

säure mit einem oder mehreren Zerlegungsproducten derselben heraus.

6. Der Myristinsäure kommt keinesfalls die Formel  $C_{28} H_{38} O_4$  sondern  $C_{27} H_{27} O_4$  oder  $C_{26} H_{26} O_4$  zu, nur dem Myristin entspreche nach Playfairs Analysen mit nicht vollkommen reiner Substanz die Formel  $C_3 H_3 O_2$ ,  $2 C_{28} H_{27} O_3$ .

7. Die Laurostearinsäure entspricht nach der Zusammensetzung ihrer Salze, wirklich der bisher angenommenen Formel  $C_{24} H_{24} O_4$  und das Laurostearin wird durch  $C_3 H_3 O_2$ ,  $2 C_{24} H_{23} O_3$  repräsentirt, ist also saures laurostearinsaures Glycyloxyd.

---

### *Über das Gefrieren des Wassers im luftverdünnten Raume und die dabei durch das Verdunsten des Eises erzeugte Kälte <sup>1)</sup>.*

Von dem w. M. Prof. A. Schrötter.

Unmittelbar nachdem Leslie's schöne Entdeckung, die beim Verdunsten des Wassers entstehende Kälte durch möglichste Beschleunigung dieses Processes bis weit unter den Gefrierpunkt zu bringen, bekannt geworden war, nämlich noch in demselben Jahre (1811), veröffentlichte Confiliachi zu Pavia eine sehr lehrreiche Experimental-Untersuchung über diesen Gegenstand. In Deutschland wurde diese Arbeit durch eine gelungene freie Darstellung Gilbert's <sup>2)</sup> bekannt.

Seit dieser Zeit ist das Gefrieren des Wassers unter der Luftpumpe neben Schwefelsäure ein gewöhnlicher Schulversuch geworden, und die Industrie macht nun einen so umfassenden Gebrauch von diesem Instrumente, um bei niederer Temperatur eine rasche Verdunstung zu bewirken, dass es in derselben unentbehrlich geworden ist.

---

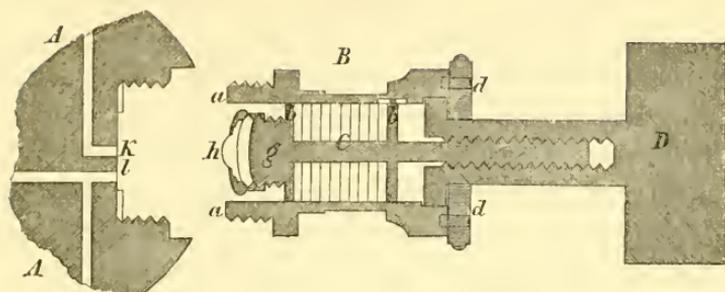
<sup>1)</sup> Die Hauptresultate der vorliegenden Arbeit legte ich bereits in der Sitzung vom 18. November v. J. vor. Der für Versuche dieser Art so ausnehmend ungünstige Winter, so wie die eingetretene Nothwendigkeit einiger Veränderungen an der Luftpumpe, deren Ausführung sich sehr in die Länge zog, sind die Veranlassung, dass ich erst in dieser Sitzung das fertige Manuscript überreichen kann.

<sup>2)</sup> Dessen Annalen der Physik, neue Folge Bd. 13, S. 342; Bd. 43. Der ganzen Reihe, 1813.

Dessungeachtet ist die Wechselwirkung der bei der Eisbildung im luftverdünnten Raume thätigen Kräfte noch nicht gehörig erörtert, auch sind weder die Erscheinungen beim Gefrieren selbst, noch ist das Verhalten des Eises in verdünnter Luft genügend erforscht. Es ist zwar längst bekannt, dass das Eis als solches ohne vorher flüssig zu werden, unmittelbar in Gasform übergehen kann, allein es werden weder einfache und augenfällige Beweise für diese Thatsache angegeben, noch ist die Temperatur ermittelt, bei welcher das Eis nicht mehr verdunstet. Auch hat man keine richtige Vorstellung von der Wärmemenge, die beim Verdunsten des Eises gebunden wird.

Obwohl nun auch durch die vorliegende Arbeit dieser Gegenstand nicht vollständig erledigt wird, so enthält dieselbe doch manche Vervollständigung und Erweiterung der Beobachtungen von Leslie und Confiliachi, so wie auch das Resultat zu welchem sie führte, vielleicht einiger Aufmerksamkeit werth ist.

Die bei den folgenden Versuchen gebrauchte Luftpumpe verdient hier kurz erwähnt zu werden, da dieselbe nach einem anderen, und wie ich glaube, besseren Systeme als die bisher üblichen construirt ist, das, soviel mir bekannt noch nirgends beschrieben wurde. Dieselbe ist von Breton, Mechaniker in Paris, verfertigt und gehörte dem, seiner Zeit unter der umsichtigen Leitung des kaiserlichen Rathes Reuter stehenden technischen Cabinet des k. k. polytechnischen Institutes an. Der Mechaniker hatte sich die Aufgabe gestellt, alle Hähne, auch den Babinet'schen, zu vermeiden, und sowohl diesen als die Kegelventile durch ein einziges Schubventil, bestehend aus zwei übereinander concentrisch drehbaren gut zusammengeschliffenen Platten mit geeigneten Bohrungen zu ersetzen. Diese einfache Vorrichtung erfüllt ihren Zweck vollkommen und hat nebst dem Vortheile gut zu schliessen, auch den, leicht zugänglich zu sein, da sie zwischen beiden Cylindern angebracht ist; auch unterliegt sie keiner Abnützung. Der sonst übliche Hahn unter dem Teller zum Abschluss des Recipienten und der Barometerprobe, auf dessen Vollkommenheit Alles ankommt, ist durch eine einfache Vorrichtung ersetzt, welche, wo nur immer möglich, statt der so selten luftdicht schliessenden Hähne eingeführt zu werden verdient. Die nebenstehende Figur zeigt dieselbe in halber Naturgrösse im Durchschnitt, in vielen Fällen könnte sie aber auch in dieser Grösse sehr zweckmässig ausgeführt werden. In die Säule *A*, auf welcher der Teller ruht, ist der Cylinder *B* so eingeschraubt, dass



er mit der ringförmigen Fläche bei *aa* luftdicht auf der gegenüberstehenden Lederscheibe aufsitzt. In diesem Cylinder lässt sich mittelst des Schlüssels *D* ein Kolben *C* aus Lederscheiben, die durch die Platte *bb* zusammengepresst werden, vor- und rückwärts bewegen. Die links geschnittene Schraube *E* schraubt sich nämlich in den Schlüssel je nach seiner Drehung mehr hinein oder heraus, da der Cylinder durch einen vorspringenden Stift gehindert ist sich zu drehen, und der Schlüssel zwischen dem Ansatz des Cylinders *B* und der in zwei Theile zerschnittenen und mit vier Schrauben *d, d* festgehaltenen Platte so eingeklemmt ist, dass er nur gedreht werden kann. Bei *g* ist in das Stück *gC* ein Gewinde geschnitten und über dessen convexes Ende eine Kappe geschraubt, die in der Mitte bei *h* eine etwa 3 Mm. weite Öffnung hat. In der Figur ist diese Kappe als nicht ganz angeschraubt dargestellt, geschieht dies aber, so wird die auf dem convexen Ende der Schraube liegende Lederscheibe so gepresst, dass sie über die Öffnung *h* etwas hervortritt und dann die ihr gegenüberstehende Mündung des Canales *k* für den Recipienten und die Barometerprobe vollkommen schliesst, wenn sie durch eine Drehung des Schlüssels gegen dieselbe gedrückt wird.

Der bei *l* mündende Canal, welcher die Verbindung mit der äusseren Luft und mit den Cylindern der Luftpumpe herstellt, wird, wie auch sonst gewöhnlich, durch eine Schraube mit Lederplatten geschlossen.

Da die Kolben der Maschine durch eine mit einem Schwungrade versehene Kurbel, welche immer nach derselben Richtung gedreht wird, in Bewegung gesetzt werden, so ist die Pumpe auch bequem im Gebrauche. In Bezug auf ihre Construction als Maschine lässt dieselbe jedoch manches zu wünschen übrig, da die Verbindung der einzelnen Theile nicht zweckmässig hergestellt ist, sie leistet

daher auch weniger als zu erwarten wäre, denn ich konnte bei allen Versuchen die Luft nur bis auf 2 Mm. Druck verdünnen. Hierbei muss ich jedoch bemerken, dass die Barometerprobe, welche ich statt der früheren anbringen liess, mit einer Bunten'schen Spitze versehen ist, ohne welcher die Angaben derselben nach kurzer Zeit unrichtig werden und die Luftpumpen immer besser erscheinen als sie sind. Bei allen genaueren Versuchen ist diese Abänderung der sonst gewöhnlichen Barometerprobe unerlässlich.

Es war meine Absicht zuerst, die Erscheinungen, welche beim Gefrieren des Wassers durch Verdunstungskälte eintreten, sowie die darauf Einfluss nehmenden Umstände genauer als dies bisher geschah, zu beobachten.

Zu diesem Behufe wurden die Versuche zuerst bei grosser Oberfläche der Flüssigkeit angestellt. Das hierzu verwendete Uhrglas enthielt 13—14 Grammen Wasser und stand mittelst eines Dreifusses aus Platindrath etwa 2 Decimeter über einem zweiten Uhrglasse von mindestens doppelt so grosser Oberfläche. Dieses endlich ruhte auf einem nach gewöhnlicher Art geformten Porzellan-Gefässe für die Schwefelsäure von 15 Decimeter Durchmesser, das 360—370 Grammen von dieser Säure enthielt. Durch das zweite grössere Uhrglas wurde die von der Schwefelsäure während der Absorption ausstrahlende Wärme von dem verdunstenden Wasser abgehalten und verhindert, dass etwas von dem Wasser durch die während des Pumpens oft mit Heftigkeit aufsteigenden Blasen in die Säure geschleudert wird.

Die Temperatur sowohl des Wassers als des Eises wurde bei allen folgenden Versuchen mittelst kleiner Thermometer bestimmt, die als thermometrische Substanz durch Jod gefärbtes Kohlensulfid enthielten. Das längste dieser Thermometer mass 8 Decimeter und wog nur 2 Grammen.

Bei dieser Anordnung des Versuches wurde nun rasch ausgepumpt, so dass die Barometerprobe auf 4 Mm. stand. Schon nach drei Minuten, die Zeit des Auspumpens mit eingerechnet, waren 13 Grm. Wasser von 14°C. gefroren, dabei sank die Temperatur auf  $-1^{\circ}$ , stieg aber beim Erstarren wieder auf  $0^{\circ}$  (1).

Es wurde nun die Verdunstung weniger rasch eingeleitet, um eine langsamere Abkühlung herbeizuführen. Hierzu waren zwei Mittel vorhanden, nämlich ein grösserer Druck als bei dem vorigen Ver-

suche, oder ein minder kräftiges Absorptionsmittel. Da es nicht in meiner Absicht lag, die Körper in Bezug auf ihr Absorptionsvermögen gegen Wasserdunst zu untersuchen, so wurde bei den folgenden Versuchen ein etwas grösserer Luftdruck angewendet.

Als der Barometerstand 6 Mm. betrug, trat das Gefrieren nach 20 Minuten ein (2); bei einem Barometerstande von 12 Mm. erst nach 35 Minuten (3).

Schon diese beiden Versuche zeigen deutlich, dass die von Confliachi ausgesprochene und jetzt noch allgemein getheilte Meinung, es sei eine Verminderung des Druckes bis mindestens 2 Mm. nothwendig, um das Wasser unter den gegebenen Umständen zum Gefrieren zu bringen nicht richtig ist, indem diese Erscheinung auch bei einem weit grösseren Drucke, dann aber später eintritt.

Um nun die Grenze des Druckes zu bestimmen, bei welcher unter gegebenen Umständen das Wasser nicht mehr gefriert, wurde der Versuch bei einem Barometerstande von 36 Mm. begonnen (4). Das Wasser (11 Grammen) hatte  $17^{\circ}$ , die äussere Luft  $18^{\circ}$ . Nach 80 Minuten war die Temperatur bis auf  $+4$  gesunken, da sie aber selbst nach einer Stunde nicht weiter sank, so wurde der Druck um 10 Mm. vermindert. Nach einer Stunde betrug die Temperatur  $1.8^{\circ}$  blieb aber hier stationär, es wurde daher bis auf 18 Mm. gepumpt, worauf die Temperatur in 35 Minuten bis auf  $-1^{\circ}$  herab gesunken war.

Es war nun nöthig, gleich mit einem Drucke von 18 Mm. zu beginnen, die Temperatur des Wassers betrug vor dem Versuche  $17^{\circ}$  (5). Unter diesen Umständen sank die Temperatur nach 30 Minuten bis  $0^{\circ}$  und nach weiteren 30 Minuten bis  $-1^{\circ}$ , wo sie 30 Minuten später noch stehen blieb. Es sinkt also die Temperatur des Wassers selbst bei einem Stande der Barometerprobe von 18 Mm. innerhalb einer Stunde unter  $0^{\circ}$ . Bei 15 Mm. Druck sank sie in  $1\frac{1}{2}$  Stunde von  $18^{\circ}$  bis auf  $-3^{\circ}$  (6).

Als ein Thermometer unter dem Recipienten frei aufgehängt und dessen Cylinder mit einem, in Wasser getränkten Schwamme umwickelt war, sank die Temperatur von  $14^{\circ}$  auf  $-10^{\circ}$ , obwohl die Barometerprobe auf 40 Mm. stand (7).

Aus diesen Versuchen geht mit Bestimmtheit hervor, dass zum Gefrieren des Wassers im luftverdünnten Raume keine sehr weit ver-

dünnende Luftpumpe nothwendig ist, indem selbst unter den für die Verdunstung ungünstigsten Umständen bei einem Stande der Barometerprobe von 18 Mm. 13—15 Grammen Wasser von 17° in ungefähr ½ Stunde gefrieren.

Hierin findet auch eine sonderbare Thatsache, welche sich Confalichi nicht erklären konnte, ihre natürliche Begründung. Derselbe beobachtete nämlich, dass das Gefrieren des Wassers besser gelinge, wenn man noch fortpumpt, nachdem die Barometerprobe ihren niedrigsten Stand bereits erreicht hat. Offenbar war hier nur die Zeit das Wirkende.

Bei allen angeführten Versuchen gefror das Wasser erst mehrere Grade unter 0°, und es ist dies in der That eine sehr zu empfehlende Art die längst bekannte, merkwürdige Erscheinung zu zeigen, dass Wasser mehrere Grade unter dem Gefrierpunkt abgekühlt werden kann ohne zu gefrieren.

Bei dem Versuche (4) wurde, nachdem die Temperatur auf —1° gesunken war, der Druck auf 15 Mm. vermindert, es sank nun das Thermometer in 70 Minuten auf —3. Als nun der Druck auf 10 Mm. gebracht wurde, sank das Thermometer auf —5 ohne dass das Wasser gefror, was selbst dann nicht eintrat, als das Gefäß stark erschüttert, ja selbst dann noch nicht, als Luft zugelassen wurde. Als bei einem anderen Versuche (3) der Druck 12 Mm. betrug, gefror das Wasser nach 35 Minuten bei —5°; die anfängliche Temperatur war 13°. Bei 9 Mm. Barometerstand (8) sank die Temperatur in 25 Minuten von 17° bis auf —5, dann gefror das Wasser. Auch bei 6 Mm. Druck trat nach 22 Minuten bei —5 Gefrieren ein; die anfängliche Temperatur betrug 15° (2).

Es bedarf kaum der Erwähnung, dass die Temperatur bei allen Versuchen während des Gefrierens rasch bis 0° stieg.

Aus den oben angeführten sowie aus anderen Versuchen, welche hier besonders mitzutheilen zu weitläufig wäre, hat sich ergeben, dass die Temperatur desto tiefer sinken kann, ohne dass das Wasser gefriert, je langsamer und gleichförmiger die Abkühlung vor sich geht. Hierbei treten aber mehrere Übelstände ein. Das Wasser nimmt nämlich von +4 an bis zum Gefrieren an Dichte stets ab, so dass die oberste Schichte immer auch die kälteste ist. Man darf also das Thermometer nicht tief einsenken und überhaupt keine dicke Wasserschichte anwenden, weil die Differenzen in den Temperaturen am Boden und an

der Oberfläche bei einer Schichte von 10 Mm. Höhe schon mehrere Grade betragen kann. Befestigt man aber das Thermometer so, dass die Kugel desselben in der oberen Schichte der Flüssigkeit steht, oder wendet man überhaupt eine Wasserschichte von geringer Höhe an, so geschieht es, dass die Kugel des Thermometers schon nicht mehr ganz vom Wasser bedeckt ist, ehe noch die niedrigste Temperatur eintritt. Das einfachste Mittel diesem Übelstande abzuhelfen, war, das Thermometer so tief in eine mit Wasser bis zu  $\frac{2}{3}$  der Höhe gefüllte halbkugelförmige Schale einzusenken, dass es in der Hälfte der Höhe des Wassers stand. Bei dieser Anordnung verdunstete, bis die Temperatur ihren niedrigsten Stand erreichte, gerade soviel Wasser, dass sich die Kugel des Thermometers in der obersten Schichte befand.

Der Versuch (9), bei welchem die anfängliche Temperatur des Wassers  $6^{\circ}$  betrug und bis auf 10 Mm. Barometerstand ausgepumpt wurde, gab folgende Resultate.

Nach 2 Stunden war die Temperatur	— $10^{\circ}$ ,
nach noch 1 Stunde „ „ „	— $10^{\circ}$ ,
nach weiteren 2 Stunden „ „ „	— $12^{\circ}$ ,

Bei dieser Temperatur war das Wasser noch nicht gefroren, und erstarrte auch bei heftigem Erschüttern nicht. Der Versuch musste aber unterbrochen werden, da die Kugel des Thermometers nicht mehr ganz von Wasser bedeckt war und die Temperatur bereits wieder zu steigen begann. Bei diesem Versuche wurde indess die Grenze noch nicht erreicht, bis zu welcher das Wasser ohne zu erstarren abgekühlt werden kann, da schon Dalton es bis  $-14.7^{\circ}$  abkühlte, ehe dies eintrat. Es muss bemerkt werden, dass während dieses Versuches die Barometerprobe bis auf 7 Mm. also um 3 Mm. herabsank, was, wie sich von selbst versteht, von der Abkühlung der in dem Recipienten enthaltenen Luft herrührte.

Es wurden nun ähnliche Versuche wie die vorigen in cylindrischen Gefäßen angestellt, deren Durchmesser nicht über 35 Mm. betrug, und die bis zu einer Höhe von 20 Mm. Wasser enthielten. Das Gefrieren tritt in derartigen Gefäßen gewöhnlich schon früher ein, als das Thermometer bis auf  $0^{\circ}$  gesunken ist, was auch der eigenthümlichen Ausdehnungsverhältnisse des Wassers, und des Umstandes wegen, dass das Thermometer in einer Schichte sich befindet, die zu weit unter der liegt, wo die Abkühlung erfolgt, nicht anders sein kann. Hier sind es die, das Gefrieren begleitenden

Erscheinungen, welche vielleicht einige Aufmerksamkeit verdienen. Es entsteht nämlich zuerst an der Oberfläche, von der die Abkühlung ausgeht, eine 1—2 Mm. dicke, aus verworrenen Krystallen bestehende, daher trübe Schichte. An diese reiht sich jedoch eine zweite oft vollkommen klare Schichte von Eis an, deren Dicke immer zunimmt, bis sie endlich den Boden erreicht. Die untere Seite dieser Eisschichte ist von einer spiegelnden Ebene so vollkommen scharf begrenzt, als wären zwei blank polirte, ebene Glasplatten von verschiedener lichtbrechender Kraft an einander gekittet. Enthielt das Wasser Luft, so ist die Schichte nicht klar, sondern von kleinen Blasen erfüllt, die ganz regelmässig in verticalen Linien über einander liegen. Ehe diese spiegelnde Eisschichte den Boden des Gefässes erreicht hat, bilden sich zuweilen in ihr hohle, mit der Spitze nach abwärts gekehrte, gleichkantige sechsseitige Pyramiden, die sich sämmtlich in paralleler Stellung befinden. Dieser Vorgang ist mit den von Brewster, Leydolt u. A. angestellten Beobachtungen so vollkommen im Einklang, dass kein Zweifel mehr über die Anordnung der Krystalle beim Gefrieren des Wassers obwalten kann. Zuweilen schiessen aus der spiegelnden Ebene einzelne nadelförmige Krystalle nach abwärts hervor, welche anscheinend eine unregelmässige Lage haben, bald aber kommen dann noch andere hinzu, und es zeigt sich bei näherer Betrachtung, dass diese Krystalle nur ergänzende Theile der oben erwähnten Pyramiden sind. Eine ruhig erstarrte Eismasse besteht also auch unter den hier stattfindenden Umständen aus Individuen, die sich sämmtlich in paralleler Stellung befinden und sich daher optisch wie ein Individuum verhalten. Dies scheint von allen Körpern zu gelten, die unter ähnlichen Umständen entstanden sind <sup>1)</sup>.

Es war nun von Wichtigkeit das Verhalten des Eises in einer bis zu einem Druck von 2—3 Mm. verdünnten Luft zu untersuchen. Schon Confilicchi hat nachgewiesen, dass durch die hierbei stattfindende Verdunstung eine Kälte erzeugt wird, die Quecksilber zum Gefrieren bringen, also mindestens  $-39.44^{\circ}$  erreichen kann. Um so auffallender bleibt es, dass auch diese schöne Beobachtung wenig

<sup>1)</sup> Veranlasst durch die oben erwähnten Thatsachen theilte mir Herr Schabus eine hieher gehörende interessante Beobachtung mit, die sich am Ende dieses Aufsatzes als Anhang abgedruckt findet.

Berücksichtigung fand und wie es scheint, fast in Vergessenheit gerieth, wenigstens findet man in den Lehr- und Handbüchern nur weit weniger stringente Beweise für die Verdunstung des Eises, und von den hierauf einen Einfluss übenden Umständen ist gar keine Rede <sup>1)</sup>. Confilicchi stellte seine Versuche meistens mit porösen, die Kugel des Thermometers umhüllenden Körpern an, er konnte daher manche Erscheinungen, welche die Verdunstung des Eises begleiten, nicht beobachten und richtete also seine Aufmerksamkeit auch nicht nach dieser Seite.

Es wurde bereits oben erwähnt, dass beim Gefrieren des unter 0° erkalteten Wassers die Temperatur rasch bis 0° steigt. Hier steht sie einige Minuten unverändert still, dann aber fängt sie wieder an zu sinken, und zwar anfangs rasch, dann langsamer. Bei dem Versuche (8), wo die Luft bis auf 9 Mm. ausgepumpt wurde, und das Wasser sich in einer flachen gläsernen Schale befand, sank die Temperatur in 7 Stunden bis —15°. Hier bleibt sie unverändert stehen, das Volumen des Eises vermindert sich aber sehr merklich, indem es unmittelbar aus dem festen in den gasförmigen Aggregationszustand übergeht, und dabei soviel Wärme bindet, dass dadurch die lange dauernde Erhaltung einer so niedrigen Temperatur genügend erklärt wird. Man kann annehmen, dass unter den gegebenen Umständen 3 Grammen Eis in einer Stunde verdunsten.

Es wurde nun, wie bereits Confilicchi that, die Kugel des Thermometers mit Schwamm unwickelt und dieser mit Wasser von 16° getränkt (10). Die Temperatur des Zimmers erhielt sich während der Dauer des Versuches auf ungefähr 17°, und die Luft wurde bis auf 3 Mm. Barometerstand ausgepumpt.

Nach 1 Stunde war die Temperatur bis auf —22°, nach  
 noch 1 „ „ „ „ „ —25° und nach  
 weiteren 3 Stunden 42 Min. „ „ „ —34°  
 gesunken, wo sie, bis fast alles Eis verdunstet war, was mehrere Stunden dauerte, unverändert stehen blieb.

Es waren also 5½ Stunden nothwendig, damit die Temperatur um 50° herabsank, obwohl fortwährend von aussen Wärme

<sup>1)</sup> Selbst in dem so weitläufigen Artikel „Eis“ in Gehler's neu bearbeitetem physikalischen Wörterbuche Bd. III, 1827, sind die Versuche Confilicchi's nicht erwähnt. Eben so wenig ist diese Lücke in den später erschienenen Werken dieser Art ausgefüllt.

zuströmte, da keine künstliche Abkühlung des Recipienten angewendet wurde.

Bei einem anderen Versuche (11) war die Temperatur des Zimmers 16°, der Barometerstand 4 Mm. und die Säure war die bereits beim vorigen Versuche gebrauchte. Nach 8 Stunden war die Temperatur von 16° auf —34° also ebenfalls um 50° gesunken.

Der zu allen bisher angeführten Versuchen gebrauchte Recipient fasste 3 Liter, die folgenden Versuche wurden mit einem Recipienten von 7·5 Liter Inhalt angestellt, da es sich deutlich zeigte, dass in demselben die Abkühlung regelmässiger vor sich geht.

Bei dem Versuche (12) betrug die Temperatur der Luft 16°, das mit Schwamm umkleidete Thermometer zeigte 14°. Als das Barometer auf 3 Mm. stand, sank die Temperatur nach 3 Stunden auf —29°, nach weiteren 3 Stunden auf —35°, also in 6 Stunden um 49°. Sechs Stunden später war die Temperatur noch —34°. Bei näherer Untersuchung zeigte es sich, dass nur mehr eine sehr geringe Menge Eis am Thermometer vorhanden war. Um die Menge des Eises am Thermometer zu vermehren, wurde nun noch eine Schichte Schwamm um die Kugel desselben gewickelt, so dass sie eine Dicke von 6—7 Mm. erhielt (13). Bei einem Barometerstande von 4 Mm. sank nun die Temperatur in 1 Stunde 15 Minuten von 13° auf —20°.

9 Stunden später betrug sie	—25°
12     "     "     "     "	—28°
3     "     "     "     "	—30°
5     "     "     "     "	—30°

Erst nun fing die Temperatur langsam zu steigen an und betrug eine Stunde später —29°. Das Eis hatte sich also durch beinahe 29 Stunden in einer Temperatur von —20 bis —29° erhalten.

In einem andern Falle (14) erhielt sich die Temperatur des Eises nahe unter denselben Umständen durch 35 Stunden zwischen —20° und —31°, erst 3 Stunden nach dieser Zeit stieg sie auf —30°, indem die Menge des Eises sich schon beträchtlich vermindert hatte.

Da die Umhüllung mit Schwamm die Masse des Thermometers vermehrt, und die Beobachtung hindert, so wurde bei den folgenden Versuchen die Kugel des Thermometers ohne alle Zwischennittel mit Eis umgeben. Ich bewirkte dies dadurch, dass ich das Thermometer in ein 4 Dec. hohes und 3 Dec. im Durchmesser haltendes, mit Wasser gefülltes cylindrisches Gefäss tauchte, so dass die Kugel in der



Die Temperatur war also in 3 Stunden und 55 Minuten um 26 Grade gesunken. Nun erst wurde der ganze Recipient mit Schnee umgeben. 1 St. darnach betrug die

	Temperatur des Eises	—36°	das freie Thermometer zeigte	—4°
1	"	"	"	"
1 St. 30 M.	"	—37°	"	—4·5°
1	"	"	"	"
1 St. 30 M.	"	—38°	"	—5°
1	"	"	"	"
1	"	—38°	"	—5°

Die Temperatur war also in 4 Stunden und 30 Minuten nur mehr um 2 Grade gesunken.

Die Temperatur des Zimmers betrug nun +7°, es wurde von 9 Uhr Abends an der Schnee nicht mehr erneuert, am andern Tage 10 Uhr 30 Minuten Morgens, also nach 13 Stunden 30 Minuten, war der Schnee zum Theil weggeschmolzen, die Temperatur des Eises stand auf —36·7 und das freie Thermometer nur mehr auf 0°. Es wurde nun aufs Neue Schnee um den Recipienten gelegt, worauf sogleich ein Sinken der Temperatur des Eises eintrat.

Nach 1 St. 30 Min.	betrug dieselbe	—39°	das freie Therm. stand	auf —2·8°
" 3 "	—	"	"	"
" 1 " 15 "	"	"	—39·5°	" —2·5°
" 4 " 15 "	"	"	"	" —2·2°
" 2 " 30 "	"	"	—41°	" —1·8°
" 2 " 30 "	"	"	—42°	" —1·3°

In 12 Stunden und 30 Minuten war also die Temperatur nur um 3° gesunken. Auf den ersten Blick muss es befremden, dass das freie Thermometer anfangs bei einer Temperatur des Eises von —38° auf —5° stand, während es später als die Temperatur des Eises nur —39° betrug auf 2·8°, ja bei einer Temperatur des Eises von —42° gar auf —1·3° gestiegen war. Die Ursache dieses scheinbar widersprechenden Verhaltens ist indess leicht zu erkennen, wenn man beachtet, dass der Eiscylinder während der Verdunstung immer kleiner wird, und daher immer weniger abkühlend auf seine Umgebung wirkt.

Bei diesen Versuchen war also die Temperatur innerhalb 34 Stunden um 36° gesunken, und blieb beinahe durch dieselbe Zeit unter einer Temperatur von —27° stehen. Die Eismenge, welche bei diesem Versuche verdunstete und diese Kälte hervorbrachte, betrug ungefähr 22 Grammen.

Die Temperatur von —42° ist die niedrigste, welche ich bei dieser Versuchsreihe hervorzubringen vermochte, es ist aber sehr

wahrscheinlich nicht die niedrigste, welche man auf diesem Wege zu erzeugen vermag. Denn offenbar würde bei einer grösseren Menge von Eis, einer Beförderung der Verdunstung durch vollkommene Verdünnung der Luft und raschere Absorption, sowie einer stärkeren Abkühlung von aussen, noch eine niedrigere Temperatur erreicht werden können, indem die Grenze der weiteren Erkaltung erst dann eintritt, wenn das Eis die Temperatur erreicht hat, bei welcher es gar nicht mehr verdunstet. Der Mangel an Schnee in diesem Winter hinderte mich, die Versuche in der angezeigten Richtung fortzusetzen. Ich musste mich daher begnügen, wenigstens noch den Einfluss eines kräftiger wirkenden absorbirenden Mittels als die Schwefelsäure ist auf den hervorzubringenden Kältegrad zu untersuchen. Ich wählte hierzu die wasserfreie Phosphorsäure, welche ausser ihrem an sich stärkeren Verdichtungsvermögen für Wasserdünste noch den grossen Vorzug des pulverigen Zustandes besitzt, vermöge welchem sie sich nicht wie die Schwefelsäure mit einer Schichte von Flüssigkeit bedeckt, die nur wenig Wasser mehr aufnimmt, während die unteren Schichten der Säure noch fast ganz unverdünnt sind. Die zu dem folgenden Versuche (18) dienende Phosphorsäure wurde, wie ich es bei einer anderen Gelegenheit<sup>1)</sup> beschrieben habe, durch Verbrennen von amorphem Phosphor in trockener atmosphärischer Luft erzeugt, und war so vollkommen wasserfrei, dass sie als ein staubiges, von unverbrauntem amorphem Phosphor blass-röthlich gefärbtes Pulver erschien. Die Temperatur des Eiseylinders sank, nachdem bis auf 2 Mm. ausgepumpt war, schon nach 45 Minuten bis auf  $-31^{\circ}$  herab, während das neben demselben hängende Thermometer nicht unter  $+12^{\circ}$  ging. Dieser Versuch musste leider unterbrochen, werden da die Menge der angewendeten Phosphorsäure zu gering war und daher zu bald an Absorptionsvermögen verlor. Aus der kurzen Zeit aber, in welcher das Thermometer einen so niedrigen Stand erreichte, darf man schliessen, dass man in der That bei einer genügenden Menge dieser Säure unter das oben angegebene Minimum der Temperatur gelangen kann. Die Umstände erlaubten mir jedoch nicht die Versuche für jetzt in dieser Richtung fortzusetzen.

---

<sup>1)</sup> Die Äquivalentbestimmung des Phosphors. In den Denkschriften der k. Akademie der Wissenschaften, Bd. IV, S. 119.

Die hier mitgetheilten Versuche sind zwar noch weit entfernt den betreffenden Gegenstand zu erschöpfen, und die numerischen Angaben besitzen bei weitem nicht jene Schärfe, die nothwendig wäre, um Anhaltspunkte für die Rechnung zu gewinnen, dessungeachtet lassen sie einige Folgerungen zu, welche eine weitere Beachtung verdienen. Die wichtigste ist wohl die, dass man nun im Stande ist mit einer verhältnissmässig sehr geringen Menge Eis, nämlich nach den Versuchen (8)(16) mit 3 Grammen für die Stunde, beliebige Körper durch eine lange Zeit einer Temperatur von mindestens  $-38$  bis  $-40^{\circ}$  ununterbrochen und fast ohne alle Kosten auszusetzen. Es wird dadurch möglich, Fragen zu beantworten, die nur zu stellen man bisher kaum dachte, da es ganz und gar an den Mitteln zu Beantwortung derselben fehlte.

Dass ferner die nähere Kenntniss der Verdunstungsverhältnisse des Eises zum besseren Verständniss mancher in der Natur vorkommender Erscheinungen führen muss, dürfte kaum in Zweifel gezogen werden. Es ist vielmehr sehr wahrscheinlich, dass gerade in der Vernachlässigung eines umfassenden Studiums dieser Verhältnisse der Grund zu suchen ist, warum so manche Erscheinungen an Gletschern, Eishöhlen, dann der Vorgang bei der Bildung des Hagels sich noch in einigem Dunkel befinden. Dass manche hierhergehörige Fragen durch Versuche im Laboratorium vielleicht leichter als durch Beobachtung der Natur im Grossen entschieden werden können, geht zwar schon aus den oben mitgetheilten Thatsachen hervor; der folgende Versuch (19) zeigt dies aber ganz besonders deutlich. Der Eiscylinder hatte, als der Luftdruck bis auf 4 Mm. vermindert war, eine Temperatur von  $-1^{\circ}$ , die äussere Luft von  $16^{\circ}$ ; nach  $3\frac{1}{2}$  Stunden war die Temperatur des Eises auf  $-20^{\circ}$  gesunken. Der Hahn wurde nun etwas wenig geöffnet, so dass Luft Zutreten konnte und die Barometerprobe auf 33 Mm. stand, die Temperatur war bis auf  $-9^{\circ}$  gestiegen. 7 Stunden später betrug der Luftdruck 60 Mm. wobei die Temperatur nur um  $1^{\circ}$ , nämlich bis auf  $-8$  gestiegen war. Als nun nochmals auf 6 Mm. ausgepumpt wurde, sank die Temperatur schon nach 10 Minuten wieder bis auf  $-25^{\circ}$  herab. Bei nochmaliger geringer Vermehrung des Luftzutrittes war nach 18 Stunden der Barometerstand bis auf 74 Mm. und die Temperatur endlich bis  $0^{\circ}$  gestiegen. Einem Barometerstande von 74 Mm. entspricht, eine in allen Höhen gleichmässige Temperatur von  $0^{\circ}$  vorausgesetzt, eine

Höhe von ungefähr 18430 Metern, was freilich viel über der grössten Höhe unserer Berge und wohl auch über der Region der Hagelwolken liegt. Da aber die Temperatur bei zunehmender Höhe bedeutend abnimmt (wodurch die obige Höhe etwas vermindert wird), so werden in der Natur schon bei höheren Barometerständen d. h. in geringeren Höhen jene Erscheinungen eintreten, welche unter der Luftpumpe erst bei einem geringeren Drucke vor sich gehen. Hierbei kommt noch zu berücksichtigen, dass die absorbirenden Mittel in der Natur durch trockene Luftströme und den unbegrenzten, oft trockenen Raum, der eigentlich das vollkommenste Absorbens ist, ersetzt werden. Versuche zeigten, dass ein trockener Luftstrom von 3—4° Wärme bei gewöhnlichem Luftdrucke eine verdunstende Wassermasse von einigermassen vergrösserter Oberfläche in wenigen Stunden von 12° bis auf 0° und darunter abkühlt, zumal wenn der Zufluss der Wärme von aussen verhältnissmässig vermindert wird.

Jedenfalls ist man im Stande mittelst der Luftpumpe die Verhältnisse des Druckes, der Verdunstung und Temperatur, welche einer bestimmten Höhe entsprechen, ganz naturgemäss darzustellen und beliebig abzuändern, um so den Einfluss eines jeden der einzelnen Umstände genau zu erforschen.

Ich muss es den Fachmännern überlassen, hierauf näher einzugehen, da mir weder die Mittel, die Versuche weiter fortzuführen und ihnen eine grössere Genauigkeit zu geben, zu Gebote stehen, noch die Zeit es mir erlaubt, die nöthigen Vorstudien zur Bearbeitung eines so ausgedehnten Gebietes zu machen.

---

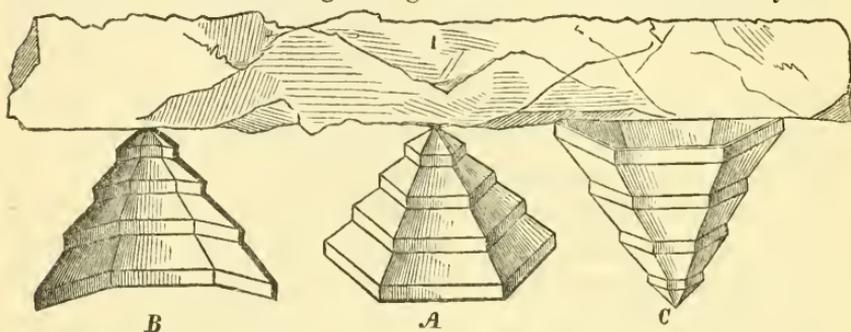
### *Nachtrag:*

#### *Notiz über die Krystallbildung des Eises.*

Als Beitrag zur Kenntniss der Stellung der Individuen in den Eisplatten, theilte mir Herr J. Schabus folgende Beobachtung mit, welche derselbe schon im Winter des Jahres 1850 gemacht hatte.

„An einer Stelle des kleinen Seitenarms der Donau bei Wien hatten sich Eisplatten von mehreren Linien Dicke gebildet, von denen an den Ufern das Wasser bereits zurückgetreten war, so dass zwischen diesem und dem Eise ein Zwischenraum entstand. An der dem Wasser zugekehrten Seite der Eisplatten waren ganz eigenthümlich ausgebildete Eiskrystalle zu sehen. Es waren sechsseitige, pyra-

miden-ähnliche Gestalten, welche aber aus treppenförmig neben einander gelagerten Combinationen von gleichkantigen sechsseitigen Pyramiden und sechsseitigen Prismen bestanden. Die Krystalle waren überdies hohl, so dass die einzelnen Prismen aus sechs parallelepipedischen Streifen, welche sich in Form eines regelmässigen Sechsecks an einander lagerten, gebildet wurden. Diese einzelnen Sechsecke aber waren von verschiedener nach oben hin gleichmässig ab- oder zunehmender Grösse und unter einander durch die ähnlich gebildeten sechsseitigen Pyramiden verbunden, wie der Durchschnitt B der nebenstehenden Figur zeigt. Gewöhnlich hatten die Krystalle



die Spitze der Eisplatte zugekehrt, wie A einen vorstellt, und nur selten war das Gegentheil, wie in Figur C., der Fall. — Diese Beobachtung erklärt auf eine höchst einfache Art, die von Leydolt an den Eisplatten beobachteten Vertiefungen, welche den hier angeführten Krystallbildungen sehr ähnlich sind, und beim Kochsalz und vielen anderen Krystallen finden sich ganz analoge Bildungen. Das Vorkommen dieser Krystalle dürfte auch über die Art der Krystallbildung des Eises bei bedeutenden Wassermengen Aufschluss geben.”

„Wenn nämlich auch die Eisplatten, wie man sie gewöhnlich trifft, nur selten die angedeuteten Formen zeigen, so scheint es mir doch wahrscheinlich, dass die Krystalle an dem unteren Theile der Eisplatte schon gebildet waren, bevor noch das Wasser zurücktrat, und dass sie durch das Abfliessen des Wassers nur isolirt, nicht aber dass durch das Ansetzen neuer Eismengen ihre Formen zerstört wurden. Für diese Bildungsart sprechen nicht nur die von Leydolt beobachteten Vertiefungen an Eisplatten, sondern es stimmt dieselbe auch mit dem Krystallisiren des geschmolzenen Schwefels, Wismuth u. s. w. überein.”

„Weniger wahrscheinlicher scheint mir die Erklärungsweise der Entstehung dieser Krystalle nach dem Zurücktretten des Wassers aus den aufsteigenden Wasserdünsten, ungefähr wie bei Entstehung der Eiskrystalle an den Fenstern, denn es ist kaum wahrscheinlich, dass bei einer ziemlich niedrigen Temperatur Krystalle von so bedeutenden Dimensionen (sie waren in der Richtung der Axe zwei bis drei Linien lang) in verhältnissmässig so kurzer Zeit auf diese Art sich bilden sollten.“

---

### SITZUNG VOM 28. APRIL 1853.

---

Herr Dr. Johann Hoffer, Vorsteher des k. k. physikalisch-astronomischen Hof-Cabinetes überreicht zwei versiegelte Pakete, ddo. 25. und 28. April l. J. zur Aufbewahrung.

---

### Eingesendete Abhandlungen.

#### *Die Entwicklung röhriger und blasiger Gebilde im thierischen Organismus.*

Von Prof. Engel in Prag.

(Mit II Tafeln.)

Meine Untersuchungen über die Entwicklung der Markröhren in den Knochen hatten in mir die Überzeugung hervorgerufen, dass dieselben Entwicklungsgesetze nicht nur auf andere röhriige Gebilde des Organismus mit nur geringen Modificationen angewendet werden können, sondern dass es auch gelingen werde, die zusammengesetzten Formen ganzer Organismen auf die einfachste mikroskopische Form zurückzuführen und sie nach denselben Gesetzen wie diese und gleichsam aus dieser organischen Grundgestalt abzuleiten. Ob mich meine Zuversicht täuschte, wird sich aus der vorliegenden Abhandlung ergeben, die sich zunächst mit der Entwicklung des Hühnerfötus beschäftigt, gelegentlich jedoch auch auf Präparate vom Menschen- und Säugethierfötus hinweist, ja selbst niedere Organismen, wie z. B.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1853

Band/Volume: [10](#)

Autor(en)/Author(s): Schrötter Anton von Kristelli

Artikel/Article: [Über das Gefrieren des Wassers im luftverdünnten Raume und die dabei durch Verdunsten des Eises erzeugte Kälte. 527-543](#)