flüssigkeit Wärme entzogen, welche verbraucht wird von der Auflösung des festen Körpers, die nichts anderes als eine Schmelzung, als eine Verflüssigung ist. In der Folgezeit stellte man fest, dass es möglich ist, tiefere Temperaturen zu erreichen, wenn das Wasser, welches die Rolle des Lösungsmittels spielt, durch Schnee ersetzt wird. In diesem Falle sinkt die Temperatur tiefer, weil auch das Schmelzen des Schnees Wärme beansprucht. Solche Mischungen von Schnee oder Eis und einem andern Körper, der gewöhnlich ein Salz ist, werden als Kälte- oder Frostmischungen bezeichnet. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurden auf diese Weise zuerst Temperaturen von —21° gewonnen, indem man trockenen Schnee innig mit fein gepulvertem Kochsalz mengte. Schon beträchtlichere Kältegrade werden durch Anwendung anderer Frostmischungen erzielt. Ein Gemenge von 100 Teilen trockenen Schnees mit etwa 143 Teilen kristallisierten Kalziumchlorids bewirkt eine Temperatur von etwa —55°, also eine Temperatur, bei welcher das flüssige Metall Quecksilber, dessen Gefrierpunkt bei —40° sich befindet, zum Erstarren gebracht werden kann.

Der Uebergang aus dem festen Formzustande in den flüssigen ist, wie die Frostmischungen lehren, mit Kälteerzeugung, also mit Wärmeentziehung verbunden. Wärmeabsorption tritt ebenfalls auf, wenn ein Körper aus dem flüssigen Zustand in den gasförmigen übergeht. Auf der Verdampfung, wie diese Erscheinung heisst, beruht eine zweite und wirksamere Methode der Temperaturerniedrigung. Die Verdampfungswärme, welche der Flüssigkeit entzogen wird, um einen Teil derselben in den gasförmigen Zustand überzuführen, ist überaus gross, erfordert doch z. B. die Umwandlung eines Gramm Wassers von 100° in Dampf von derselben Temperatur 537 Kalorien. Wem hätte noch nicht der eigene Körper Bescheid gegeben, weiss doch jedermann aus Erfahrung, dass man im Schwitzzustande leicht Erkältungen ausgesetzt ist? Benutzt man Flüssigkeiten, die bei niedrigerer Temperatur sieden als das Wasser, so können intensivere Temperaturerniedrigungen erzielt werden; die Verdampfung vollzieht sich schneller.

Giesst man z. B. einen Tropfen Aethylaether oder gewöhnlichen Aether, dessen Siedepunkt bei 35° liegt, auf die Haut, so verdampft er schnell und man fühlt recht wohl die lokale Temperaturerniedrigung, die daraus erfolgt; ja, diese rasche Verdampfung hat eine praktische Verwendung gefunden, indem man sie benutzt, um lokale Empfindungslosigkeit zu erzeugen. Infolge rascher Verdampfung von Aether, welche durch einen starken Luftstrom herbeigeführt wird, sinkt die Temperatur so tief, dass sogar Wasser zum Gefrieren gebracht werden kann. Rascher und intensiver vollzieht sich die Kältewirkung bei Anwendung von Aethylchlorid, das als lokales Anästhetikum heute grösstenteils den Aether ersetzt hat; sein Siedepunkt liegt bei 12°.

Durch Verdampfung von Flüssigkeiten sind bis jetzt die tiefsten Temperaturen erreicht worden. Man muss eben zu Flüssigkeiten greifen, die möglichst tief sieden. Praktische Resultate wurden gewonnen, sobald es gelang, unter gewissen Bedingungen solche Körper in den flüssigen Zustand überzuführen, welche unter den gegenwärtigen Temperatur- und Druckverhältnissen der Luft gasförmig sind. Dass ein solcher Übergang möglich sei, leuchtet ohne weiteres ein. Die Dämpfe, z. B. Wasserdampf, lassen sich verflüssigen; weshalb sollte dies bei den Gasen nicht möglich sein? Könnte man diese nicht auffassen als Dämpfe von Körpern, welche unter den augenblicklich gegebenen Bedingungen sich nicht im flüssigen Zustande befinden? Wenn man sich vergegenwärtigt, dass die Formzustände der Körper ungemein abhängig von der Temperatur sind, sollte es da nicht erreichbar sein, die Gase durch Abkühlung zu verflüssigen, wie das bei den Dämpfen der Fall ist? Dieser Frage ist man gegen Ende des vorletzten Jahrhunderts nahe getreten und bald sollten die theoretischen Erwägungen von praktischem Erfolge gekrönt sein. Von den bis dahin nur gasförmig bekannten Körpern wurde zuerst das Schwefeldioxyd in den tropfbar flüssigen Zustand übergeführt, wobei als Abkühlungsmittel eine Kältemischung von Eis und Kochsalz Verwendung fand. Unter diesen Umständen erhält man eine Flüssigkeit, welche unter dem atmosphärischen Drucke bei —8° siedet. Etwas später fand das Schwefeldioxyd am Ammoniak einen Leidensgenossen, der, unfähig der ungewohnten Einwirkung zu widerstehen, den flüssigen Zustand annahm, sobald er einer wirksameren Kältemischung, derjenigen von Schnee und Kalziumchlorid, ausgesetzt wurde. Diese Flüssigkeit siedet bei —33°. Schwefeldioxyd und Ammoniak sieden bei Temperaturen, die niedriger sind als der Schmelzpunkt

des Eises und durch ihre Verdampfung war die Möglichkeit gegeben, noch einige Temperaturgrade unter —8° und —33° herabzugehen. Vermittelst der Kälte, welche durch die Frostmischungen und das Verdampfen der durch sie bewirkten Flüssigkeiten erzielt wurde, gelang es jedoch nicht, noch andere Gase zu verflüssigen und es schien als ob man auf diese Weise kaum über die durch die Frostmischungen erlangten Temperaturgrade hinauskommen könne.

Doch die Überlegung, dass die Formzustände der Körper nicht nur von der Temperatur, sondern auch von dem Drucke abhängig sind, gab den Anstoss einer sich rasch entwickelnden Kältetechnik. Nicht nur durch Temperaturerniedrigung, sondern auch durch Druck gelingt es, die Gase in den flüssigen Zustand überzuführen. Dass dieses möglich sei, beweisen unter anderm Quarzkristalle, welche Einschlüsse von flüssigem Kohlendioxyd (gewöhnlich Kohlensäure genannt) enthalten, das unter den gewöhnlichen Druckbedingungen nur als Gas auftritt. Kombiniert man hohen Druck mit tiefer Kälte, so muss die Wirkung um so intensiver sein. Davy und Faraday sind die ersten, welche in umfassendem Masse sich dieser Methode der Gasverflüssigung bedienten. Ihre Arbeiten fallen in die Jahre 1823 und 1824. Es gelang ihnen die Verflüssigung einer ganzen Reihe von Gasen, der Kohlensäure, des Schwefelwasserstoffs, der Salzsäure, u. s. w. Von demselben Prinzipe ausgehend erbaute Thilorier im Jahre 1834 einen Apparat, welcher lange Jahre hindurch vielfach Verwendung fand, um Kohlensäure in beträchtlichen Mengen zu verflüssigen, so dass es möglich war, flüssige Kohlensäure literweise herzustellen. Sie ist farblos und leicht beweglich. Da man nun das Mittel in der Hand hatte, die leicht zugängliche Kohlensäure in grossem Massstabe zu gewinnen, so verfügte man von jetzt an über ein mächtiges Agenz, mit dessen Hilfe man in den Stand gesetzt wurde, tiefere Temperaturen als je zu erhalten, siedet dieser Körper doch bei —78°. Durch die Verdampfung der flüssigen Kohlensäure sank die Temperatur noch weiter und bald entdeckte Thilorier, dass sie durch die eigene Verdampfung in den festen Zustand übergeführt, also zum Gefrieren gebracht werden kann. Es bildet sich Kohlensäureschnee. Flüssige Kohlensäure wird heute fabrikmässig hergestellt und in schmiedeeisernen oder stählernen Flaschen, die je nach der Grösse 2 bis 33 Liter enthalten, dem Handel übergeben. Es entspricht 1 Liter flüssige Kohlensäure etwa 400 Liter derselben im Gaszustande unter den gewöhnlichen Druck- und Temperaturverhältnissen.

Vor dem Gebrauche werden die Flaschen einem Probedrucke von 250 Atmosphären unterworfen, während die flüssige Kohlensäure bei 0° nur einen Druck von 26 Atmosphären und bei 30° einen solchen von 74 Atmosphären ausübt. Sie dient, unter anderm, wie allgemein bekannt, zum Abziehen des Bieres, wobei sie noch den Vorteil besitzt, die Entwicklung gewisser Kleinorganismen zu verhindern, welche nur in Berührung mit der Luft zu leben vermögen. Lässt man flüssige Kohlensäure in ein poröse Tasche ausfliessen, so vergast sie zum Teil; aber hierdurch wird dem andern Teile soviel Wärme entzogen, dass er erstarrt. Es sammelt sich ein schneeartiger, fester Körper an: die feste Kohlensäure. Sie verdunstet sehr langsam, weil sie ein schlechter Wärmeleiter ist. Ihre Temperatur beträgt etwa —78°. Im lockeren Zustand bewirkt sie, auf die Hand gelegt, nur ein geringes Kältegefühl, weil durch die Verdampfung eine die innige Berührung hindernde Gasschicht erzeugt wird. Zerdrückt man sie jedoch zwischen den Fingern, so empfindet man einen lebhaften Schmerz und es bildet sich eine Blase wie bei Verbrennungen durch heisse Körper. Stellt man einen Brei aus fester Kohlensäure und etwas Aether her, so erhält man eine Kältemischung, mit deren Hilfe man Temperaturen von unter —100° erreichen kann. Bei dieser niedrigen Temperatur kann Quecksilber leicht zum Erstarren gebracht werden. Von jenem für die damalige Zeit bedeutungsvollen Kältemittel, das die flüssige Kohlensäure darstellt, machte im Jahre 1845 Faraday ergiebigen Gebrauch. Mit Zuhilfenahme der Luftpumpe beschleunigte er die Verdampfung der flüssigen Kohlensäure, so dass der Siedepunkt von —78° bis —110° herabsank. Temperaturen von unter —100° erreichte er ebenfalls durch die Anwendung der eigenartigen Kältemischung von fester Kohlensäure und Aether. Dieser niedrigen Temperatur und gleichzeitig einem hohen Drucke setzte Faraday eine ganze Reihe von Gasen aus und es glückte ihm, ihre Verflüssigung, z. B. die des Stickoxyduls, das unter dem Namen Lachgas bekannt ist, und die des Aethylens oder ölbildenden Gases, das zu 4 bis 5% im Leuchtgase vorkommt.

Forts. folgt.