# Das Gebiet der tiefen Temperaturen.

Vortrag

von Dr. rer. nat. Eug. BISENIUS.

Schluss.

Dewar gelang es bald darauf, die jüngste Errungenschaft auf unserem Gebiete zu machen; es ist die statische Verflüssigung des Wasserstoffs, die ihm Mitte 1898 glückte. Alle Bemühungen in diesem Sinne waren bisher resultatlos verlaufen. Als jedoch die industrielle Verflüssigung der atmosphärischen Luft zur Wirklichkeit geworden war, verfügte man über das Mittel, einen bedeutsamen Schritt weiter nach dem absoluten Nullpunkte hin zu tun. Die Bedingungen, welche zur Verflüssigung des Wasserstoffs erfüllt werden mussten, waren durch theoretische Erwägungen nahezu bekannt. Wasserstoff, welcher auf — 205° abgekühlt war und unter 180 Atmosphären Druck stand, lies Dewar aus einer Schlangenröhre in ein auf — 200° gekühltes Vakuumgefäss kontinuierlich austreten, ohne dass Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfand. Aus diesem Vakuumgefässe begann flüssiger Wasserstoff in ein anderes, ebenfalls abgekühltes Vakuumgefäss zu tropfen. Im Jahre 1902 wurde von Olszewski ein neuer Wasserstoffverflüssigungsapparat errichtet. Er beruht, wie die Linde'sche Luftverflüssigungsmaschine, auf dem Thomson-Jovle Effekt, der, wie vom Krakauer Forscher erkannt worden war, auch Gültigkeit für den Wasserstoff besitzt, wenn dieses Gas unter — 80,5° abgekühlt ist. Flüssiger Wasserstoff ist farblos, leicht beweglich und siedet unter gewöhnlichem Drucke bei —252,5°. Von allen Körpern ist flüssiger Wasserstoff bei weitem der kälteste. Sein Siedepunkt liegt nicht gar weit vom absoluten Nullpunkt entfernt, nämlich bei 20,5° absoluter Temperatur. Im Jahre 1899 gelang es Dewar, den Wasserstoff auch zum Erstarren zu bringen. Unter der Luftpumpe erniedrigt sich die Temperatur bis zu — 258°, wobei die Flüssigkeit fest wird und eine gewisse Ähnlichkeit mit gefrorenem Schaum besitzt, der bei weiterem Auspumpen sich bis auf — 259,5° oder 13,5° absolut abkühlt. Es ist dies die tiefste bisher erreichte Temperatur; sie befindet sich sozusagen an der Schwelle des absoluten Nullpunktes. Der feste Wasserstoff kann ebenfalls als klares, durchsichtiges Eis erhalten werden, das gegen 15° absolut schmilzt und die Dichte von nur etwa $^1/_{10}$ derjenigen des Wassers besitzt.

Die Verflüssigung und die Erstarrung des Wasserstoffs sind von hoher Bedeutung gewesen. Von jeher nämlich nahmen

die meisten Chemiker an, dass, wenn es je gelingen sollte, Wasserstoff in den flüssigen und festen Zustand überzuführen, er metallische Eigenschaften zeigen würde. Dieser Schluss war ein Analogieschluss, weil der Wasserstoff als Gas sowohl als in Verbindungen gewisse metallische Eigenschaften aufweist. Zum Erstaunen der Chemiker besass jedoch der Wasserstoff in flüssiger und fester Gestalt keineswegs metallische Eigenschaften; die Voraussicht war zu Schanden geworden. Flüssiger Wasserstoff ist ein farbloser, durchsichtiger Körper, und gefrorener Wasserstoff kann in gar keine Beziehung zu einem festen Metalle gebracht werden. Er leitet die Elektrizität nicht, wie dies die Metalle tun. Wir haben hier ein Beispiel vor Augen, wie theoretische Spekulationen, auch wenn sie durch die Analogie die grösstmögliche Berechtigung finden, nicht immer zur Wahrheit führen. Sie müssen, wie eingehends erwähnt, durch das Experiment ihre Bestätigung finden.

Flüssiger Wasserstoff ist ein Körper von ausserordentlichem Interesse. Er stellt bei weitem die leichteste Flüssigkeit dar, die man kennt. Sein spezifisches Gewicht beträgt nur etwa $^1/_{14}$ desjenigen des Wassers, während die bisher leichteste Flüssigkeit, das flüssige Grubengas, 6 mal schwerer ist als flüssiger Wasserstoff. Nur ein, und zwar ein fester Körper, ist leichter als flüssiger Wasserstoff: ein Stück Markholz ist so leicht, dass es auf der Oberfläche des flüssigen Wasserstoffs zu schwimmen vermag.

Mit der Gefrierung des Wasserstoffs war der Forschung der weitere Weg zum absoluten Nullpunkt gesperrt, da es nun unmöglich war, mit dessen Hilfe näher an ihn heranzukommen. Ohne Anhaltspunkte bleibt noch ein kurzes, aber schwieriges und hochwichtiges Stück Weges zum Endziele zurückzulegen. Auf den ersten Hinblick zwar scheint diese Etappe von nur etwa 13° geringfügig zu sein im Vergleich zu der bedeutenden Strecke, die in einigen Jahrzehnten gewonnen worden war. Doch die letzte Überwindung kostet die gewaltigsten Anstrengungen. Mit ihren Hilfsmitteln befindet sich die Wissenschaft unfern vom Grenzpunkte unter ganz andern Umständen. Um einen Grad bei einer so tiefen Temperatur voranzukommen ist viel mühsamer als bei höherer Temperatur, z. B. bei der Siedetemperatur der Luft. Die Schwierigkeit wird um so grösser, je tiefer die Temperatur ist. Unter anderm sind die Vorbeugungsmittel gegen die Verdampfung viel sorgfältiger anzulegen.

Doch besitzen wir nicht am Helium, welches flüchtiger als Wasserstoff ist, jenes Gas, das gestatten würde, einen

Schritt weiter zu tun? Alle Bemühungen in diesem Sinne sind bis jetzt gescheitert. Eine Probe dieses Gases wurde unter hohem Drucke von Olszweski der Temperatur der flüssigen Luft unterworfen. Bei der nachfolgenden Entspannung, der Cailletet'schen Methode gemäss, deutete sich keine Spur von Verflüssigung an, nicht einmal in Gestalt von Nebel. Nachdem Rayleigh ein neues, ergiebiges Heliumvorkommen in den Gasen entdeckt hatte, welche von den Bathquellen herrühren, und nachdem flüssiger Wasserstoff in hinreichend grossen Mengen vorhanden war, erneuerte Dewar jenen Versuch. Eine Probe reinen Heliums zeigte keine Spur von Verflüssigung, selbst bei einem Drucke von 80 Atmosphären, während die das Gas enthaltende Röhre von festem Wasserstoff umgeben war. Sogar bei plötzlicher Entspannung entstand keine Spur von Nebel. Helium ist eben bedeutend flüchtiger als Wasserstoff. Bei diesen Verflüssigungsversuchen erreichte das Helium eine Temperatur von 9 bis 10° absolut. Sein kritischer Punkt muss folglich noch tiefer liegen. Aus seinen resultatlosen Versuchen schliesst Dewar, dass der Siedepunkt des Heliums gegen 5° absolut liegen muss.

Stellen wir das Fazit auf: Alle bekannten Gase, mit Ausnahme des Heliums, können in den flüssigen Zustand übergeführt und sogar zum Erstarren gebracht werden; denn auch Sauerstoff, dessen Gefrieren früher nicht bewerkstelligt werden konnte, wurde durch Vermittelung des flüssigen Wasserstoffs gezwungen, den festen Formzustand anzunehmen.

Alle Grundstoffe, mit Ausnahme des Heliums und ebenfalls des Kohlenstoffs, sind somit in den 3 Formzuständen der Forschung zugänglich. Diese beiden Elemente behaupten eine Sonderstellung, insofern Helium nur als Gas und Kohlenstoff nur als fester Körper bekannt sind.

Sobald die Verflüssigung des Heliums gelungen ist, des einzigen bekannten Gases, das bis jetzt in diesem Sinne sich als unüberwindlich gekennzeichnet hat, so wird ein neuer, bedeutender Fortschritt geschehen sein. Nur wenige Temperaturgrade würden uns mehr trennen vom Endziele, vom absoluten Nullpunkt. Diesen aber zu erreichen, ist eine andere Sache. Es ist unwahrscheinlich, dass je der absolute Nullpunkt erreicht werde. Doch näher wird man zu ihm heranrücken, sogar äusserst nahe, wenn Gase aufgedeckt werden sollten, die noch flüchtiger als Helium wären.

Es bliebe noch die Frage zu erledigen, wie man zu wege geht, um die Messung äusserst tiefer Temperaturen vorzunehmen. Dazu können gewöhnliche Thermometer keine Ver-

wendung finden. Vom Quecksilberthermometer muss von vornherein abgesehen werden, da Quecksilber bei — 40° erstarrt und schon vorher sich unregelmässig zusammenzieht. Das Alkoholthermometer kann zur Bestimmung niedrigerer Temperaturen benutzt werden, gefriert doch Alkohol erst bei — 131°; doch auch Alkohol zieht sich unter 0° unregelmässig zusammen. Desgleichen sind Toluol-, Petroläther- und Schwefelkohlenstoffthermometer verfertigt worden. Alle haben ihre Mängel und bei der Feststellung der niedrigsten Temperaturen versagen sie vollständig, da auch diese Flüssigkeiten zu schnell in den festen Zustand übergehen. Besser als die Flüssigkeiten eignen sich die Gase zu unsern Zwecken. In Betracht kommen besonders: Luft-, Wasserstoff-, Argon- und Heliumthermometer. Die besten Dienste leistet das Heliumthermometer; das Wasserstoffthermometer giebt z. B. nur bis —193° genaue Angaben. Bei diesen sogenannten Gasthermometern nimmt man als Temperaturmassstab den Druck an, welchen ein bestimmtes Volumen einer abgesperrten Gasmenge ausübt. Wie die Zunahme der Temperatur ein entsprechendes Wachsen der Spannkraft des auf konstantem Volum erhaltenen Gases bedingt, so bewirkt auch die Abnahme der Temperatur eine entsprechende Verminderung der Spannkraft. Besitzt nun die Gasmasse die Temperatur des verflüssigten Körpers, so giebt die Messung der Spannungsabnahme jene Temperatur an. Auch elektrische Methoden bieten oft ein genaues und bequemes Auskunftsmittel dar und in dieser Richtung hat man thermoelektrische Elemente und Platinwiderstand-Thermometer verfertigt.

Befassen wir uns nun mit den Wirkungen der tiefsten Kältegrade.

Entfernt man, wie Dewar berichtet, den Pflock loser Baumwolle, welcher das mit flüssigem Wasserstoff gefüllte Vakuumgefäss verschliesst, so bildet sich ein Miniaturschneesturm von fester Luft. Die mit dem aus der Flüssigkeit aufsteigenden kalten Dampfe in Berührung tretende Luft wird nämlich zum Gefrieren gebracht. Feste Luft fällt in das Gefäss und bildet an dessen Boden eine Schneeschicht. Taucht man ein offenes, also in Verbindung mit der atmosphärischen Luft stehendes Reagenzröhrchen in flüssigen Wasserstoff, so füllt es sich mit fester Luft. Entfernt man hierauf das Röhrchen aus der Flüssigkeit, so ist eine doppelte Erscheinung zu beobachten: flüssige Luft ist zu bemerken im Innern desselben und an dessen Aussenseite; in dem einen Falle rührt sie her vom Schmelzen der festen Luft, im andern Falle entsteht sie

durch die Verdichtung der atmosphärischen Luft an der abgekühlten Aussenwand.

Lange Zeit huldigte man der Ansicht, beim absoluten Nullpunkte würde die Materie dem sogenannten Starretode verfallen. Die in den letzten Jahren erlangten Resultate, seit es gelang Luft und besonders Wasserstoff in grossen Mengen zu verflüssigen, scheinen jedoch eines andern zu belehren, so dass man annehmen kann, dass niemals der Tod der Materie für uns zur Wirklichkeit wird. Diese Erscheinungen zeigen nach, dass die Materie keineswegs bei den tiefen, uns jetzt zugänglichen Temperaturen die Krankheitssymptome des nahe bevorstehenden Todes aufweist.

Die chemische Verwandtschaft scheint allerdings fast vollständig zerstört zu sein. Die grosse Mehrzahl gegenseitiger chemischer Einwirkungen der Stoffe wird gänzlich aufgehoben, oder sie verlaufen vielmehr so langsam, dass sie nicht nachweisbar sind. Phosphor, Natrium, Kalium, Stoffe, welche bei gewöhnlicher Temperatur äusserst heftig mit Sauerstoff reagieren, sind bei der Temperatur der flüssigen Luft dem Scheintode verfallen. Es findet keine Reaktion statt zwischen ihnen und dem flüssigen Sauerstoff. Doch ein Element von so beispielloser Verbindungsfähigkeit wie das Fluor bleibt bei der Temperatur der flüssigen Luft noch chemisch tätig. Flüssiges Fluor greift zwar Glasgefässe nicht mehr an, doch reagiert es heftig mit Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen, z. B. mit den Terpentinölen.

Der elektrische Widerstand der reinen Metalle nimmt ab, je tiefer die Temperatur ist. Bis zu der Temperatur der flüssigen Luft ist eine regelmässige Abnahme nachzuweisen und hieraus zog man den Schluss, dass beim absoluten Nullpunkt kein Metall dem Durchgange der Elektrizität einen Widerstand entgegensetzen würde. Als aber der flüssige Wasserstoff zugänglich wurde, sah man sich gezwungen, auch diese Voraussicht fallen zu lassen. Die Temperatur, bei welcher Kupfer keinen Widerstand mehr haben würde, sollte — 223° der Berechnung gemäss sein. Doch Kupfer ist einer Temperatur von — 252° ausgesetzt worden, ohne allen elektrischen Widerstand zu verlieren.

Bei tiefer Temperatur können Farbenveränderungen auftreten. Rotes Quecksilberoxyd, -jodid und -sulfid erscheinen gelb bei der Temperatur der flüssigen Luft und des flüssigen Wasserstoffs. In allen Fällen zeigt sich die natürliche Farbe wieder bei gewöhnlicher Temperatur.

In Bezug auf die Phosphoreszenzerscheinungen kommt

der Temperatur eine sehr grosse Bedeutung zu. Gelatine, Paraffin, Elfenbein, Substanzen, bei welchen diese Eigenschaft bei gewöhnlicher Temperatur in unmerkbarem Masse auftritt, senden ein bläuliches Licht aus, wenn man sie in flüssige Luft taucht und elektrisch beleuchtet. Ein Ei glänzt wie eine bläulich schimmernde Lichtkugel. Mächtig phosphoreszieren verschiedene organische Substanzen: Federn, Baumwolle, Leinwand, Papier und besonders Eiweiss. Alle diese Substanzen leuchten meist schwach, so lange die Temperatur tief ist, glänzen aber ausserordentlich, sobald sie sich nachher wieder erwärmen.

Wenn die Temperatur, bei welcher lebende Wesen bestehen können, niemals 100° übersteigen kann, so ist, sobald wir die Temperaturskala unter 0° verfolgen, ein viel weiterer Spielraum gegeben. Wir müssen allerdings eine Ausnahme machen für den Menschen und die höheren Tiere, die Warmblütler besonders. Höchstens können solche Tiere, wie Pictet festgestellt hat, Luft von — 100° bis — 130° kurze Zeit hindurch einatmen, ohne einen nachweisbaren Schaden zu erleiden. Pictet wies ausserdem nach, dass es möglich ist, den menschlichen Körper, freilich mit Ausnahme des Kopfes, ohne Schaden für die Gesundheit, ja vielleicht mit Vorteil für dieselbe, mehrere Minuten lang einer Temperatur von mehr als 100° unter Null auszusetzen. Wenn man Warmblütler längere Zeit hindurch einer intensiven Kälte aussetzt, so gehen sie unfehlbar zu Grunde; aber je einfacher das Lebewesen organisiert ist, desto leichter vermag es den ungewohnten Bedingungen zu widerstehen, und das ist besonders der Fall für die Bakterien, die ungestraft die tiefsten Kälten zu ertragen vermögen. Mac Kendrick stellte 1893 fest, dass die Einwirkung der intensiven Kälte von — 182° während einer Stunde nicht genügend ist, um die Sterilisation herbeizuführen. Blut-, Fleisch-, Milchproben, welche bei der Temperatur des flüssigen Sauerstoffs in zugeschmolzenen Röhren zum Gefrieren gebracht wurden, verfielen unfehlbar der Verwesung, nachdem sie einige Tage bei Blutwärme gehalten worden waren. Die Mikroorganismen, welche die Verwesung bewirken, waren demnach durch die intensive Kälte nicht getötet worden. Ferner setzte derselbe Forscher 20 Stunden hindurch Bakterien einer Temperatur von —191° aus; sie blieben am Leben und vermehrten sich wie vorhin, und dasselbe war der Fall bei der viel tieferen Temperatur des flüssigen Wasserstoffs. Macfayden zeigte im Jahre 1903 nach, dass viele Varietäten von Mikroorganismen der Temperatur der flüssigen Luft

ununterbrochen 6 Monate hindurch ausgesetzt werden können, ohne einen nachweisbaren Verlust an Lebensenergie zu erleiden, obschon bei diesem tiefen Kältegrade die gewöhnlichen chemischen Prozesse, welche mit der Lebenstätigkeit verknüpft sind, wie die Atmung, der Stoffwechsel, nicht stattfinden können. Aber auch die viel höher entwickelten Samen der höheren Pflanzen vermögen ungestraft die tiefsten Temperaturen auszuhalten. Samen waren über 100 Stunden in flüssiger Luft im gefrorenen Zustande gehalten. Spuren dieser ungewöhnlichen Temperaturbedingungen blieben keine; nur eine gewisse Trägheit des Protoplasmas konnte festgestellt werden, die jedoch nach Rückkehr der Wärme verschwand. Desgleichen verharrten Proben von Gersten-, Erbsen- und Senfsamen über 6 Stunden in flüssigem Wasserstoff. Diese Samen keimten ebensogut wie die andern, welche jene abnorme Behandlung nicht erfahren hatten. Durch ältere Versuche war bereits bekannt, dass die meisten tierischen und pflanzlichen Gewebe einfrieren können, ohne ihre Lebensfähigkeit einzubüssen. Auf dieser Erfahrung beruht ja z. B. der Transport von lebenden, in Eis gefrorenen Fischen. Dass es aber Lebewesen gäbe, welche Temperaturen bis zu 20° absolut aushalten könnten, war nicht vorausgeahnt worden. Von dieser Seite aus könnte also kein Widerspruch erhoben werden gegen die Annahme der Möglichkeit einer Übertragung der Lebenskeime von einem Weltkörper zum andern; die Kälte des Weltraumes könnte kein Hinderniss in diesem Bezuge darstellen.

Die Forschung der tiefen Temperaturen trägt, neben den praktischen Ergebnissen, welche sie zu Tage gefördert, ein ideales Gepräge, insofern sie Anlass zur Erörterung hochwichtiger philosophischer Fragen giebt, die in Beziehung stehen zu den Problemen des Lebens, an deren Lösung mitzuarbeiten sie berufen scheint. Jahrmillionen eilt sie der Erdentwickelung voraus und scheint für die Annahme zu sprechen, dass, wenn dereinstens der Erdball der Temperatur des Weltraums anheimgefallen sein wird, er deshalb nicht einen völlig leblosen Körper darstellen muss. In diesem Sinne stellen die besprochenen Resultate einen bedeutenden Erfolg dar, da das Kriterium eines wissenschaftlichen Fortschrittes in der Voraussicht künftiger Ereignisse und Zustände beruht.



Luxemburg. — Buchdruckerei P. Worré-Mertens.