

## Eishöhlen und Windröhren.

Von Prof. Eberhard Fugger.

Auf Grund vieljähriger eigenen Beobachtungen und eingehenden Studiums der zugehörigen Literatur habe ich die Ueberzeugung gewonnen, dass nun an der Stelle der verschiedenen und sich widersprechenden Hypothesen, die zur Erklärung der Eishöhlen ausgedacht wurden, eine lediglich auf beobachtete Thatsachen gegründete Erklärung gesetzt werden kann. Diese geht, kurz gesagt, dahin, dass nur die Winterkälte die directe Ursache der Eisbildung in den Eishöhlen sei, während man anderseits bald den Sommer, bald den Frühling als die Zeit des vorwiegenden Gefrierens von Höhlenwässern gefunden zu haben glaubte. Ich hatte meine Daten ursprünglich zu kurzen Abhandlungen in unseren Schulprogrammen verwendet, und gebe dieselben nun zufolge ehrender Einladung im Zusammenhange in diesen Blättern.

Der Beginn meiner einschlägigen Studien fällt in den Herbst 1875, wo ich gemeinschaftlich mit Prof. Eduard Richter, derzeit an der Universität in Graz, diese Frage in Angriff nahm. Als Dr. Richter in der Folgezeit theils durch Krankheit, theils durch anderweitige Arbeiten verhindert war, sich an dem weiteren Verfolge des Studiums zu betheiligen, setzte ich die Arbeit allein fort. Ich studirte die Eishöhlen des Untersberges bei Salzburg und sammelte die Literatur über Eishöhlen. Da ich aber fand, dass die Erscheinung der Eishöhlen und jene der Windröhren häufig mit einander in Beziehung gebracht oder sogar verwechselt wurden, so studirte ich auch die letzteren und sammelte, was ich in der Literatur darüber fand.

Dieses Materiale verarbeitete ich, und gelegentlich des internationalen alpinen Congresses zu Salzburg im Jahre 1882 hielt ich über Einladung des Centralausschusses des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereines einen Vortrag über Eishöhlen, welcher 1883 in „Petermann's geographischen Mittheilungen“ veröffentlicht wurde. Es erstanden mir zahlreiche Gegner in Folge dieses Vortrages.

Als Antwort auf die Entgegnungen erschienen meine „Beobachtungen über die Eishöhlen des Untersberges“ in den „Mittheilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde“ Band XXVIII. 1888. In diesen „Beobachtungen“ sind die Resultate von 78 Besuchen in den fünf Eishöhlen niedergelegt, welche sich in der nächsten Nähe der Stadt Salzburg befinden. Diese Arbeit scheint wenig bekannt geworden zu sein, denn die Schriften, welche die meinen Ansichten entgegenstehenden Theorien verfochten, nahmen nicht Notiz davon und kämpften stets nur gegen meinen Vortrag von 1882. Und so erweiterte ich nun in dem Eingangs angeführten Programmaufsatz (1891—1893) das Thema auf sämtliche mir durch die Literatur und durch Privatmittheilungen bekannt gewordenen Eishöhlen und auf sämtliche in der Literatur gefundenen Theorien. Und da ich

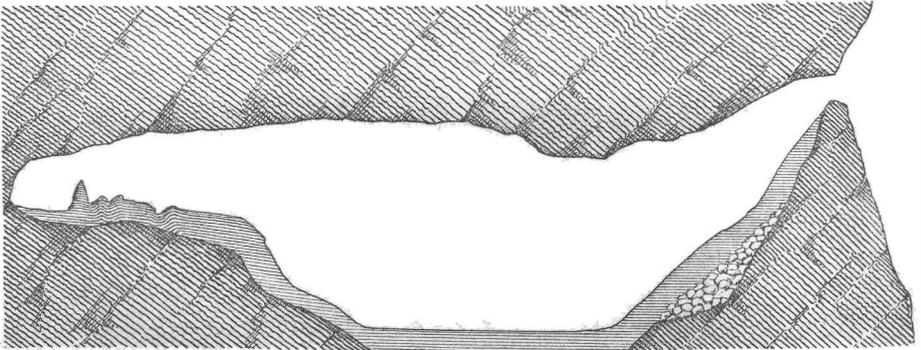


Fig. 1. Die Kolowratshöhle auf dem Untersberg.

wünsche, dass die Sache gelesen werde, sowohl von den Gegnern meiner Ansichten als von denen, welche mit mir gleicher Anschauung sind, bringe ich einen Auszug aus der zuletzt genannten Arbeit in diesen Blättern.

Unter Eishöhlen verstehe ich Höhlen, in denen die Eismassen, welche sich während des Winters darin gebildet haben, den Sommer über ganz oder zum Theil ausdauern und in denen sich keinerlei constante Luftströme bemerkbar machen. Windröhren dagegen sind Canäle, welche den Boden durchziehen und deren Mündungen in verschiedener Höhe liegen; in ihnen treten regelmässige constante Luftströme auf. Die unteren Mündungen können unter Umständen auch Eis enthalten, und in solchen Fällen haben sie Veranlassung gegeben zu irrthümlichen Anschauungen über das Wesen der Eishöhlen.

In den Alpen sind mir über 70 Eishöhlen bekannt geworden, im Jura 8, in den Karpathen 11, im deutschen Mittelgebirge 6, in Skandinavien und Island 2, in der Krim und im Kaukasus 3, im Ural 7, in Sibirien und Centralasien 6, auf Teneriffa eine und in Nordamerika 3. Von diesen Höhlen sind am eingehendsten untersucht die Kolowratshöhle, der Eiskeller und die Schellenberger Eisgrotte auf dem Untersberg bei Salzburg durch mich; die Eishöhle von Chaux-les-passavant (la Baume bei Besançon) durch die Herren A. Girardot und L. Trouillet; die Eishöhle von Dobschau durch Krenner, Fehér und andere; endlich die Eishöhlen von Frain durch Roth, Wachtl, Niessl und Jars. Von den übrigen Höhlen existiren mehr oder weniger eingehende Beschreibungen, von vielen auch Temperaturbeobachtungen von verschiedenen Zeitpunkten.

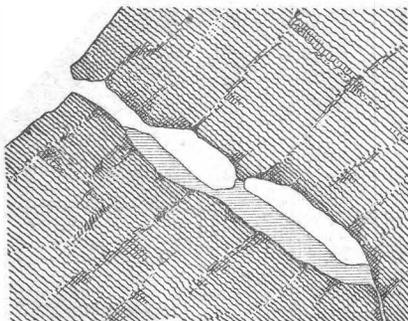


Fig. 2. Eishöhle am Birnhorn.

Damit in einer Höhle sich im Winter Eis bilden kann, muss in derselben Wasser in irgend einer Form vorhanden sein, und es muss die kalte äussere Luft Gelegenheit haben, in die Höhle einzudringen. Das Wort Winter muss hier in der weitesten Bedeutung genommen werden als jene Zeit, in welcher die äussere Lufttemperatur unter Null ist. Die letztere der beiden eben angeführten Bedingungen, die Möglichkeit des Eintrittes kalter Luft in die Höhle, wird dadurch erfüllt, erstens dass die Höhle irgend eine nicht allzu enge Oeffnung oberhalb ihrer Sohle besitzt, welche mit der äusseren Luft in Verbindung steht, weil kalte Luft, d. h. eine Luft, welche eine niedrigere Temperatur besitzt als jene der Höhlenluft, daher schwerer als diese ist, nicht in den Raum eindringen könnte; zweitens, dass der Eintritt der Luft nicht durch einen langen und engen Canal geschehen muss, in welchem sich dieselbe durch

die Bodenwärme über Null Grad erhöhen könnte; und endlich drittens, dass dem Einströmen der kalten Luft nicht durch entgegengesetzte, aus der Höhle kommende constante Luftströme ein Gegengewicht geboten wird, wie dies am oberen Ende einer Windröhre der Fall ist.

Das Wasser, welches zur Eisbildung in der Höhle dienen soll, kann als Schnee durch die Oeffnung eingeweht werden oder bereits vom vorangegangenen Sommer als kleiner See in der Höhle

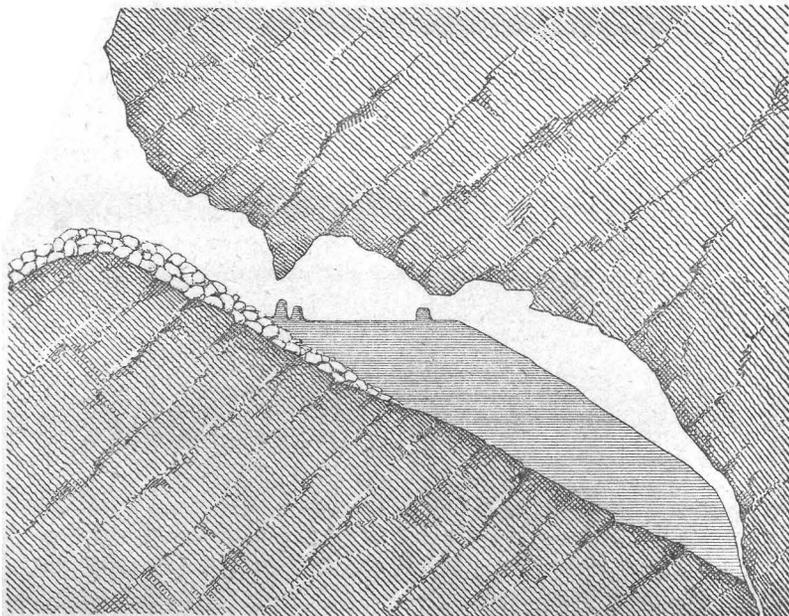


Fig. 3. Eishöhle am Langthalkogel auf dem Dachsteinplateau.

vorhanden sein oder als Tropfwasser durch feine Spalten und Risse der Decke in das Innere gelangen. Eingewehter Schnee, der sich später durch Schmelzwasser in Eis umwandelt, wird nur in wenigen Fällen das Materiale einer Eishöhle bilden, da die Menge desselben nie von Bedeutung sein kann. Eine Höhle ohne irgend einen Abfluss der Gewässer dürfte ebenfalls zu den Seltenheiten gehören; es können daher Grottenseen nur in Ausnahmefällen auftreten. Die gewöhnliche Form des Wassers, welches durch die Winterkälte in einer Höhle in Eis verwandelt wird, ist das Tropfwasser, welches zu jeder Jahreszeit in das Innere derselben gelangt.

Das Regenwasser, welches über der Höhle auffällt, das Wasser des Schnees, der über ihr schmilzt, sickert durch die Decke all-

mäßig in das Innere der Grotte und sinkt in grösseren oder kleineren Tropfen, mehr oder weniger reichlich, längs den Wänden oder durch die Luft auf ihren Boden. Dass das Abschmelzen des Schnees auch im Winter stattfindet und sohin auch im Winter den Eishöhlen Wasser zugeführt wird, ergibt sich aus nachstehenden Thatsachen. Bei meinen Winterbesuchen in der Kolowratshöhle am 26. November 1876 und 6. Jänner 1877 habe ich daselbst Tropfwasser aufgefangen und dessen Temperatur gemessen. Jeder, der auf schneebedeckten Bergen gewandert ist, weiss, dass man in der Nähe von Gesträuch, Steinblöcken oder schieferm Felsboden leicht und tief in den Schnee sinkt, während man in der Mitte einer Schneemulde sicheren Trittes dahin wandelt. Es ist die Bodenwärme,

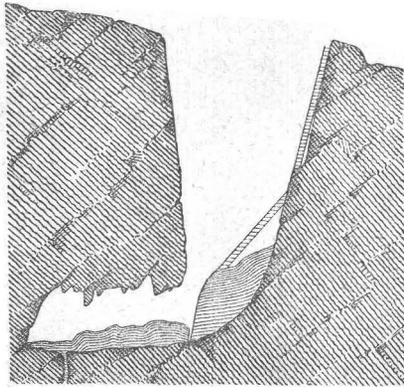


Fig. 4. Das Wasserloch bei der Spitzalpe im Höllengebirge.

welche, oft auch noch vereint mit der Sonnenwärme, an solchen Stellen den Schnee zum Schmelzen bringt. Das Schmelzwasser sickert in den Boden und gelangt so in die Eishöhle. Fällt der Schnee im Herbst, bevor noch der Boden auf oder unter den Gefrierpunkt abgekühlt ist, so bildet gerade die Schneedecke einen derartigen Schutz für die darunter liegende Felsmasse, dass ihre Temperatur von der Kälte der äusseren Luft wenig oder gar nicht beeinflusst wird. S i m o n y hat durch die höchst interessanten Beobachtungen, welche er in dem sehr strengen Winter von 1879 auf 1880 auf dem Hallstätter See gemacht hat, nachgewiesen, dass das Eis des Sees unter der Schneedecke trotz der ausserordentlich niedrigen Temperatur nicht um ein Centimeter zunahm, ja im Gegentheil dünner wurde, während es dort, wo es nicht vom Schnee bedeckt war, mit grosser Geschwindigkeit wuchs. Die reich-

lichste Wassermenge kommt allerdings im Frühjahre, zur Zeit der Schneeschmelze, in die Höhle. Das im Winter und ersten Frühjahre in der Höhle vorhandene oder in dieselbe gelangende Wasser gefriert sodann unter dem Einflusse der daselbst herrschenden Kälte zu Eis und erhält sich als solches je nach den Verhältnissen kürzere oder längere Zeit.

Man kann mit Petruzzi nach der Dauer des Eises in den Höhlen dieselben in zwei Kategorien theilen: in periodische, in denen das Eis in der wärmeren Jahreszeit vollkommen abschmilzt, und in permanente, in denen es das ganze Jahr hindurch ausdauert.

Die Bedingungen, welche das Ausdauern des Eises bis in den Sommer oder auch durch das ganze Jahr ermöglichen oder erleichtern, sind folgende:

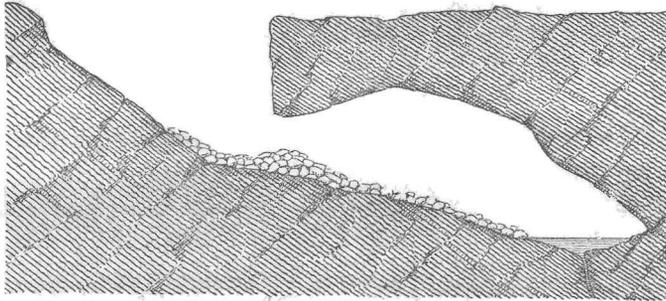


Fig. 5. Die Eishöhle bei Adelsberg.

Wenn der Boden der Höhle tiefer liegt, als der Eingang zu derselben, so sinkt die äussere kalte Winterluft wegen ihrer grösseren Dichte in die Höhle hinab, wenn die Temperatur der Höhlenluft höher ist als jene der äusseren Luft, und wird daselbst auch während der wärmeren Jahreszeit verweilen, da die warme äussere Luft ihres geringeren Gewichtes halber die schwerere kalte Höhlenluft nicht verdrängen kann.

Sämmtliche mir bekannt gewordenen Eishöhlen besitzen die eben angeführte Eigenschaft.

Lage und Form der Höhle sind von entschiedenem Einflusse auf die Bildung und Erhaltung des Eises. Ich möchte in dieser Beziehung, verschiedene Typen der Eishöhlen aufstellen.

Nach der Lage:

1. Offene Höhlen, d. h. solche, deren Eingang frei an einer Felswand liegt; z. B. die Kolowratshöhle (Fig. 1) und die Schellen-

berger Eisgrotte auf dem Untersberg, die Eishöhle am Seilerer (Fig. 8), die Eishöhle am Birnhorn (Fig. 2), die Kliebensteinhöhle (Fig. 7), die Eishöhle am Langhalkogel (Fig. 3), die Seelucken am Oetscher, die Grande cave de Montarquis (Fig. 9).

2. Trichterhöhlen, Höhlen, deren Eingang sich am Grunde einer trichterförmigen Vertiefung des Bodens, in einer Schlucht oder Kluft, befindet; z. B. das Wasserloch auf der Spitzalpe (Fig. 4), der Eiskeller und die Windlöcher auf dem Untersberg, die Eishöhle bei Adelsberg (Fig. 5), jene von Grand Anu.

3. Grubenhöhlen, gedeckte Gruben, in welche man von oben durch eine Oeffnung in der Decke gelangt, wie die Eishöhle von St. George (Fig. 6) und jene von Monthezy.

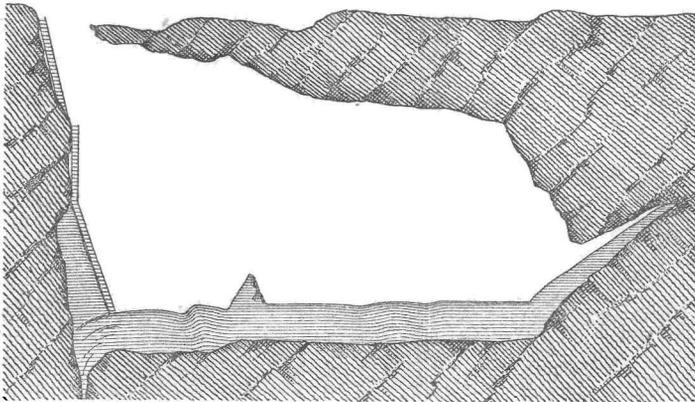


Fig. 6. Die Eishöhle von St. George im Jura.

Nach der Form:

1. Sackhöhlen, in welche man vom Eingange aus sofort gelangt, ohne erst einen engeren Gang passiren zu müssen und aus welchen keine Gänge aufwärts in's Innere des Berges führen; z. B. die Kolowratshöhle (Fig. 1), der Seeofen auf dem Tännengebirge, die Kliebensteinhöhle (Fig. 7), die Eishöhle von St. George (Fig. 6).

2. Ganghöhlen, in welchen man einen mehr oder weniger engen, gedeckten Gang zu passiren hat, ehe man den eigentlichen Höhlenraum erreicht. Auch aus diesen Höhlen führt kein Gang aufwärts in's Innere des Berges; z. B. der Eiskeller auf dem Untersberg, die Eishöhle am Brandstein, die Eishöhle am Seilerer (Fig. 8).

3. Röhrenhöhlen, Höhlen, welche sich von dem eigentlichen Grottenraume aus durch aufwärts führende Gänge in das Innere des Berges fortsetzen; z. B. die Posselhöhle auf dem Tännengebirge, das Eisloch am Zinken, die Seelucken am Oetscher, die Grande cave de Montarquis (Fig. 9), die Surturhöhle auf Island.

Es ist selbstverständlich, dass sich die einzelnen Typen nicht streng von einander scheiden lassen, und dass die Natur zahlreiche Uebergänge von einem Typus in den anderen aufweist.

Die offenen Höhlen liegen an steilen Felswänden, längs welchen die ab- und aufsteigenden Luftströme besonders lebhaft sind. Sobald der kalte, abwärts sinkende Strom der Winterluft beginnt, muss derselbe in die Höhle sinken und die darin vor-

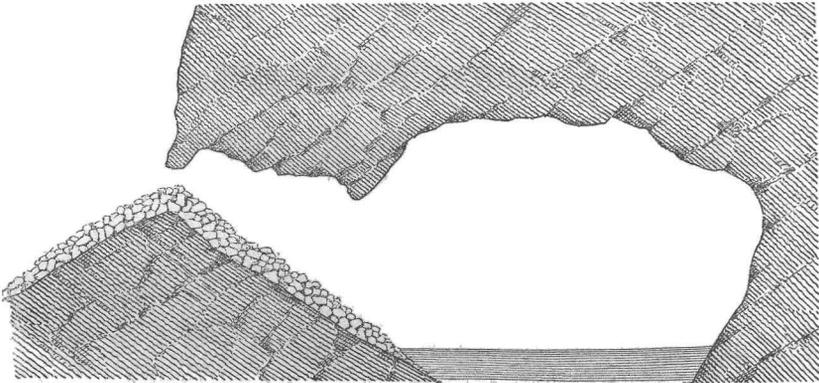


Fig. 7. Die Kliebensteinhöhle im Hölleugebirg.

handene wärmere Luft verdrängen. Wenn dagegen warme Luftströme längs der Felswand aufwärts steigen, werden sie nach Art einer Wasserluftpumpe saugend auf die in der Höhle eingeschlossene kalte Winterluft wirken. Die Lage an einer steilen Felswand ist daher, wie bereits Thury erwähnt hat, der Erhaltung des Eises über den Sommer weniger günstig.

Trichterhöhlen und Grubenhöhlen sind zur Erhaltung des Eises besonders geschickt, da durch den Trichter oder den Eingangscanal die Tiefe der Höhle selbst gewissermassen vermehrt und die Möglichkeit des Entweichens der kalten Höhlenluft, auch bei horizontalen Bewegungen der äusseren Luft, vermindert wird.

Sackhöhlen begünstigen die Erkaltung während des Winters, kühlen sich also stärker ab, müssen sich aber auch im Sommer

leichter erwärmen, da die Communication mit der äusseren Luft eine freiere ist.

Bei Ganghöhlen dagegen tritt der umgekehrte Fall ein, sie kühlen sich langsam und weniger ab und erwärmen sich ziemlich rasch durch die Bodenwärme.

Röhrenhöhlen können nur in ihren tiefer gelegenen Partien Eishöhlen sein. Es ist hier überdies noch zu unterscheiden, ob die in das Innere des Berges aufwärts führende Röhre im Berge selbst ihr Ende erreicht oder ob sie irgendwo in's Freie mündet.

Sack-, Gang- und Röhrenhöhlen, welche entweder nur eine Mündung besitzen, oder bei denen die Mündungen neben einander in ziemlich gleicher Höhe liegen, sind, wenn sie Eis besitzen, nach Thury's Bezeichnung statische Eishöhlen; Röhrenhöhlen jedoch, bei denen die in den Berg führende Röhre irgendwo in's

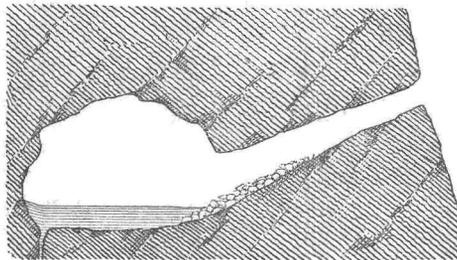


Fig. 8. Eishöhle am Seilerer.

Freie mündet, sind, wenn sie Eis enthalten, dynamische Eishöhlen und müssen dann unbedingt das untere Ende einer Windröhre sein oder doch in derselben der unteren Mündung sehr nahe liegen.

Wir wollen vorerst nur die eigentlichen Eishöhlen oder die statischen Eishöhlen Thury's in's Auge fassen, d. h. solche, in denen zufolge ihrer abgeschlossenen Form regelmässig durchgehende Luftströme fehlen.

Zu Beginn der kalten Jahreszeit muss die äussere kalte Luft in Folge ihrer grösseren Dichte in das Innere der Höhle einsinken und die wärmere Innenluft nach aufwärts drängen; so lange das Gleichgewicht nicht von Neuem hergestellt ist, dauert die Circulation der Luft fort und reicht um so tiefer, je grösser der Unterschied in der Dichte der beiden Luftmassen ist. Nimmt dieser Unterschied immer mehr zu, so schreitet der Luftstrom mehr und mehr gegen die Sohle der Höhle zu, indem er eine

immer grössere Luftmasse in die Bewegung hineinzieht. Schliesslich nimmt sämtliche Luft der Höhle an der Bewegung theil und die Luft von unten wird mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit durch die von oben kommende verdrängt.

Durch diesen Luftstrom findet eine Mischung der äusseren und inneren Luft statt, die Luftschichten mit ihren verschiedenen Temperaturen und Dichten haben sich ausgeglichen, es tritt vielleicht allmählig Ruhe in der Grotte und durch sämtliche Schichten des Zuganges ein.

Dieser Gleichgewichtszustand ist jedoch jedenfalls von kurzer Dauer, da sich der Einfluss der Bodenwärme schon beim Einströmen geltend macht. Die Wände der Höhle, welche nicht dieselbe Temperatur besitzen, wie die sie umgebende Luft, geben an diese Wärme ab. Der neuen Erwärmung folgt nun eine neue

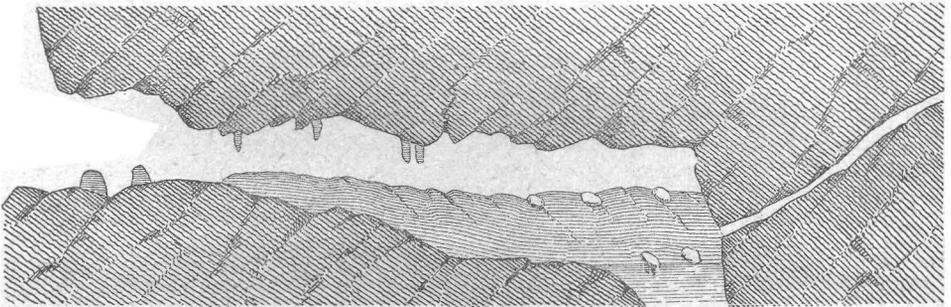


Fig. 9. La grande cave de Montarquis im Faucigny.

Störung des Gleichgewichtes und damit auch ein neuer Einbruch der äusseren Luft. Und so wiederholt sich dieselbe Reihe der Erscheinungen in der gleichen Ordnung. Aber nicht blos durch die Wärme der Felswände erhöht sich die Temperatur der Höhlenluft, sondern auch durch das Gefrieren des Wassers. Indem nämlich die unter Null Grad abgekühlte Luftmasse über den mit einer Wasserschichte bedeckten Boden streicht, bringt sie das Wasser selbst zum Gefrieren; nimmt aber jene Wärmemenge in sich auf, welche beim Erstarren des Wassers frei wird. Dadurch wird der vorhandene Luftstrom verstärkt und wieder einer neuen Menge äusserer, kalter Luft die Möglichkeit des Einsinkens in die Höhle geboten.

Girardot und Trouillet nennen die kältere Jahreszeit, in welcher diese Luftströme in der Höhle auftreten, die „offene

Periode“ (periode ouverte) wegen des leichten Zutrittes, welchen zu dieser Zeit die Oeffnung der Eishöhle der äusseren Luft gewährt. Und es gibt während dieser Zeit wohl wenig Tage, an denen nicht wenigstens ein Theil der Luft der Grotte durch kältere Luft ersetzt würde.

Ich sehe davon ab, irgend eine Berechnung über die Abkühlung der einsinkenden Luft, sowie über ihre Menge, die Geschwindigkeit des Luftstromes u. s. w. zu geben, da eine wirklich richtige Rechnung doch nur erst dann gegeben werden könnte, wenn wir wenigstens annähernd richtige und verlässliche Daten über die Bodentemperatur, d. h. die Temperatur der Felswände zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Punkten der Höhle besitzen würden. Ich kenne aber nur meine drei Messungen von der Kolowratshöhle vom 26. November 1876 mit  $+ 0.3^{\circ}$  C.,  
vom 6. Jänner 1877 mit  $- 0.5^{\circ}$  und  
vom 31. Mai 1877 mit  $+ 0.1^{\circ}$ .

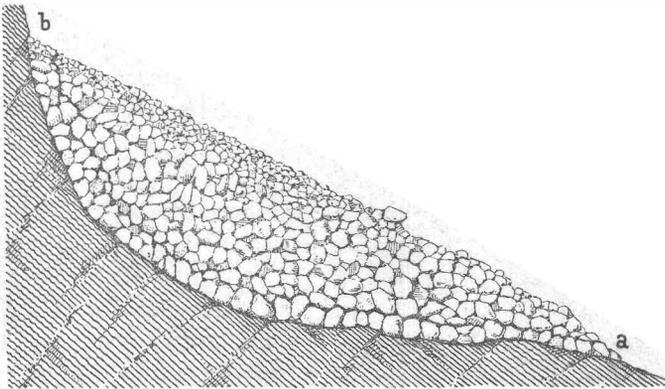


Fig 10. Durchschnitt durch eine Schutthalde.

Diese sind nur von einer einzigen Stelle ziemlich nahe dem Vordergrunde der Höhle. Ich bin überzeugt, dass die Fels-temperatur im Hintergrunde eine bedeutend höhere ist.

Eine derartige richtige Berechnung wäre allerdings sehr interessant, ist aber meiner Ansicht nach durchaus nicht nothwendig, um einzusehen, dass bei dem ununterbrochenen Luftstrom, welcher während der „offenen Periode“ der Eishöhle in letzterer herrscht, endlich so viel kalte Luft einströmt, um auch grössere Wassermassen zum Gefrieren zu bringen.

In der wärmeren Jahreszeit sinken die tiefsten Temperaturen der äusseren Luft nicht unter jene, welche in der Eishöhle herrscht,

daher gibt es keine directe und unmittelbare Communication zwischen der äusseren Atmosphäre und jener in der Grotte. Diese Zeit nennen Girardot und Trouillet die „geschlossene Periode“ (periode fermée). Allerdings wird auch während dieser Periode keine vollständige Stagnation der Höhlenluft eintreten, denn diese wird durch die Bodenwärme stets etwas erwärmt und daher bis zu einem gewissen Grade in Bewegung kommen; durch die Berührung mit dem in der Höhle befindlichen Eise und durch Aufthauen desselben wird aber die bewegte Luft wieder abgekühlt, und entsteht ein schwacher Kreisstrom, der sich so lange nicht bis zum Höhleneingange erstreckt, bis die innere Lufttemperatur der mittleren äusseren nahezu gleichkommt. Tritt aber dieser Moment ein, dann hat auch die Höhle aufgehört, eine Eishöhle zu sein, denn dann ist alles Eis der Höhle bereits abgeschmolzen. Auch im Eingange zur Höhle wird die Luft während der wärmeren Jahreszeit nicht stagniren, sondern Luftdruck, Verdunstung, Winde werden auch hier einen Kreisstrom, jedoch von höherer Temperatur erzeugen. So lange diese beiden Kreisströme sich nicht zu einem Strome vereinigen, bewahrt die Eishöhle ihren Charakter als solche; wenn jedoch die Temperaturdifferenzen schwinden, ist auch das Eis aus der Höhle verschwunden.

Aus dem eben Gesagten ergibt sich, dass das Eis so lange ausdauern wird, als die vorgenannten Kreisströme sich nicht vereinigen. Die Vereinigung dieser Ströme zu einem einzigen findet aber um so eher statt, je höher die Bodentemperatur und je kleiner die vom Winter stammende Eismasse der Höhle ist. Und darin ist auch die Erscheinung der permanenten und der periodischen Eishöhlen begründet.

Die Hauptursache also, welche dem Ausdauern des Eises in der Höhle während der warmen Jahreszeit entgegen wirkt, ist die Bodenwärme. Diese steht aber wieder in unmittelbarem Zusammenhange mit der geographischen Breite und der Meereshöhe eines Ortes. Je geringer also die mittlere Temperatur des Punktes ist, an welchem sich die Eishöhle befindet, d. h. je grösser die geographische Breite und je bedeutender die Erhebung des Ortes über die Meeresfläche, desto grösser ist die Möglichkeit der Bildung und Erhaltung des Eises in Höhlen.

Die Wirkung der Bodenwärme, welche man, ohne einen grossen Fehler zu machen, bei den meisten Eishöhlen der mittleren

Jahrestemperatur der Luft der Umgebung gleichsetzen kann, ist eine sehr bedeutende. So fand ich in der Brettwand am Westfusse des Untersberges im sogenannten Mausloch, einer natürlichen Spalte von etwa 40 *cm* Weite und 3 *m* Höhe, welche sich 9 *m* weit abwärts mit einem Gefälle von 4 *m* in den Berg hinein erstreckt, nachstehende Temperaturen:

	25. Dec. 1878 12h 40' Mitt.	28. Dec. 1878 2h 10' N.	1. Aug. 1879 2h 45' N.	27. Dec. 1879 1h 35' N.
Unter einer Fichte, 10 <i>m</i>				
vom Eingange . . .	— 9·0	+ 2·5	.	— 7·80
unmittelbar am Eingange	— 7·8	+ 2·6	26·8	— 6·0
in der Spalte, 4·5 <i>m</i> vom				
Eingange . . . . .	— 3·9	+ 2·8	13·0	— 5·3

Zu diesen Temperaturangaben ist zu bemerken, dass die Thermometer gleichzeitig und mindestens 15 Minuten exponirt waren; während der Dauer der Exposition derselben befand sich Niemand in der Spalte.

Die Beobachtungen vom 25. December 1878 sind besonders lehrreich. Das Thermometer in der Hand wanderte ich langsam vom Eingange der Spalte bis zu dem verticalen, unpassirbaren Schlunde, in welchen sie im Hintergrunde mündet, und wieder zurück, und beobachtete eine stetige Zunahme der Temperatur beim Hineingehen und eine Abnahme auf dem Rückwege. Es zeigte sich also, dass die Bodenwärme selbst in so geringer Tiefe, wie hier, im Stande ist, eine Luftmasse ziemlich rasch zu erwärmen. Am 25. December 1878 und am 27. December 1879 machte sich an der Kerzenflamme, welche ich etwa 60 *cm* über dem Boden hielt, ein einwärts ziehender Luftstrom bemerkbar, während der Rauch der Cigarre sich nach Aussen zog. Unten sank die kalte Luft in die Spalte und oben zog die erwärmte Luft wieder in's Freie. Am 28. December 1878 dagegen liess sich selbst am Rauche der Magnesiumflamme keinerlei Luftströmung constatiren. Die Temperaturdifferenz der Luft aussen und innen war zu unbedeutend.

Die Temperaturminima in den von mir genauer untersuchten Eishöhlen auf dem Untersberg geben ebenfalls Zeugnis von der erwärmenden Wirkung der Felsmassen.

Diese Minima waren:

	Im Winter 1876/77	1877/78	1878/79	1879/80	1880/81
in der Kolowratshöhle:					
im Vordergrunde	.	.	— 8·5	.	— 9·5 <sup>0</sup>
im Hintergrunde	— 8·5		— 6·8	— 8·6	.
im grossen Eiskeller:					
im Vordergrunde	.	.	— 10·4	— 15·3	— 11·8
im Hintergrunde	.	— 11·5	— 9·0	.	.
in der Schellenberger Grotte:					
im Vordergrunde	.	.	— 10·5	— 12·4	.
im Hintergrunde	.	— 7·7	— 8·0	— 9·2	— 7·0
in der Stadt Salzburg	— 12·5	— 24·5	— 17·7	— 26·8	— 25·0

Berechnet man die Mittel der beobachteten Minima jeder der drei Höhlen für denselben Winter 1878 auf 1879 auf die Meereshöhe des Eiskellers, so ergibt sich als Minimum für

die Kolowratshöhle . . . . .	— 9·8 <sup>0</sup>
die Schellenberger Eisgrotte . . . . .	— 9·75
den grossen Eiskeller . . . . .	— 9·7,

Angaben, welche unter einander ausserordentlich übereinstimmen, während die auf die Meereshöhe des Eiskellers berechnete Minimaltemperatur der Ebene (Stadt Salzburg) — 21·6<sup>0</sup> beträgt. Es ergibt sich daraus, dass die Erwärmung der Luft durch die Felswände eine sehr bedeutende ist.

Die Wärmeleitungsfähigkeit stagnirender Luft ist so unbedeutend, dass durch sie allein eine merkliche Erwärmung des Eisbodens nicht stattfinden kann.

Das wichtigste Moment für die Eisbildungen einer Höhle ist das Tropfwasser. Je reichlicher dasselbe während der kalten Jahreszeit in der Höhle fliesst, desto mehr Eis bildet sich in derselben; je reichlicher es aber in der warmen Jahreszeit fällt, desto mehr Eis zerstört es. Das Wasser, welches durch die Spalten und Klüfte des Felsens sickert, nimmt die Temperatur desselben an, und wenn die Felsmasse, welche es durchwandern muss, dick genug ist, erhält es die mittlere Bodenwärme. In der Nähe der Decke der Höhle wird das Wasser allerdings wieder abgekühlt, da die Temperatur der Felswände der Höhle sowie der Decke offenbar von der Temperatur der Eisgrotte beeinflusst wird. Die Temperatur der Decke muss aber im Sommer jedenfalls höher sein als jene des Eisbodens;

leider sind darüber directe Messungen kaum zu erhalten. Doch gibt immerhin die Temperatur des Tropfwassers, wie es auf den Boden der Grotte gelangt, einigen Aufschluss darüber. Meine Beobachtungen, welche ich in der Kolowratshöhle gemacht habe, indem ich das Wasser ein Meter hoch über dem Boden in einem weiten Kautschuksacke auffing, stelle ich hier zusammen.

Datum	Temperatur der Höhle des Tropfwassers	Menge des Tropfwassers
21. Mai 1876 . . .	0·0 . 1·95 und 1·88°	reichlich
31. Mai 1877 . . .	0·2 . 0·8 und 0·6	reichlich, aber als Staubregen
18. Juni 1876 . . .	0·2 . 1·9	reichlich
29. Juli 1876 . . .	0·3 . 0·8	wenig
22. August 1876 . . .	0·4 . 0·9 und 0·5	wenig
20. September 1876 . . .	0·4 . 1·1 und 1·2	reichlich
15. October 1876 . . .	0·2 . 1·0	ziemlich reichlich
4. November 1877 . . .	0·0 . 1·5	reichlich
26. November 1876	-1·0 . 0·5 und 0·6	wenig
6. Jänner 1877 . . .	-0·6 . 0·6	wenig

Aus diesen wenigen Beobachtungen ergibt sich, dass bei reichlichem Tropfenfall die Abkühlung des Tropfwassers eine geringere ist als bei schwachem Tropfregen; und dass die Temperatur der Decke der Höhle mindestens 2° betragen müsse, da als höchste Temperatur des Tropfwassers 1·95° beobachtet wurden. Dabei ist zu beachten, dass die Bodenwärme in der Lage der Kolowratshöhle beiläufig 3·5° beträgt und die mittlere Sommer-temperatur der Höhle in den Jahren 1876 und 1877 + 0·3° war.

Das Wasser, welches in die Kolowratshöhle tropft, tritt in dieselbe also mit einer Temperatur von mindestens 2° ein. Während des Herabfallens gibt es einen Theil seiner Wärme an die Luft der Höhle ab und erwärmt dieselbe. Fällt es dann auf den Eisboden auf, so bringt es denselben zum Schmelzen, wenn die Lufttemperatur der Höhle über Null ist; es gibt aber neues Materiale zur Eisbildung, wenn ihre Temperatur unter Null beträgt. Die Wassertropfen, welche fast immer an derselben Stelle den Boden erreichen, bauen im Winter die Eispyramiden auf; im Sommer höhlen sie dieselben aus und zerstören so das, was sie im Winter gebildet haben. Ein nasser Sommer ist daher den Eisbildungen einer Höhle schädlich, während ein trockener Sommer ihr Ausdauern wesentlich begünstigt.

Die Wärme, welche die Decke der Höhle ausstrahlt, wirkt ebenfalls mit als Ursache des Abschmelzens des Eises; glänzende, spiegelnde Eisflächen reflectiren mehr und absorbiren weniger, dagegen Eisgrus, krystallinisches oder unreines, schmutziges Eis absorbirt mehr Wärme und reflectirt weniger. Durch die absorbirte Wärme wird wieder Eis zum Schmelzen gebracht.

Wenn directe Sonnenstrahlen in das Innere der Höhle fallen, so wirken dieselben zwar kaum erwärmend auf die Luft, welche sie durchstreichen, jedoch bewirken sie eine Temperaturerhöhung des Bodens, oder der Wände, welche sie treffen. Sie sind daher ein sehr wichtiger Factor, welcher das Abschmelzen des Eises verursachen kann. Es gehört sohin zu den Hauptbedingungen der Existenz einer Eishöhle, dass der Eingang derselben möglichst beschattet sei, also entweder in einem Walde liege oder durch Felsstücke verdeckt werde, oder endlich gegen Nord oder Nordost gerichtet sei; befindet sich der Eingang zur Höhle am Grunde einer trichterförmigen Vertiefung des Bodens, so wird dadurch ebenfalls der Zutritt der Sonnenstrahlen erschwert.

Auch der Schneekegel, welcher sich in manchen Höhlen vom Eingange bis zur Eisfläche hinabzieht, bietet einigen Schutz gegen die Wirkung der Sonnenstrahlen, besonders wenn er, wie in einigen Höhlen, nicht mehr rein weiss, sondern mit allerlei Schmutz überzogen ist. Der Schneekegel absorbirt einen Theil der Wärme der Sonnenstrahlen, kommt an der Oberfläche zum Schmelzen und führt dann der Eisfläche der Höhle Wasser von Null Grad zu, welches beim Herabsinken allenfalls noch theilweise verdunstet und so Verdunstungskälte erzeugt.

Von Einfluss auf die Möglichkeit des Ausdauerns des Eises ist auch die Dicke der Decke der Höhle. Ist diese gering, so mag auch die Oberfläche der Ueberdachung der Höhle von Einfluss auf die Temperaturverhältnisse der letzteren sein. Ein mit Vegetation bedeckter Boden wird durch die Sonnenstrahlen weniger erwärmt, als nackter Fels- oder Sandboden; die an der Oberfläche stattfindende Verdunstung, welche Platz greifen muss, wo Vegetation auftritt, muss ebenfalls eine Ursache der geringeren Temperatur des Bodens sein: und so ist eine mit Vegetation bedeckte Ueberdachung der Höhle eine Ursache, welche der Erhaltung des Eises, wenigstens bei geringer Dicke der Decke, günstig ist. In ähnlicher Weise wie die Dicke der Decke ist auch

die Dicke der Seitenwände, namentlich bei offenen Höhlen von Einfluss. Beträgt die Dicke der Decke dagegen 8m und darüber, so ist ihre Einwirkung auf die Temperaturverhältnisse in der Höhle kaum von einiger Bedeutung.

Meine Psychrometerbeobachtungen in den Eishöhlen des Untersberges ergeben, dass die Luft in denselben stets mit Feuchtigkeit nahezu gesättigt ist. Ich lasse diese Beobachtungen hier folgen:

	Thermometer	
	trockenes	feuchtes
Kolowratshöhle . 21. Mai 1876	0·28	0·24 <sup>0</sup>
18. Juni 1876	0·23	0·20
22. Juli 1876	0·40	0·20
29. Juli 1876	0·30	0·10
22. August 1876	0·40	0·20
20. September 1876	0·45	0·40
15. October 1876	0·20	0·20
26. November 1876	— 1·10	— 1·2
6. Jänner 1877	— 0·65	— 0·8
31. Mai 1877	0·25	0·18
4. November 1877	0·0	-- 0·05

#### Schellenberger Eis-

grotte: 4. October 1876 0·28 0·24

Es wird daher das Eis oder Wasser in der Höhle zwar beständig verdunsten, jedoch nur in sehr beschränktem Maasse. Aber auch diese geringe Verdunstung erzeugt Abkühlung. Die unmittelbar über dem Boden lagernde kälteste Luftschicht muss auf demselben verweilen, der Wasserdunst jedoch muss sich nach dem Gesetze der Diffusion der Gase im Raume der ganzen Höhle gleichmässig vertheilen. Im Eingange, wo die Höhlenluft mit der äusseren in Berührung kommt, wird der Wasserdunst in die äussere Luft übergehen, falls diese trockener ist als die innere, und so kann auf dem Eisboden wieder neue Verdunstung stattfinden.

Durch die Verdunstung wird der Zustand der Luft in der Höhle wenig gestört. Eine Störung des Ruhezustandes der Luft wird vorzugsweise durch die bereits früher angeführten Ursachen, welche das Abschmelzen bewirken, herbeigeführt, nämlich durch die Wärme der Felswände und durch das Tropfwasser; dann aber auch durch warme Winde, welche in das Innere der Höhle von

aussen bis zu einer gewissen Tiefe eintreten können. Auch aus diesem letzteren Grunde ist es wichtig für das Ausdauern des Eises, dass der Eingang der Höhle gegen Nord oder Nordost gelegen und möglichst geschützt sei.

Auch die Veränderungen in der Stärke des Luftdruckes müssen in den Höhlen eine Bewegung der Luft hervorrufen oder die vorhandene alteriren; durch Zu- und Abnahme des Luftdruckes wird im Eingange der Höhle ein Luftzug entstehen, welcher im ersteren Falle einwärts, im letzteren auswärts gerichtet ist. Doch dürfte der Einfluss dieser Ströme auf die Temperatur der Höhle wohl nur ein minimaler sein.

Je grösser die Eisfläche ist, welche sich im Winter in einer Höhle gebildet hat, desto mehr Wärme ist zum Abschmelzen der Eismassen nothwendig, desto grösser ist also auch die Wahrscheinlichkeit der Erhaltung derselben während der warmen Jahreszeit.

Fassen wir nun die Momente zusammen, welche der Erhaltung des Eises während der Sommermonate günstig sind, so finden wir als solche:

1. Die Abtiefung des Höhlenbodens, vom Eingange gegen das Innere des Berges;

2. die grössere geographische Breite und die höhere Lage über der Meeresfläche oder die daraus resultirende geringere mittlere Temperatur des Ortes der Höhle;

3. eine möglichst geringe Menge von Tropfwasser im Sommer und die Möglichkeit eines raschen Abflusses desselben;

4. eine derartige Lage des Einganges der Höhle, dass den warmen Winden und directen Sonnenstrahlen der Zutritt in dieselbe verwehrt wird, daher Beschattung des Einganges durch Bäume oder Felswände, Exposition desselben gegen Nord oder Nordost.

5. Ein Schneekegel begünstigt das Ausdauern des Eises.

6. Die günstigste Form der Höhle ist jene von offenen Ganghöhlen oder von Trichterhöhlen.

7. Je grösser die Eisfläche, desto grösser ihre Dauer.

8. Eine gewisse Dicke der Decke ist für die Erhaltung des Eises von Einfluss. Ist dieselbe geringer als 8m, so ist es von Wichtigkeit, dass deren äussere (obere) Fläche mit Vegetation bedeckt sei.

---

Die Erscheinung der Windröhren lässt sich mit wenig Worten charakterisiren. Durch einzelne Löcher, welche sich an einer Berglehne befinden, tritt im Sommer kalte Luft aus und strömt im Winter kalte Luft zurück, während andere Löcher im Winter warme Luft ausstossen und im Sommer die warme Luft einsaugen. Vor und in den erstgenannten Löchern findet man im Sommer mitunter noch Schnee und Eis vom vergangenen Winter, ja es bilden sich daselbst unter besonders günstigen Umständen wohl auch Eisnadeln und Eisplättchen während der warmen Jahreszeit.

Diese periodischen Luftströme treten dann auf, wenn am Abhange eines Berges eine einfache oder verzweigte Röhre sich unter seiner Oberfläche derart hinzieht, dass ihre Mündungen ziemlich weit von einander entfernt sind, so dass man von einer oberen und unteren Mündung sprechen kann. Diese Röhren sind entweder künstliche Canäle durch festes Gestein, etwa wie ein Stollen mit daran gesetztem Schacht, oder seltener natürliche Röhren durch festes Gestein, oder endlich, und dies ist der häufigste Fall, natürliche Canäle, wie sie sich unter einer grossen Schutthalde vorfinden. Die Entstehung einer natürlichen Schutthalde erfolgt meist in der Weise, dass sich Anfangs auf dem Boden am Fusse einer Felswand eine Menge Steinblöcke ausbreiteten, welche wieder von anderen Blöcken überschüttet werden; die nachkommenden kleineren Steine sowie Erde und Staub überziehen wohl die obersten Blöcke mit einer zusammenhängenden Decke und füllen auch viele Zwischenräume aus, lassen jedoch allerlei Canäle offen, die an verschiedenen Stellen mit der äusseren Luft communiciren. Sicherlich entstehen auf diese Art auch Canäle, die nur am Fusse der Schutthalde und auf der Höhe derselben mit der äusseren Luft in Verbindung stehen, wie der Canal *a b* in Fig. 10; und diese Canäle sind es, welche die Erscheinung der Röhrenwinde hervorrufen und die eigentlichen Windröhren bilden.

In einer Tiefe von 25 *m* ist die Bodentemperatur constant. Ist der Canal im Boden eng genug, so wird die in ihm enthaltene Luft auch die Temperatur des Bodens vollständig annehmen. Diese Luft ist daher im Winter wärmer als die äussere Luft im Freien. Da wärmere Luft aber leichter ist als kalte, so wird die warme im Canale emporsteigen und durch die obere Mündung in's Freie entweichen; es entsteht im Canale ein Luftzug und durch die untere Mündung desselben muss die äussere kalte

Luft eintreten. Diese wird auf ihrem Wege durch den Canal auf die constante Temperatur des Bodens erwärmt und dringt durch die obere Mündung wieder in's Freie. Im Sommer oder, richtiger gesagt, wenn die äussere veränderliche Lufttemperatur höher ist als die innere constante, findet das umgekehrte Spiel statt. Die Luft im Canale ist kälter als die äussere Luft und sinkt daher bei der unteren Mündung hinaus ins Freie; in Folge dessen tritt von oben warme Luft ein, welche auf ihrem Wege durch den Canal nicht bloß auf die mittlere Bodentemperatur abgekühlt wird, sondern noch durch die an den feuchten Wänden des Canales bewirkte Verdunstung eine weitere Abkühlung erleidet und sodann durch die untere Mündung als kalter Luftstrom austritt. Wenn die äussere Lufttemperatur der Temperatur des Bodens gleich ist, also vorzüglich um die Zeit der Aequinoctien, muss im Canale Gleichgewicht oder Ruhe herrschen.

Nicht bloß die Richtung des Luftstromes, sondern auch seine Stärke variirt, und zwar ist diese abhängig von der Grösse der Temperaturdifferenz der äusseren und inneren Luft; die Stärke des Luftstromes wird am grössten sein, wenn diese Differenz ihr Maximum erreicht, also an den heissesten und an den kältesten Tagen.

---

Ueber die Zeit der Eisbildung in den Höhlen existiren drei verschiedene Ansichten: die eine lässt das Eis noch von der Eiszeit herkommen, eine zweite glaubt an eine Eisbildung im Sommer, und endlich die dritte verweist dieselbe in die Zeit des Winters in dem Eingangs angeführten erweiterten Sinne.

Daß das Eis der Eishöhlen nicht aus der Eiszeit stammt, ergibt sich aus mehreren Thatsachen.

Die Grotte von Chaux-les-passavant, welche die am längsten bekannte ist und deren schon im Jahre 1592 Erwähnung geschieht, wurde 1727 über Veranlassung des Herzogs von Lévi, welcher die Armee im Lager von Saone commandirte, vollständig ihres Eises beraubt, so dass sie schliesslich absolut frei von Eis war. Und im Jahre 1743 fand Cossigny nicht bloß den Boden der Höhle mit Eis bedeckt, sondern auch 13 bis 14 Eiskegel von circa 2 m Höhe.

Der Eiskeller in der Mittagscharte auf dem Untersberg bei Salzburg wurde zuerst 1802 von Moll als Eishöhle mit massivem Eisboden beschrieben. Mein verstorbener Freund, Herr Ludwig

Zeller, war Anfangs der Vierzigerjahre einmal im Eiskeller zu einer Zeit, in welcher sich weder Eis noch Wasser in demselben befand, so dass er trockenen Fusses bis in den Hintergrund des Raumes auf Steinschutt gelangen konnte. Das Jahr vorher und das Jahr darauf hatte die Höhle ihren gewöhnlichen Eisboden.

Im Jahre 1845 wurde nach A. Leo ein Eisensteinbergbau am Eisenberg im Thüringer Walde, welcher seit 1660 auflässig geworden war, wieder in Angriff genommen und daselbst entdeckte man in einem alten Schachte eine bedeutende Eismasse, welche durch einige Jahre in fortwährender Zunahme begriffen war. Dieser sog. Eisschacht war offenbar bis zum Jahre 1660 eisfrei, sonst hätte man in demselben wohl kaum auf Eisen gebaut; es muss daher dieses Eis aus jüngerer Zeit stammen. Dasselbe gilt von den Eisansammlungen in den Minen von Nordmarck und Kirobinskoy.

Ausserdem gibt es Eishöhlen, in denen regelmässig im August oder längstens September alles Eis geschmolzen ist und welche dann im nächsten Frühjahr wieder frisches Eis enthalten; wie der Eiswinkel auf dem Untersberg, die Eislöcher am Tauernkogel des Tännengebirges, der Wasseraufschlag vor dem Rothen Kogel am Sandling, das Taberloch bei Wiener-Neustadt, die Eishöhle am Hungerberge, jene am Dinivrh, die Eislöcher bei Frain, die Grotte am Zinkenstein und andere.

Alle diese Thatfachen beweisen, dass die Ursachen der Eisbildung auch jetzt noch vorhanden sind und dass das Eis sich thatsächlich auch jetzt noch alljährlich bildet, daher es ganz überflüssig ist, auf so entfernte Zeit wie die Eiszeit zurückzugreifen.

Um nachzuweisen, dass das Eis der Höhlen sich nicht im Sommer bildet, wird es gut sein, eine Zusammenstellung der Temperaturen folgen zu lassen, welche in den verschiedenen Eishöhlen beobachtet wurden. Daten aus sehr alter Zeit, sowie solche von geringer Verlässlichkeit, dann solche, denen die Angabe der Beobachtungszeit fehlt, sind in die Tabelle nicht aufgenommen worden.

Eishöhle	Autor	Beobachtungszeit	Temperat d. Eishöhle
von Mondolé	Salino	22. Juli 1865	1·0 <sup>0</sup>
von Plan-Agex	Carrel	15. Juli 1841	0·5
von Fondeurle	H. de Thury	5. Sept. 1805	0·4
von Grand Anu	Browne	Juli 1863	1·1

Eishöhle	Autor	Beobachtungszeit	Temperat. d. Eishöhle
Grande cave de Montarquis	Colladon	21. Juli 1807	0·0
	Pictet	17. Juli 1822	1·5
	Morin	Aug. 1828	2·5
	Thury	16. Aug. 1859	2·5
	"	19. Jänn. 1861	—4·0
Eishöhle von Brezon	Prévost	16. Juli 1822	5·0
Schafloch am Rothhorn	Dufour	5. Sept. 1822	3·2
	Soret	1. Sept. 1860	0·4
	Browne	Juli 1864	0·5
	Körber	21. Sept. 1884	0·1
	"	18. Jänn. 1885	—1·3
Kolowratshöhle	Richter	21. Mai 1876	0·03
	Fugger	18. Juni 1876	0·2
	Lama	24. Juni 1876	0·4
	Richter	5. Juli 1876	0·4
	Fugger	22. Juli 1876	0·4
	"	29. Juli 1876	0·3
	"	22. Aug. 1876	0·4
	"	20. Sept. 1876	0·4
	Richter	22. Sept. 1876	0·3
	Fugger	15. Oct. 1876	0·2
	"	22. Oct. 1876	0·2
	"	26. Nov. 1876	—1·0
	"	6. Jänn. 1877	—0·6
	"	31. Mai 1877	0·2
	"	10. Juni 1877	0·3
	"	13. Aug. 1877	0·5
	"	15. Aug. 1877	0·3
	"	23. Aug. 1877	0·1
	"	26. Aug. 1877	0·2
	"	30. Aug. 1877	—0·1
	"	12. Sept. 1877	0·0
	"	30. Sept. 1877	0·0
	"	4. Nov. 1877	0·0
"	11. Nov. 1877	0·1	
"	2. Juni 1878	—0·2	
"	17. Juli 1878	0·3	
"	10. Aug. 1878	0·1	

Eishöhle	Autor	Beobachtungszeit	Temperat. d. Eishöhle
Kolowratshöhle	Fugger	1. Sept. 1878	0·4
	„	24. Sept. 1878	0·2
	„	20. Oct. 1878	0·2
	„	27. Oct. 1878	0·2
	Kastner	15. Juni 1879	—0·2
	Fugger	22. Juni 1879	0·0
	„	3. Aug. 1879	0·2
	„	2. Sept. 1879	0·3
	Kastner	26. Oct. 1879	0·05
	Fugger	17. Mai 1880	—0·2
	„	12. Juni 1880	0·0
	„	16. Oct. 1880	0·2
	„	24. Juni 1881	0·2
	„	2. Oct. 1886	0·2
Eiskeller auf dem Untersberg	„	2. Oct. 1887	0·4
	Braune	28. Juli 1802	2·5
	Fugger	22. Oct. 1876	1·1
	„	30. Sept. 1877	0·0
	„	10. Juni 1878	0·8
	„	9. Sept. 1878	1·2
	„	24. Sept. 1878	1·8
	„	4. Oct. 1878	2·1
	„	31. Mai 1879	0·0
	„	5. Sept. 1879	2·2
	Kastner	26. Oct. 1879	—0·05
	Fugger	12. Juni 1880	0·2
	Schöller	4. Juli 1880	1·2
	Fugger	6. Sept. 1880	1·8
Windlöcher auf dem Untersberg	„	2. Oct. 1880	1·6
	„	2. Juli 1881	0·4
	„	3. Oct. 1886	1·8
	„	14. Aug. 1877	2·0
	„	19. Aug. 1878	0·8
	„	5. Sept. 1879	1·8
Eiswinkel auf dem Untersberg	„	14. Sept. 1879	1·8
	„	14. Aug. 1877	1·7
	„	19. Aug. 1878	1·7
„	14. Sept. 1879	2·4	

Eishöhle	Autor	Beobachtungszeit	Temperat. d. Eishöhle
Schellenberger Eisgrotte	Fugger	4. Oct. 1876	0·3
	„	29. Juni 1877	0·4
	„	11. Nov. 1877	0·2
	„	28. Aug. 1878	0·2
	„	12. Aug. 1879	0·3
	„	9. Oct. 1880	0·3
Schellenberger Eisgrotte	„	24. Juni 1881	0·2
	„	2. Oct. 1887	0·4
	„	9. Oct. 1887	0·4
Seeofen auf dem Tännengebirge	Posselt	Oct. 1879	1·8
Eiskogel „ „ „ „	Richter	23. Juli 1877	1·8
Kliebensteinhöhle im Höllen- gebirge	Kraus	8. August 1883	1·9
	„	13. Sept. 1883	11·0
	Hernler	16. Mai 1886	1·2
Kasberghöhle bei Gmunden	Kraus	10. August 1884	4·0
Am Rothen Kogel bei Aussee	Simony	21. Sept. 1848	10·8
Am Langthalkogel auf dem Dachstein	Kraus	1. Sept. 1881	1·2
Seelucken am Oetscher	Schmidl	8. Sept. 1855	1·7
Taberlock bei Wr.-Neustadt	Christof	25. März 1877	0·3
Am Brandstein bei Gams	Mandl	10. Sept. 1838	2·6
	Ruthner	Sept. 1874	1·9
	Richter	3. Aug. 1876	0·6
Kleine Eishöhle am Brandstein	„	3. Aug. 1876	3·0
Eiskammer in der Frauen- mauer	„	5. Aug. 1876	0·8
	Schwalbe	Sommer 1881	0·5
Bärenloch bei Eisenerz	Richter	5. August 1876	0·4
	Schwalbe	20. Nov. 1881	3·0
Eishöhle bei Kuntschen	Petruzzi	16. Aug. 1849	1·8
	„	29. Sept. 1849	1·2
Eisgrube von Rosseck	„	Sept. 1849	7·5
Friedrichsteiner Eishöhle	Linhart	Aug. 1883	0·5
Handler Eisloch	„	Aug. 1883	1·4
Eishöhle von Skrill	Deschmann	2. Sept. 1862	1·8
	Schwalbe	Aug. 1883	2·0
Eishöhle auf der Veliki gora	Deschmann	29. Aug. 1862	3·7

Eishöhle	Autor	Beobachtungszeit	Temperat. d. Eishöhle
Grosse Eishöhle von Paradana,	Moser	8. Sept. 1882	3·5
Kleine „ „ „	„	8. Sept. 1882	6·0
Eishöhle von la Genouillière	Browne	Juni 1861	0·8
Eishöhle von St. Georges	Pictet	5. Aug. 1822	1·3
	Thury	5. Aug. 1857	1·0
	„	9.—11. Jänn. 1858	—0·6 b.—6·8
	„	3. April 1858.	—1·0
Eishöhle von Chaux-les-passavant	Prévost	Jänner 1778	—5·6
		April 1778	2·5
		Juli 1778	3·7
		Oct. 1778	3·1
Eishöhle von Chaux-les-passavant	Prévost	8. Jänn. 1779	—6·2
		22. Febr. 1779	—1·2
	Girod-Chantrans	6. Aug. 1783	2·2
	Browne	Juli 1864	0·5
	Girardot u. Trouillet	2. Dec. 1885	2·3
		9. Dec. 1885	0·0
	„ „ „	9. Dec. 1885 b. 12. Mai	
	„ „ „	1886 unter 0	
	„ „ „	12. Mai b. 8. Juni 1886	
	„ „ „	zwischen 0 u. + 1·0	
Eishöhle von Zapodia	Schmidl	Sommer 1861	2·6
Eishöhle von Szilitze	„	Aug. 1855	3·2
	Schwalbe	28. Juli 1881	1·0
Eishöhle von Dobschau	Féher	14. Aug. 1870	5·0
		31. Aug. 1870	3·7
		8. Oct. 1870	0·6
		23. Dec. 1870	—8·7
		4. Jänn. 1871	—6·2
		18. Febr. 1871	—4·4
		27. Mai 1871	3·7
		Krenner	April 1872
Schwalbe	Sommer 1881	0·1	

Eishöhle	Autor	Beobachtungszeit	Temperat. d. Eishöhle
Eishöhle von Dobschau	Mittel aus den täglichen Beobachtungen des Jahres 1881	Jänn. 1881	— 4·2
		Febr. 1881	— 3·4
		März 1881	— 2·1
		April 1881	— 1·2
		Mai 1881	0·9
		Juni 1881	1·5
		Juli 1881	2·1
		Aug. 1881	3·8
		Sept. 1881	2·3
		Oct. 1881	0·2
		Nov. 1881	— 1·9
		Dec. 1881	— 3·2
Eishöhle von Chertanevü	Schwalbe	Sommer 1881	2·0
„ „ Kirchdrauf	Roth	28. Aug. 1880	1·0
	Hradsky	31. Jänn. 1881	— 0·7
Eishöhlen von Frain	Wachtl	Aug. 1860	2 bis 6 *)
	„	Sept. 1860	3 „ 6
	„	Oct. 1860	6
	„	Nov. 1860	3 „ 1
	„	Dec. 1860	1 bis — 3
	„	Jänn. 1861	— 7 „ — 2
	„	Febr. 1861	— 2 bis 0
	„	März 1861	0 „ 1
	„	April 1861	1 „ 2
	„	Mai 1861	2
	„	Juni 1861	2 „ 3
	„	Juli 1861	3
	„	Aug. 1861	3 „ 7
	„	Sept. 1861	7 „ 6
	„	Oct. 1861	6
	„	Dec. 1861	— 1 bis — 3
	„	Jänn. 1862	— 5
„	Febr. 1862	— 5 bis — 2	
„	März 1862	— 1 bis 0	
„	April 1862	0	
„	Mai 1862	2 bis 5	
„	Juni 1862	3 „ 6	
„	Juli 1862	3 „ 5	

\*) Die Temperaturen sind ursprünglich nur in ganzen Graden angegeben.

Eishöhle	Autor	Beobachtungszeit	Temperat. d. Eishöhle
Eishöhlen von Frain	Wachtl	Aug. 1862	5
	„	Sept. 1862	3 bis 6
	„	Oct. 1862	5
	„	Nov. 1862	5
	„	Dec. 1862	0 bis - 2
	„	Jänn. 1863	- 2 „ - 3
	„	Febr. 1863	- 2 „ - 3
	„	März 1863	- 5 „ 0
	„	April 1863	+ 1
	„	Niessl	Juni 1867
	„	13. Febr. 1882	- 2
Höhle von Roth in der Eifel	Steininger	19. Sept. 1818	2·5
	Schwalbe	26. Juli 1880	0·7

Es erscheinen in dieser Tabelle für die Sommermonate (Mai bis inclusive September) fast nur Temperaturen über Null, fünf mit Null und vier Angaben unter Null Grad. Von diesen neun letzteren entfällt eine von Colladon mit  $0\cdot0^{\circ}$  auf den 21. Juli des Jahres 1807, aus welcher Zeit die Thermometerangaben wohl keine absolute Verlässlichkeit auf Zehntelgrade beanspruchen. Die Temperaturen aus der Kolowratshöhle vom Juni 1878 und 1879, sowie vom Mai und Juni 1880, dann aus dem Eiskeller vom Mai 1879, welche  $-0\cdot2$  bis  $0\cdot0^{\circ}$  betragen, bedeuten das Ende der Wintersaison der Höhle, die Temperatur vom 30. September 1877 aus dem Eiskeller von  $0\cdot0^{\circ}$  stammt von einem Nachtfroste, die Temperatur  $-0\cdot1^{\circ}$  vom 30. August 1877 in der Kolowratshöhle endlich dürfte von dem Einflusse der Windrichtung des betreffenden Monates herrühren. Alle übrigen Daten geben uns Temperaturen, bei denen Eisbildung in grösserem Massstabe nicht möglich ist. Ueberdies ist fast in jedem Berichte über den Besuch einer Eishöhle im Sommer zu lesen, dass das Eis des Bodens mit Wasser überflossen war, was doch offenbar den Zustand des Abschmelzens bedeutet.

Auch die ziemlich grosse Anzahl jener Höhlen, welche bereits im August eisfrei sind, deutet darauf hin, dass das Eis sich nicht im Sommer bilde, sondern sich zu dieser Zeit vermindere.

Aus dem eben Gesagten ergibt sich nun ganz von selbst, dass das Eis der Eishöhlen, da es sich weder im Sommer bilden

kann, noch von der Eiszeit her stammt, im Winter, d. h. zu jener Zeit entstehen muss, in welcher die äussere Lufttemperatur unter Null ist. Wenn dieses Letztere zugegeben wird, dann fallen selbstverständlich alle jene Theorien der Eisbildung, welche eine andere Ursache als die Winterkälte zur Grundlage haben.

Die Theorie des Wintereises ist keineswegs neu; schon 1789 hat Pierre Prévost in Genf diese Erklärung mit aller Deutlichkeit gegeben, nach ihm Jean André Deluc 1822, Thury 1861, Browne 1865 und viele Andere. Geradezu unwiderlegbar aber ist die Wintereis-Theorie durch die Arbeiten von Albert Girardot und Louis Trouillet (1886) geworden, welche während des Winters 1885 auf 1886 ein Registrirthermometer in der Glacière de Chaux-les-passavant aufgestellt hatten. Aus den Aufzeichnungen dieses Instrumentes ersieht man den Zusammenhang zwischen der Temperatur der Aussenluft und jener der Höhle während des Winters -- trotz mancher Störungen im Instrumente -- vollkommen deutlich.

Bis 1. December 1885 war die Luft ausserhalb und innerhalb der Höhle über Null. Am 2. December sinkt die äussere Luft auf Null Grad, die Innenluft sinkt ebenfalls und erreicht am 9. December den Nullpunkt; ihre Temperatur bleibt nun stets unter Null, um erst mit Beginn des Monates April 1886 wieder nahe an Null zu steigen; aber erst am 12. Mai erreicht die Temperatur im Innern der Grotte den Nullpunkt und erhält sich dann bis 8. Juni -- weiter reichen die Beobachtungen nicht -- zwischen  $0^{\circ}$  und  $1^{\circ}$ .

Die Schwankungen der äusseren Lufttemperatur werden, soweit dieselbe unter Null ist, von der Temperatur der Innenluft mitgemacht, jedoch stets innerhalb engerer Grenzen, wie nachstehende Angaben anschaulich machen:

	10. Dec.		11.	12.			15.
	12 <sup>h</sup> M.	12 <sup>h</sup> N.	12 <sup>h</sup> M.	6 <sup>h</sup> F.	12 <sup>h</sup> M.	12 <sup>h</sup> N.	12 <sup>h</sup> M.
Aussenluft:	— 2·0	— 16	— 4	— 16	— 10	— 15	— 1 <sup>0</sup>
Innenluft:	0·0	— 12	— 3	— 14	— 10	— 12	— 3 <sup>0</sup>
	17. Dec.	18.			28.	29.	31.
	6 <sup>h</sup> F.	12 <sup>h</sup> N.			6 <sup>h</sup> F.	12 <sup>h</sup> N.	6 <sup>h</sup> F.
Aussenluft:	— 8	— 1	.		— 8	0	— 14
Innenluft:	— 4·5	— 1·4	.		— 8	— 2·5	— 11

Vom 1. bis 7. Jänner 1886 schwankt die Aussenluft zwischen  $0^{\circ}$  und  $+4^{\circ}$ , die Innenluft steigt von  $-4^{\circ}$  allmählig bis etwas

unter  $-2^{\circ}$ ; vom 8. Jänner an ist die Aussenluft fast durchweg unter Null, die Temperatur der Innenluft macht nun wieder die Schwankungen mit:

	7. Jän.	9	10.	11.	12.	13.	15.	
	12h N.	12h N.	6h A.	12h N.	12h N.	6h F.	6h F.	
Aussenluft:	-3	-10	-5	-6	-16	-18]	-3	-5 <sup>0</sup>
Innenluft:	-3	-8	-5	-5	-14	-15	-4	-5 <sup>0</sup>
	16. Jänn.	17.	18.	23.		27.	28.	
	12h N.	6h F.	6h F.	12h N.		12h N.	12h N.	
Aussenluft:	-2	-10	-5	-14		-2	-1 <sup>0</sup>	
Innenluft:	-4	-7	-5	-11		-4	-3 <sup>0</sup>	

Die Schwankungen der Temperatur der äusseren Luft, soweit sie über Null Grad besitzt, haben auf die Temperatur der Innenluft keinen Einfluss; es zeigt sich nur eine sehr langsame ausserordentlich regelmässige Zunahme derselben.

Die Eishöhlen-Theorie von Girardot und Trouillet stimmt daher mit der von mir vertretenen Deluc-Thury'schen vollkommen überein und betont dabei das wiederholte Einsinken kalter Luft, also die oftmalige Abkühlung der Höhle während der Winterszeit.

Von den Theorien, welche die vorstehende bekämpfen, will ich nur zwei anführen, nämlich die von Pictet 1822 (Sommer-Theorie) und jene von Schwalbe 1881 (Frühlings-Theorie).

Pictet entwickelte seine Theorie auf Grund seiner Besuche der Eishöhle von St. George im Jura und der Grande cave de Montarquis im Faucigny, der Beschreibung der Höhle am Mont Brezon durch seinen Enkel Eduard Prévost und der verschiedenen Berichte über die Höhle von Chaux-les-passavant. Pictet führt an, dass weder der Winterschnee noch die Bodentemperatur Ursache der Eisbildung in den Höhlen sein könne, und verweist auf die Beobachtung Prévost's im Mont Brezon, dass aus einigen Oeffnungen in dem Felsen neben der Eishöhle ein kalter Luftstrom herauswehte. In dem Berichte Prévost's über diese Höhle heisst es nämlich: „Nach einer kleinen Wendung an der Felswand erreichten wir einen Platz, wo ein starker Strom von sehr kalter Luft aus einer Oeffnung . . . im Felsen hervorkam. Das Thermometer, welches in der freien Luft auf  $10.5^{\circ}$  stand, fiel, diesem Strome ausgesetzt, sofort auf  $3.7^{\circ}$ . Von diesem Punkte etwas über 3 m weiterhin an der Felswand fanden wir den Eingang zur Eishöhle. . . Der Ausfluss der kalten Luft war nicht auf die genannte Oeffnung beschränkt; es drang ein mehr oder weniger

kalter und heftiger Luftstrom aus allen natürlichen und regelmässigen Oeffnungen in der erwähnten Felswand.“

Auf Grund dieser Beobachtung Prévost's betrachtet nun Pictet die Eishöhle am Mont Brezon und mit ihr alle übrigen Eishöhlen als das untere Ende einer Windröhre und das Eis durch den kalten Luftstrom erzeugt. „Wenn wir die mittlere Temperatur der Höhlungen, schreibt Pictet, in welchen die Luft circulirt, auf 8 bis 10° annehmen, wird es nicht sehr ausserordentlich scheinen, dass der Erkältungsprocess durch Verdunstung, begünstigt durch eine grosse Vervielfältigung an den Oberflächen, und bei einer schon durch die Verdunstung des Wassers abgekühlten Temperatur, den Gefrierpunkt erreichen sollte, und in diesem Falle sind die Eishöhlen nur Grotten mit kalten Luftströmen, welche ein wenig kälter als andere sind, weil der Erkältungsprocess durch Verdunstung hier von den Umständen mehr begünstigt ist.

Wir sahen das Thermometer auf 3·0° in den Windröhren des Monte Caprino und auf 4·1° in denen von Hergiswyl in der Mitte des Sommers. Es ist keine sehr grosse Differenz zwischen diesen und der Temperatur von 1·3°, welche wir in der Eishöhle von St. George beobachteten, oder von 1·5° in jener vom Mont Vergy (Grande cave de Montarquis). Es ist beachtenswerth, dass diese Theorie sehr natürlich die ausserordentliche Thatsache erklärt, dass sich daselbst mehr Eis im Sommer bildet als im Winter, was von Allen denen bestätigt wird, welche in der Nähe von Eishöhlen wohnen. Die Ursache davon ist sehr einfach: im Sommer, insbesondere im heissesten Theile desselben, ist die Destruction des Gleichgewichtes zwischen der inneren und äusseren Luftsäule, welche an ihrer Basis communiciren, am grössten; es ist dann natürlich, dass der Luftstrom, welcher im Innern herabsinkt und Verdunstung bewirkt, am stärksten und wirksamsten ist und die kräftigsten Effecte erzeugt.“

Die Luftströme, welche Pictet zu seiner Erklärung nöthig hat, sind in den eigentlichen Eishöhlen nicht vorhanden; ja Pictet selbst spricht in den Beschreibungen der vier Höhlen nirgends von einem Luftstrome, welcher in einer Höhle bemerkbar wäre oder aus einer derselben herauswehen würde. Auch die Luftströme, welche E. Prévost bei der Glacière am Mont Brezon beobachtet hat, kommen nicht aus der Eishöhle selbst, sondern aus Felslöchern neben der Höhle, und Thury erklärt in seiner Beschreibung der eben genannten Eishöhle ausdrücklich, dass er die

Luft in derselben (im Sommer) ruhig fand. Und was die Aussage der Nachbarn von Eishöhlen betrifft, dass sich in denselben im Sommer mehr Eis bilde als im Winter oder dass sich überhaupt im Sommer darin Eis bilde, so ist dies eine Behauptung, die noch von keinem Forscher durch eigene Anschauung constatirt wurde und wohl auch nie constatirt werden wird, ein Märchen, welches häufig erzählt und weil es etwas Unglaubliches ist, um so lieber geglaubt wird.

B. Schwalbe verlegt die Zeit der Eisbildung der Eishöhlen in das Frühjahr und bezeichnet die Winterkälte als eine nicht genügende Erklärung. Er schreibt: „Bei den Eishöhlen wird im Winter die Eisbildung gewöhnlich nicht stattfinden, denn das Durchsickern (von Wasser) findet nicht statt, wohl aber kann durch das Einsinken der kalten Luft Eis allerdings in geringerem Umfange gebildet werden, während bei Grotten, wo dies Einsinken erschwert ist, die Höhle durch die nun zur Geltung kommende Bodentemperatur erwärmt wird. Im Frühjahr ist der Sickerprocess am stärksten, die dadurch erzeugte Abkühlung bringt die so wie so niedrige Bodentemperatur noch weiter herab. Die Luft in der Höhle ist noch kalt, und so wird das Wasser, das in dem Capillarraum nicht zum Gefrieren kommt, so wie es an die Luft tritt, da es wahrscheinlich überkältet ist, fest werden. . . . Vor Allem würde aber zu constatiren sein, ob beim Durchsickern des porösen Gesteins durch Flüssigkeiten Abkühlung entsteht.“

Wie man sieht, stellt Schwalbe selbst seine Ansicht als etwas Problematisches, als eine Idee hin, die erst des Beweises bedarf. Seine Anhänger Otto Krieg und Nikolaus Fischer jedoch betrachten die Schwalbe'sche Vermuthung von der Ueberkältung des Wassers und den daraus folgenden Erscheinungen als vollkommene Thatsache.

Dass im Winter Wasser in die Eishöhlen einsickert, beweisen meine eigenen Beobachtungen in der Kolowratshöhle am 26. November 1876 und am 6. Jänner 1877. Ich sah an diesen Tagen das Tropfwasser in der Höhle und mass dessen Temperatur. Dieses Tropfwasser wurde aber durch die Temperatur der Höhle abgekühlt, es wurde nicht, wie Schwalbe meint, die Höhlentemperatur durch das Tropfwasser abgekühlt. Die Lufttemperatur der Höhlenluft war an den genannten Tagen  $-1.0$  und  $-0.6^{\circ}$ , jene des Tropfwassers  $+0.5$  und  $0.6^{\circ}$ ; von Verdunstung kann

auch nicht viel die Rede sein, denn die Luft war fast mit Feuchtigkeit gesättigt, wie meine Psychrometerbeobachtungen zeigten.

Dass im Frühjahr, d. h. zur Zeit der Schneeschmelze, die Eishöhle am meisten Wasser haben muss, ist sicher, und dass zu dieser Zeit sich sehr viel Eis bildet, besonders wenn die Aussenluft bei Nacht noch häufig unter Null abgekühlt wird, ist ebenso gewiss. Wenn aber Schwalbe und Genossen vom Durchsickern des Wassers durch Capillarräume sprachen, so sind sie dabei in grossem Irrthum, denn das Tropfwasser der Eishöhlen durchdringt, wie auch E. Richter constatirt, nicht in Haarröhrchen den Fels, sondern läuft durch Klüfte und Spalten desselben, während die Hauptmasse des Gesteins trocken bleibt. „Es ist eine ganz falsche Vorstellung, wenn man sich das eine Eishöhle umgebende Gestein als eine von Wasser durchsickerte Masse vorstellt, etwa wie feuchten Sand oder Lehm oder ähnliche Materien, an denen Jungk und Andere ihre Experimente gemacht haben.“

Ebenso wenig ist die Ansicht von der Ueberkältung des Wassers in Haarröhrchen richtig. Jungk behauptete nämlich seinerzeit, dass Wasser, welches mit einer Temperatur zwischen  $+4^{\circ}$  und  $0^{\circ}$  durch Haarröhrchen hindurchsickere, überkältet werde, eine Behauptung, welche durch Meissner's Versuche (Wiedemann's Annalen, 1886. S. 114) als irrig nachgewiesen wurde. Ausserdem wurde behauptet und durch Rechnung bewiesen, dass die in der Eishöhle befindliche kalte Luft bei Weitem nicht ausreiche, um die grosse Menge von Eis zu erzeugen, welche sich alljährlich erneuert. Eine einmalige „Füllung“ der Höhle mit kalter Luft wird allerdings nicht genügen, das vorhandene Eis zu bilden, es wird aber, wie bereits nachgewiesen wurde, die kalte Luft der Höhle den ganzen Winter hindurch, in der Periode ouverte, fortwährend erneuert und durch diese wiederholte Füllung wird eben die bedeutende Abkühlung, ich möchte sagen, jener Kälte-vorrath erzeugt, welcher das Gefrieren auch grosser Wassermassen möglich macht. Und so glaube ich nachgewiesen zu haben, dass auch die Schwalbe'sche Theorie nicht haltbar ist.

Es erübrigt mir nur noch über die dynamischen Eishöhlen (Eishöhlen mit Luftströmen) einige Worte zu sagen. Diese können nur an den unteren Mündungen von Windröhren auftreten. Der eintretende kalte Winterstrom begünstigt die Eisbildung in der Höhle ausserordentlich und führt auch noch reichlich

Schnee in ihr Inneres. Zerstörend auf das im Winter gebildete Eis wirkt sodann der im Sommer von oben nach abwärts streichende Luftstrom, dessen Temperatur gleich jener des Bodens oder noch einige Grade unter derselben ist. Das Eis in einer derartigen Höhle wird daher um so länger dauern, je niedriger die Temperatur dieses Luftstromes ist, d. h. je höher über der Meeresfläche und in je grösserer Breite dieselbe liegt, und je mehr Feuchtigkeit die Röhre enthält. Je grösser die Höhle ist und je grösser die Eismassen sind, welche sich in derselben während des Winters angesammelt haben, desto geringer wird die Wirkung des Sommerstromes in Bezug auf das Abschmelzen des Eises sein. Zu den Eishöhlen mit Luftströmen gehört die Grand cave de Montarquis, welche in Prof. Thury aus Genf ihren würdigsten Monographen gefunden hat.

Statische Eishöhlen und Windröhren sind also zwei sehr verschiedene Erscheinungen. Die (statischen) Eishöhlen sind Höhlen oder Grotten im eigentlichen Sinne des Wortes mit einem einzigen Eingange, der aber höher liegt als ihre Sohle. Sind zwei oder gar mehr Eingänge vorhanden, so müssen diese in ziemlich gleicher Höhe liegen, so dass durch sie kein eigener Luftzug in der Höhle erzeugt wird. Die Windröhren aber sind röhrenförmige Gänge oder Spalten mit zwei an den Enden befindlichen Mundlöchern, von denen das eine höher, das andere tiefer liegt.

In der (statischen) Eishöhle herrscht im Winter ein fast beständiger Luftstrom, der darin besteht, dass die äussere Luft in die Tiefe der Höhle sinkt, während die Höhlenluft durch dieselbe Oeffnung entweicht; in der Windröhre strömt die kalte Luft des Winters beim unteren Ende der Röhre hinein und streicht, nachdem sie die ganze Röhre durchzogen hat, erwärmt beim oberen Ende hinaus.

In der Eishöhle herrscht im Sommer wenig Bewegung in der Luft; in der Windröhre dagegen ist die Luftströmung auch im Sommer permanent und streicht in entgegengesetzter Richtung, nämlich beim oberen Ende hinein und beim unteren Ende heraus.

Darin aber haben beide Erscheinungen Aehnlichkeit, dass auch die Windröhre an ihrem unteren Ende grössere oder kleinere Eisansammlungen, die vom Winter herkommen, durch längere oder kürzere Zeit den Sommer über conserviren kann.

In der Eishöhle hält sich das Eis im Sommer mangels eines stärkeren Luftstromes, im unteren Ende der Windröhre

oder in einer dynamischen Eishöhle hält es sich trotz des von innen kommenden Luftstromes.

Ich habe versucht, so weit es die Verhältnisse zuließen, die Veränderungen zu studieren, welche die Windröhren und Eishöhlen im Laufe eines Jahres erleiden. Die meinem Wohnorte am nächsten liegenden Windröhren, nämlich jene des Untersberges sind bequem zugänglich und daher ihre Beobachtung leicht auszuführen. Leider lässt sich dasselbe nicht von den Eishöhlen des Untersberges sagen; sie sind zwar im Sommer durch nicht allzu grosse Anstrengung zu erreichen, aber im Winter ist ihr Besuch sehr mühselig, meist auch gefährlich und wohl sehr oft unmöglich. Trotzdem gelang es mir, die Kolowratshöhle zweimal im Winter zu sehen, d. h. zu der Jahreszeit, wann im Innern der Höhle die Eisbildung vor sich geht. Durch die Ergebnisse dieser beiden Besuche und der zahlreichen Sommerausflüge in die verschiedenen Eishöhlen, und die wiederholten Winter- und Sommerbesuche der Windröhren des Untersberges glaube ich in der Lage zu sein, ein ziemlich getreues Bild der Veränderungen in der Physiognomie der Windröhren und Eishöhlen während eines Jahres im Nachstehenden geben zu können.

### **Jährliche Periode in der Windröhre.**

Im strengen Winter sieht man am oberen Ende der Windröhre weisse Nebel aufsteigen, der Schnee rings um dieselbe ist weggeschmolzen oder zu einem kraterähnlichen Kegel aufgetürmt, während an der unteren Mündung ein scharfer Luftstrom, theilweise vermischt mit Schneeflocken in das Innere des Berges zieht. Beide Luftströme werden um so heftiger und fühlbarer, je grösser die Kälte der äusseren Luft ist. Mit Zunahme der Frühlingswärme wird die Heftigkeit des Luftstromes schwächer, an einzelnen Tagen tritt vollkommene Ruhe ein, an anderen warmen Tagen ist die Richtung der Ströme eine gerade entgegengesetzte, während bei Nacht der Strom der winterlichen Richtung folgt; Früh und Abends tritt dann vollständiges Stagniren ein.

Wenn die Tage wärmer werden, werden auch die Luftströme regelmässiger, und zwar zieht die Luft bei der oberen Mündung ein und bei der unteren aus, und höchstens in den kälteren Nächten findet noch Ruhe in der Windröhre statt. Je höher die Tagestemperatur wird, desto lebhafter ist der Strom der auswärts ziehenden Luft. Zu Anfang

des Frühlings ist seine Temperatur noch wenig über Null, sie nimmt aber zu mit der Zunahme der äusseren Lufttemperatur und erreicht im September oder October ihr Maximum.

Dann beginnen die Ströme schwächer zu werden, es findet theilweises Stagniren statt, erst bei Nacht; später Früh und Abends, während bei Nacht eine Umkehrung der Ströme im Sinne der winterlichen Richtung eintritt; endlich Stagniren bei Tage und winterliche Richtung Abends, bei Nacht und am Morgen; bis auch bei Tage der Winterstrom andauert und um so lebhafter wird, je weiter die Jahreszeit in den Winter hineinrückt.

Ist die untere Mündung der Röhre reichlich mit losem Gestein umgeben, oder erweitert sich dieselbe zu einer Höhle, zu welcher dem Wasser der Zutritt gestattet ist, so sammelt sich daselbst vermöge der in dem Winterstrom eintretenden grossen Menge kalter Luft eine mehr oder weniger bedeutende Eismasse an, welche sich überdies durch eingewehten Schnee noch vermehrt. Diese nimmt fortwährend zu, so lange der Winterstrom an ihr vorüberzieht.

Wenn dann nach den Wechselströmen und dem Stagniren des Frühlings die Sommerströme wehen, so beginnen diese Eis- und Schneemassen langsam zu schmelzen, der austretende Luftstrom aber wird durch die Berührung mit dem Eise bis auf Null oder wenige Zehntelgrade darüber abgekühlt und behält diese niedrige Temperatur solange bei, bis er die Eismassen vollkommen abgeschmolzen hat. Sind diese letzteren mächtig genug, so können sie den Sommer über ausdauern, bis der Winterstrom sie wieder vergrössert und ihre Existenz abermals auf längere Zeit sichert.

### **Jährliche Periode in der Eishöhle.**

Wenn im Herbst die Nächte kalt werden und der Morgen Frost bringt, und die Temperatur im Freien unter jene im Innern der Eishöhle sinkt, dringt die äussere Luft vermöge ihrer grösseren Dichte in die Höhle ein, senkt sich daselbst allmählig zu Boden, verdrängt dadurch die eingeschlossene Luft und kühlt die Wände der Höhle ab, wird aber dabei selbst erwärmt.

Dieser Vorgang wiederholt sich solange, als die äussere Luft kälter ist, als die innere. In verhältnissmässig kurzer Zeit wird die Luft der Höhle und mit ihr die Wände und der Eisboden unter den Gefrierpunkt abgekühlt worden sein.

Es beginnt die Zeit der Bildung des Eises. Das Tropfwasser, welches im Winter in die Höhle eindringt, kühlt sich während des Herabfallens (durch die kalten Luftschichten sehr bedeutend ab und verwandelt sich, wenn es den Boden berührt, dessen Temperatur unter Null ist, in Eis. Je nach der Grösse der in der Höhle herrschenden Kälte zerfliesst es über den Boden und bildet oder verstärkt die Eisdecke, oder wenn der Kältegrad ein bedeutenderer ist, gefriert der herabfallende Tropfen bereits ganz oder theilweise im Momente des Auffallens. Gefrieren die Tropfen sofort und vollständig, so thürmen sie sich allmählig zum Stalagmiten empor; gefriert jedoch nur ein Theil des Tropfwassers so gleich, so wird der übrige Theil desselben entweder abfliessen und dadurch die Basis des Stalagmiten, des Eiskegels vergrössern, oder er spritzt von dem Punkte, in welchem er auffällt, weg und bildet so die Grundlage zu einem Walle, welcher den Stalagmiten umgibt und sich, bei fortgesetzter Wirkung schliesslich mit diesem vereinigt.

Ist die in der Höhle herrschende Kälte so gross, dass auch die höchsten Punkte derselben eine Temperatur unter Null Grad besitzen, dann gefrieren die Wassertropfen, welche die Decke jedenfalls mit einer Temperatur über Null betreten, bereits theilweise oder vielleicht auch ganz schon an der Decke und bilden Eiszapfen oder Stalaktiten mit oder ohne entgegenstrebenden Stalagmiten. Sind die Verhältnisse besonders günstig, so kann sich ein Stalaktit mit seinem entsprechenden Stalagmiten vereinigen, und es entstehen die prächtigen Eissäulen, welche in niedrigen Eishöhlen häufig auftreten und dann gewissermassen die Decke zu stützen scheinen.

Der Spätherbst und die allererste Zeit des Frühlings, wann die Tropfwasser nicht sehr spärlich, aber auch nicht allzu reichlich fliessen, dürften der Vermehrung der Eisfläche, dagegen der strenge Winter, in welchem nur an einzelnen Stellen der Höhle Tropfen nach Tropfen von der Decke fällt, der Bildung und Vergrösserung der Eisfiguren am günstigsten sein.

In niedrigen Höhlen, in denen die einströmende kalte Luft die Decke leichter abkühlt als in hochgewölbten, bilden sich mehr und stärkere Eiszapfen und weniger und schwächere Stalagmiten; in hohen Eishallen dagegen findet das Umgekehrte statt.

Während der ganzen Winterszeit und noch in den Frühling hinein nehmen die in der Höhle vorhandenen Eismassen und Eis-

bildungen an Grösse zu. Das fortwährend verdunstende Wasser — die Luft ist Winter und Sommer mit Feuchtigkeit gesättigt — schlägt sich an den kalten Felswänden nieder und bildet zahllose Krystalle, welche die Wände überziehen und bei Beleuchtung mit Kerzen- und Magnesiumlicht in wunderbarem Glanze schimmern.

Wenn im Frühlinge auf dem Berge über der Höhle die Schneeschmelze grössere Dimensionen annimmt, so nimmt auch die Menge des Tropfwassers in der Höhle bedeutend zu; die Temperatur der Höhle ist nicht mehr im Stande, die grossen Wassermassen, welche ihr zugeführt werden, zum Gefrieren zu bringen; das Wasser sammelt sich daher an den tiefsten Stellen der Höhle an, da die Abflussöffnungen derselben, durch welche die Schmelzwasser des Sommers austreten, zugefroren sind. Das Wasser staut sich, und es entsteht ein See. Kalte Frühlingsnächte treiben neuerdings stark abgekühlte Luft auf den Boden der Höhle, so dass auch die Oberfläche des Sees wieder gefriert. Möglicherweise sammelt sich sogar noch eine zweite Wassermasse über dieser Eisdecke und überzieht sich abermals mit einer mehr oder weniger dicken Kruste von Eis. Allmähig thaut die Bodenwärme die zugefrorenen Abzugscanäle wieder auf, das Wasser fliesst unter der Decke ab. Letztere, zu dünn und zu weit ausgespannt, um für sich selbst existiren zu können, stürzt ein und bedeckt den alten Eisboden, während die Reste der Decke an den Stellen, wo sie die Felswand berührte, bleiben, und einen Kranz im Umfange der Höhle bilden als langandauerndes Zeichen der gewesenen Frühjahrsüberschwemmung. Die Bruchstücke der Ueberschwemmungsdecke amalgamiren sich durch nachkommendes Tropfwasser allmähig sowohl unter sich als mit dem alten Eisboden und bilden die bedeutendste Ursache der Zunahme der Höhe des letzteren.

Mit zunehmender warmer Jahreszeit verschwinden die zahllosen Eiskrystalle von den Felswänden, die Temperatur der Grotte steigt auf Null und selbst über Null, und das Tropfwasser, welches im Winter die Eisfläche und die Eisfiguren gebildet hat, beginnt jetzt wieder, sie zu zerstören.

Die Eiszapfen sind wohl die ersten Opfer der wärmeren Jahreszeit; ihre Basis, mit welcher sie an der Decke haften, die ja zuerst im ganzen Höhlenraume eine höhere Temperatur annehmen muss, wird durch die Wirkung der Tropfwasser zum

Schmelzen gebracht, und sobald sie hinlänglich verkleinert ist, fällt der Stalaktit in Folge seiner eigenen Schwere zu Boden.

Auch die Stalagmiten schwinden allmähig hin, einzelne verschwinden vollständig, andere werden ausgehöhlt und stürzen ein, wieder andere behalten zwar ihre frühere Gestalt, werden jedoch auf ein viel bescheideneres Volumen reducirt.

In dem eigentlichen Eisboden bilden sich an den Stellen, wo das Tropfwasser auffällt, Vertiefungen, die sogenannten Tropfbrunnen, welche den ganzen Sommer über mit flüssigem Wasser gefüllt bleiben. An jenen Stellen des Eisbodens aber, welche nicht direct vom auffallenden Tropfwasser getroffen werden, ist die zerstörende Wirkung unbedeutend, da das ruhig über den Boden fließende Wasser, welches ohnehin eine sehr niedrige Temperatur besitzt, schon durch die Berührung mit dem Eise bald auf Null Grad abgekühlt wird und dann ein weiteres Abschmelzen zu bewirken nicht mehr im Stande ist. Auch der Schneekegel zieht sich immer mehr zusammen und sendet seine Schmelzwasser auf den Boden der Höhle, und so ist sowohl dieser als auch die Wände den ganzen Sommer über bis in den Herbst hinein nass. In unglücklich gelegenen Höhlen und in besonders nassen Sommern findet man die tieferen Stellen der Grotte wohl mehrere Decimeter tief mit Wasser bedeckt.

Durch das Abschmelzen des Eises wird aber viel Schmelzwärme absorbirt und dadurch der Process des Abschmelzens selbst ausserordentlich verzögert.

Häufig erblickt man vor dem Höhleneingange Nebel, welche dadurch entstehen, das die feuchte, wärmere, äussere Luft an der Höhlenmündung mit der dort befindlichen kalten Luft in Berührung kommt, sich dadurch abkühlt und den Wasserdunst condensirt.

Je länger die warme Jahreszeit dauert, desto grösser ist die Abnahme der Eismassen, und diese schreitet so lange fort, bis von aussen wieder kalte Luft in die Höhle sinkt. Dann ändert sich die Physiognomie der Höhle wie mit einem Schlage, und es beginnt wieder die Zeit der Neubildung des Eises.

---