Das Höhleneis unter besonderer Berücksichtigung einiger Eishöhlen des Erzgebirges.

Vom

Realgymnasiallehrer Dr. phil. **Hans Lohmann.**

Der Garische Stollen bei Ehrenfriedersdorf.

Um die von Reich am 22. Mai 1834 beobachteten Eisbildungen am Sauberge zu Ehrenfriedersdorf näher zu studieren, besuchte ich genanntes Städtchen just zu derselben Jahreszeit wie der erwähnte Gelehrte, nämlich am 24. Mai 1893. Wohl fand ich den Sauberg, eine mächtige Schutthalde im SSO von Ehrenfriedersdorf, aber der Bergbau hatte vollständig aufgehört. Die Untersuchung der von Reich beschriebenen Eisstellen war also unmöglich, und die Erzählungen der beiden einzigen im Orte lebenden Bergleute widersprachen sich so sehr, dass man für wissenschaftliche Untersuchungen keinen Gebrauch davon machen konnte. Im Laufe des Gespräches wurde aber die Aufmerksamkeit auf eine Stelle in der Nähe der Stadt gelenkt, die am Himmelfahrtstage (11. Mai 1893) noch Eis enthalten haben sollte. Es war der sogenannte Garische Stollen, den ein gütiges Geschick mir als Entschädigung zur Kenntnis brachte. Im Greifenbachthale, etwa eine halbe Stunde von Ehrenfriedersdorf entfernt, ist in die nordöstliche Thalwand nur wenige Meter über der Thalsohle in einer Meereshöhe von 550 m ein Stollen eingetrieben, der zunächst 6 m weit mit Bohlen und Steinplatten bedeckt ist und dann erst in den anstehenden Gneiss stösst. In einer Tiefe von 11 m teilt sich der Garische in den alten und den neuen Stollen, von denen letzterer nach WNW, ersterer nach NO abzweigt. Der neue Stollen war zuletzt im Betrieb und steht nach Versicherung meines Führers, des Bergmannes Löser, mit keinem alten Gewerk in Verbindung, während der andere mit Rissen, d. h. alten Abbauen auf dem Freiwalde verbunden sein soll. Beim Eintritt empfing uns ein auswärts wehender, kalter Luftstrom, den die Flammen unserer Kerzen deutlich anzeigten. Er war bisweilen so stark, dass die Lichter zu erlöschen drohten. Dieser Luftzug kam aber nur aus dem alten, rechts abgehenden Stollen, während im neuen in einer Tiefe von 3 m die Flamme am Boden nur um 20° aus der senkrechten Ruhelage abgelenkt wurde und an der Decke ruhig brannte. Die Ursache dieses schwachen Windes war offenbar die Saugkraft der starken Strömung im alten Stollen. Der heftige Zug in letzterem erregte ein unangenehmes Kältegefühl, das bei dem Aufenthalt im neuen Stollen nicht zu bemerken war. Genau dieselben Erscheinungen in der Luftbewegung des Garischen Stollens wurden bei einem weiteren Besuch am 16. Mai 1894 beobachtet, während am 24. März 1894 die Luft nur mit Unterbrechungen und dann schwächer als die beiden anderen Male wehte.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ganz andere Strömungsverhältnisse der Luft herrschten bei einem Besuch im Winter, am 3. Januar 1894. An diesem Tage strömte eisig kalte Luft von einer Temperatur von — 15,6° in das Innere, so dass 15 m vom Eingang im alten Stollen noch — 13° gemessen wurden; im anderen Gange war es dagegen windstill und um 7,5° wärmer als im ersteren.

Wie in den meisten unterirdischen Höhlungen, so tropft auch im Garischen Stollen an vielen Stellen Wasser an den Wänden und von der Decke herab. Im vereinigten Stollen nimmt die Feuchtigkeit nach hinten zu, und an der Stelle der Teilung herrscht reichlicher Tropfenfall. Von da unterscheiden sich die beiden Strecken wesentlich durch die Menge dieses Tropfwassers. Während sich nämlich im neuen Stollen das Tropfen fast bis zum Fliessen steigert, wird der alte Stollen in einigen Metern Tiefe vollständig trocken. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt in dem Umstande, dass über dem neuen Stollen das Wasser des sogenannten Röhrgrabens hinfliesst.

Die Temperaturen des Tropfwassers, die bei einigen Besuchen bestimmt wurden, und die übrigen gemachten Beobachtungen lassen sich aus folgender Tabelle im Zusammenhang erkennen:

Zeit	Aussen-temperatur	Neuer Stollen Temp. 14 m vom Eingange in 1,5 m Höhe über dem Boden	Alter Stollen Temp. 15 m vom Eingange in 1,5 m Höhe über dem Boden	Tropfwasser-temperatur	Luftströmung
24. Mai 1893	+ 16,4°	+ 6,3°*	+ 7,9°	+ 8,7°	auswärts
3. Januar 1894	— 15,6°	— 5,5°	— 13,0°	0°	einwärts
24. März 1894	+ 1,9°	+ 4,6°	+ 2,1°	+ 1,2°	schwankend
16. Mai 1894	+ 21,0°	+ 8,1°	+ 8,1°	..	auswärts

Mich hatte die Hoffnung in den Stollen geführt, im späten Frühling Eis darin zu finden. In der That zog sich am 24. Mai 1893, 1 m vom Eingange beginnend, eine Eisplatte von 5 m Länge, 0,8 m Breite und 0,5 — 2 dm Dicke am Boden des vereinigten Stollens hin. Die Oberfläche dieses Eises, das weiter hinten aufhörte, war mit Schmutz überdeckt und vollständig nass.

War das Aussehen des Stollens an diesem Tage mehr merkwürdig als schön, so gewährte er dagegen am 2. Januar 1894 einen prächtigen Anblick. Bereits wenige Schritte vom Eingange bedeckte etwa 40 cm starkes Eis den Boden und vereinigte sich 4 m vom Eingange mit einer grossartigen Eiskaskade, welche die Felswand überzog. Gleich dem herabstürzenden Wasser war die feuchte Oberfläche wellig und an steilen Stellen mit kleinen Eiszapfen geschmückt. An der Stelle, wo anstehendes Gestein die Decke bildet und die linke Strecke sich abzweigt, zierte den Boden eine Reihe von Eissäulchen, die 10 — 100 cm hoch waren, einen Höchstumfang von 45 cm aufwiesen und bei trockener Oberfläche fast übereinstimmend die Form von Bambusstäben hatten. An der Decke zogen sich, die Höhle lieblich schmückend, dünne und durchsichtige Eisbänder hin, und im rechten Stollen hingen einige Stalaktiten herab. Diese vereinigten sich aber nur in einem einzigen Falle mit einem der Verbindung harrenden Stalagmiten. In der linken Strecke deutete das Geplätscher des herabtriefenden Wassers auf das Aufhören des Bodeneises hin, das in ihr sich

* Am 24. Mai wurde merkwürdigerweise die Temperatur im neuen Stollen um 1,6° niedriger gefunden als im alten.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hinzog, und im rechten Stollen gab in einer Tiefe von 16 m vom Eingange der Kerzenschein nur trockenes Gestein zu erkennen.

Weit anders war der Anblick des Stollens am 24. März 1894. Zwar zog sich noch am Boden das Eis hin, allmählich aus dem Firn am Eingange hervorgehend, und schmückte die Stollenwände; aber die schönen Eissäulen und Eiszapfen waren verschwunden und zeigten nur in einzelnen Trümmerresten Spuren ihrer früheren Pracht. Das Wandeis des Winters liess sich in dem März-Eise kaum wieder erkennen. Zeichnete sich jenes durch seine Glätte und Härte aus, dem festen Hammerschlage trotzend, so zog sich über dieses ein Netz feiner Riefungen hin, die in das Innere hinein sich fortsetzten, und bei einer Stärke von 2 cm vermochte der Druck der Hand das Eis in lauter kleine Eisnadeln von 1 qmm Querschnitt zu zerlegen. Im alten Stollen erstreckte sich Eis ebensoweit ins Innere wie im Januar; im neuen hörte es schon in 2 m Tiefe auf.

Am 16. Mai 1894 war die Herrlichkeit des Eisstollens ganz dahin. Wie bei dem ersten Besuche lag 3,5 m vom Eingang entfernt eine Eisplatte von 4 m Länge, 0,5 m Breite und 15 cm Stärke am Boden. Der frühere Glanz dieses Eisgebildes war jedoch durch darauf liegenden Schmutz getrübt. Alles andere Eis war verschwunden.

Der Garische Stollen ist aber nicht die einzige Eishöhle, die der Freiwald, in dem die seltsamen Greifensteine stehen, in sich birgt. Zwei von Wanderern gekannte und häufig besuchte Stellen, die Stülpner- und die Ritterhöhle, müssen noch erwähnt werden wegen ihrer Fähigkeit, Eis bis in den Sommer hinein aufzubewahren.

Die Ritterhöhle.

Mitten im Walde — die Stelle ist durch Wegweiser leicht zu finden — senkt sich in 700 m Meereshöhe eine 6 m tiefe Binge in die Erde, durch welche man auf Stufen an den Eingang eines alten bergmännischen Abbaues gelangt. Die 1,2 m hohe und 2 m breite Öffnung setzt sich in dem anstehenden Granit stollenartig einige Meter weit fort und erweitert sich dann nach allen Seiten zu einer geräumigen Höhlung. Der Boden fällt bis 7 m vom Eingang um 1,5 m und steigt von dieser Stelle, mit Steintrümmern bedeckt, auf einer Strecke von 8 m bis zur Decke an. Links vom Eingange zweigt sich noch eine kleine Nebenhöhle ab.

Beim ersten Besuche der Höhle am 24. Mai 1893 überraschte mich vor allem die ausserordentlich rasche Abnahme des Wärmegrades während des Hinuntersteigens. An diesem Tage betrug der Unterschied zwischen den Temperaturen, die draussen und am Eingange herrschten, 13°, bei einem weiteren Besuch am 16. Mai 1894 sogar 18,4°. Dagegen, wie aus folgender Zusammenstellung zu erkennen ist, war er am 24. März 1894 nur 0°.

Zeit	Aussentemperatur	Temperatur am Eingange	Temperatur am tiefsten Punkte 7 m vom Eingange
24. Mai 1893	14,4°	1,4°	1,1°
24. März 1894	0°	0°	.
30. März 1894	11,5°	.	0,9°
16. Mai 1894	22,4°	4,0°	3,0°

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wie man aus dieser Tabelle erkennt, nimmt die Temperatur in drei Fällen bis zum Eingange sehr rasch, dann aber im Höhleninnern langsam ab; am 24. März aber haben Aussen- und Höhlenluft den gleichen Wärmegrad 0. In betreff der Luftbewegung bestand im Mai 1893 zwischen dem Garischen Stollen und der Ritterhöhle ein eigentümlicher Unterschied. Anstatt des bei jenem so unangenehm auffallenden Luftzuges herrschte hier völlige Windstille, so dass trotz der niederen Temperatur kaum ein Kältegefühl wahrzunehmen war. Am 24. März des folgenden Jahres, wo sich im Garischen Stollen eine besonders schwache Luftströmung zeigte, wehte aber im Eingange der Ritterhöhle die Luft unten stark einwärts und strömte oben schwach nach aussen. Bei genauerer Untersuchung wurde ferner am hinteren Ende der Höhle, wo das Geröll mit der Decke zusammenstösst, ein schwacher Luftzug in das Berginnere hinein festgestellt.

Mit dem starken Abnehmen der Temperatur in der Eingangsöffnung ging das Auftreten von Firn und Eis Hand in Hand. Am 24. Mai 1893 bedeckte jener bereits in 3 m Tiefe den Boden und erstreckte sich 6 m weit bis in den vordersten Teil der Höhlung, während die Wände am Eingange stellenweise mit vollkommen durchsichtigem Wandeis überzogen waren. Der weisse Firn und das klare Wandeis gingen zum Teil allmählich ineinander über, so dass keine Trennung zwischen beiden zu erkennen war. In der Höhle selbst war nur am äussersten Ende Eis zu bemerken. Hier füllte es an einer Stelle Spalten im Gestein aus, und an einer anderen bedeckte ein $^3/_4$ m breiter und 1,5 m langer Eisstreifen die senkrecht abfallende Wand. Seine Stärke betrug in der Mitte 2 cm, nahm aber nach den Seiten bis zur Papierdünne ab. Dabei zeigte alles Eis, das in der Höhle vorgefunden wurde, die eigentümliche netzartige Zeichnung, die bereits beim Garischen Stollen erwähnt wurde. Im März 1894, wo im Gebirge noch Schnee den Boden der Wälder bedeckte, schloss sich, im Eingange beginnend, Bodeneis unmittelbar an den Schnee an und erstreckte sich fast bis ans Ende der Höhle. Wie im Jahre vorher bekleidete im Eingange Wandeis den Felsen, aber es trat auch mannigfach im Innern der Höhle auf und überzog an einigen Stellen sogar die Decke. Ausserdem standen im Innern einzelne, wenn auch niedrige Eissäulchen (30 cm), die, wie das Eis der Höhle überhaupt, besonders durch die merkwürdige Riefung der Oberfläche auffielen. (Siehe Fig. 1.) Tropfwasser fiel, die tiefe Stille unterbrechend, in langsamem Zeitmasse spärlich auf den Boden. Das Aussehen der Höhle im Mai 1894 glich fast ganz ihrem Anblick im vorhergehenden Jahre. In der trichterförmigen Öffnung lag noch Firn, der an manchen Stellen in vollständig hartes, undurchsichtiges Eis übergegangen war. Im Eingange selbst bedeckte den Boden in halber Breite klares Eis, das bei einer Stärke von 15 cm eine Länge von 2 m besass. Ausser diesen dürftigen Überresten wurde kein Eis weiter vorgefunden.

Die Stülpnerhöhle.

Ganz in der Nähe der Ritterhöhle und mit ihr in gleicher Meereshöhe befindet sich im Waldesboden eine 7 m tiefe geräumige Einsenkung, die am Grunde den Eingang zu einer höhlenartigen Weitung im Granit gestattet. Die eine Seite der Bodensenke fällt langsam ab, während die andere eine steile Granitwand ist, in der sich noch mehrere kleinere Höhlungen befinden. Die erstere, die sogenannte Stülpnerhöhle, gleicht einer geräumigen, runden Kammer, deren Durchmesser 8 m und deren Höhe 3 m beträgt. An der rechten Seite des 1,4 m hohen, 3 m breiten und nach Süden geöffneten Einganges befindet sich in der Felswand noch eine kleine Öffnung zu einer Nebenhöhle, die aber nicht weiter untersucht wurde. Der grösste Teil des Bodens der Höhle war bei den Besuchen derselben immer mit Wasser bedeckt, das keine Abflussgelegenheit zu haben

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

schien. Die Temperaturen der Höhle und des Wassers lassen sich in folgender Tabelle leicht miteinander vergleichen:

Zeit	Aussen-temperatur	Temperatur 3 m vom Eingange nahe am Boden	Wasser-temperatur
24. Mai 1893	14,0°	2,6°	.
24. März 1894	0°	0,8°	0,5°
16. Mai 1894	22,4°	4,5°	4,0°

Wie zu erwarten, stimmt die Wassertemperatur mit der der Höhlenluft ziemlich überein. Eigentümlich ist aber wieder, wie ausserordentlich verschieden im Mai der Wärmegrad der Höhle und der Aussenluft ist, und wie übereinstimmend im März bei einer Aussentemperatur von 0°. Auch in betreff des Luftzuges traten in verschiedenen Jahreszeiten merkwürdige Unterschiede bei der Stülpnerhöhle auf. Bei beiden Besuchen im Mai herrschte in ihr vollkommene Ruhe, so dass die Flamme nicht im geringsten bewegt wurde. Im März wehte dagegen am Boden die Luft einwärts und zog an der Decke wieder schwach nach aussen. Gefrorenes Wasser wurde in dieser Höhle verhältnismässig wenig angetroffen. Am 24. Mai 1893 lag in ihr selbst kein Eis, wohl aber zog sich 3 m vor dem Eingange beginnend und von lehmiger Erde überdeckt, eine Eisfläche hin. Das Eis lag zwischen Steinen und nahm bei einer Stärke von 10 cm einen Flächenraum von 1 qm ein. Ein Teil war durchscheinend weisslich, jedoch frei von Luftblasen und liess sich leicht schneiden. Ein anderer war teils klar, teils durchscheinend und wies Einschlüsse von Erde auf. Eine besondere Struktur wurde aber an diesen Eisresten nicht wahrgenommen. Im März 1894 ging der Schnee vor dem Eingang in durchsichtiges Eis über, das in einer Erstreckung von 6 m den Boden bedeckte. Dieses war wie im Mai des Vorjahres ohne besonders eigentümliche Zeichnung. Im Innern trat aber an einem kleinen Eisstumpf und einigen Eisplatten die bereits früher erwähnte netzartige Riefung auf. Im Mai 1894 endlich war weder vor dem Eingange noch in der Höhle selbst Eis zu finden.

Die Binge bei Geyer.

Ähnliche Erscheinungen wie die eben beschriebenen finden sich auch an zwei Stellen der Binge bei Geyer.

Die bergmännische Unterwühlung des Erdbodens seit uralter Zeit hat in der Nähe von Geyer eine mächtige Senkung des Bodens hervorgebracht, die man die Binge nennt. Am Grunde dieses etwa 40 m tiefen, mit ungeheuren Steintrümmern übersäten Einsturzes befinden sich in 600 m Meereshöhe zwei Orte, die bis in den Sommer hinein Eis bewahren sollen. Der eine, das Eisloch, am NW-Rande der Binge gelegen, wird gebildet von zwei nebeneinander liegenden Höhlungen zwischen der Felswand und dem Trümmergesteine.

Bei zwei Besuchen im Mai 1893 und 1894 wurde in ihnen ein schwacher Luftzug nach aussen festgestellt und Firn nebst geringfügigen Eisbildungen gefunden.

Der andere, die Eishöhle, ist eine Kammer von 2 m Höhe und 20 m Tiefe, die in einen stehen gebliebenen Pfeiler der Binge an seiner SW-Seite eingetrieben ist. Der Boden dieser Höhle ist ziemlich horizontal und in einem Teile mit Geröll bedeckt. Die letztere Stelle des Bodens war

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

im Mai 1893 überschwemmt; auf ihr lag 20 cm unter dem Wasserspiegel eine 40 cm starke, mächtige Eisplatte. Diese war durchsichtig und liess das darunter liegende Gestein erkennen; nur nach der Mitte zu war das Eis weisslich. Ihre Oberfläche war glatt und stellenweise mit Vertiefungen versehen. Durch den 2 m hohen und 3 m breiten Eingang strömte die Luft unten hinaus und an der Decke herein; die Luftzirkulation war aber 17 m vom Eingang aus nicht mehr wahrnehmbar.

Ein zweiter Besuch im Mai 1894 konnte leider nicht zu Untersuchungen benutzt werden, da Steinarbeiter in dem Wasser der Höhle ihre Eisen härteten. Doch versicherten die Leute, dass 8 Tage vorher noch Eis vorhanden gewesen sei. Die Temperaturverhältnisse des Eisloches und der Höhle in der Binge lassen sich aus folgender Zusammenstellung erkennen:

Zeit		Aussen-temperatur	Innen-temperatur	Wassertemperatur mit Eis	Wassertemperatur ohne Eis
Eisloch	24. Mai 1893	10,4°	1,7°	.	.
	16. Mai 1894	21,4°	3,4°	.	.
Eishöhle	24. Mai 1893	11,2°	6,6°	0,5°	2,0°

Die im vorhergehenden beschriebenen Höhlen und Löcher können nun nicht im geringsten Anspruch auf Grossartigkeit machen. Sie sind eben nur als Naturmerkwürdigkeiten erwähnenswert. Unser Sachsenland bietet aber doch eine Stelle, die zur Zeit ihrer grössten Prachtentfaltung den Besucher durch ihre schönen Eisbildungen in Erstaunen setzen dürfte, vorausgesetzt, dass er nicht durch die grossartigen Eishöhlen des Auslandes verwöhnt ist. Diese Stelle ist

Die Alte Thiele bei Buchholz.

Als Spuren eines früher ausgedehnten Bergbaues auf Zinnerz finden sich im Buchholzer Walde, der im Süden der Stadt Buchholz liegt, zahlreiche höhlenartige Weitungen im anstehenden Urgesteine, zu denen als die grösste die Alte Thiele gehört. Mitten im Nadelwalde — die Meereshöhe ist 650 m — befindet sich eine dolinenartige Einsenkung, die auf der einen Seite mit geringem Neigungswinkel einfällt, auf der anderen aber von steiler, etwa 5 m hoher Felswand begrenzt ist. Am Grunde dieser Senke gähnt einem die 2 m hohe und 5 m breite ovalförmige Öffnung der Höhlung entgegen, welche durch die kühle Luft, die ihr entströmt, dem Eintretenden die Kälte im Innern verrät. Unter dem Scheine mattleuchtender Kerzen geht es in nördlicher Richtung eine schiefe Ebene von 30° Neigung hinab. Ihre Mitte ist mit trügerischem Lehme bedeckt; denn unter seiner Hülle verbirgt sich oft das glatte Eis.* Die Länge der Ebene beträgt 17 m, und die anfangs niedrige Decke erhebt sich etwas, um sich sofort wieder bis zu 1,5 m Höhe zu senken. Von dieser Einengung ab vergrössert sich die Neigung der Ebene bis auf 45°; der Boden ist ganz und gar mit grossem Steingerölle bedeckt. Im Kerzenlichte sehen die Steine plötzlich ganz hellgrau aus, während im ersten Abschnitt eine dunklere Färbung vorherrschte. Ist man die Böschung 15 m hinabgestiegen, so kann man bequem auf horizontalem Boden gehen, nicht gestört durch das

* Vor dieser Stelle sei hiermit ausdrücklich gewarnt. Mein erster Führer, ein junger Buchholzer, stürzte beim Betreten der schiefen Ebene eine Strecke von 10 m hinab, glücklicherweise ohne Schaden an seinem Körper zu nehmen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Trümmergestein, das hier an der Seite aufgeschichtet ist. An dieser Stelle wendet sich die Streckenrichtung etwas nach Westen, und die Decke wölbt sich etwa 4 m über dem Boden. Geht man in diesem horizontalen Teile 15 m weit in das Innere der Alten Thiele, so schliessen sich von allen Seiten die Wände. Nur an einer Stelle durchbricht eine Öffnung die Felswand, durch die man, nach NO eine 2 m hohe Böschung hinansteigend, in eine kleinere Kammer gelangt. Sie ist rund, besitzt 4 m Durchmesser, eine Höhe von 4 — 5 m und hat zwei Ausgänge. Der eine, nur mit Leitern zu erreichen, führt in 4 m Höhe in südlicher Richtung in den Berg. Der andere wendet sich, steil aufsteigend und gefährdet durch lockeres Gestein, nach NW.

Bereits beim Eintritt in die Bingenöffnung bemerkt man, wie erwähnt, eine bedeutende Abkühlung der Luft. Aus der folgenden Zusammenstellung ersieht man, dass die Temperatur auch vom Eingange nach der Tiefe zu abnimmt. Diese Abnahme erleidet aber Störungen durch die Nähe des Eises, welches die Temperatur örtlich bedeutend herabdrückt. So wurde im Juni 1893 am oberen Ende der Eisfläche die Temperatur 0,6 ° ermittelt, während an Punkten, die ober- und unterhalb dieser Stelle liegen, höhere Temperaturen gefunden wurden. In der Nähe der Wand, vom Eis entfernt, nimmt dann die Temperatur wieder zu.

Am 10. Juni 1893	Stelle:	Aussen	Öffnung	6 m vom Eingange	20 m vom Eingange	35 m vom Eingange	47 m vom Eingange	Kleine Kammer
	Temp.:	16,8°	3,5°	0,6°	2,1°	0,9°	1,1°	0,9°

Ich begnügte mich mit dieser einen Messung, da ich durch ein Registrierthermometer den Gang der Höhlentemperatur für 5 Monate aufzeichnen liess. Schenken wir zunächst diesen Aufzeichnungen einige Augenblicke unsere Aufmerksamkeit.

Das erste, was uns beim Anblicke der Temperaturkurven auffällt, ist, dass die gestrichelte Linie, d. i. die Kurve der Höhlentemperatur einen viel einfacheren Verlauf hat als die der Aussentemperatur. Bei genauer Betrachtung findet man aber, dass auch die erstere gewissen Schwankungen unterworfen ist. Solche Stellen finden sich auf dem beigelegten Kurvenblatte für die Alte Thiele in der Zeit vom 3. bis 14. Januar, vom 24. bis 31. Januar, vom 13. bis 23. Februar und vom 17. März bis 2. April 1894. In diesen Zeitabschnitten erfolgt jedesmal eine Abkühlung der Höhlung, die aber nicht so weit herabgeht als die der äusseren Luft. Zu anderen Zeiten verläuft die Strichpunkt-Kurve sanft ansteigend, und die Temperatur in der Alten Thiele weist an einzelnen Stellen geringe Schwankungen auf: so in der Zeit vom 1. bis 12. Februar und vom 24. Februar bis 16. März 1894. Endlich giebt es auch Zeitabschnitte, in denen die Unterbrechungen fehlen und die Kurve der Höhlentemperatur von der geraden Linie fast nicht mehr zu unterscheiden ist. Dies gilt vor allem vom 12. April bis 4. Mai und vom 9. bis zum 17. Mai, wo das Thermometer aus der Höhle genommen wurde.

Bei den ersten Besuchen der Alten Thiele im Juni 1893 wurde von mir fast gar kein Luftzug verspürt; die Luft war im ersten Teile der Höhlung völlig unbeweglich Nur ein einziges Mal wurde am Ende der schiefen Ebene eine Luftbewegung nach innen festgestellt, und von der Nebenhöhle zeigte sich manchmal ein schwacher Luftzug aufwärts in das Berginnere. Viel ausgeprägter ihrer Richtung nach trat im Januar 1894 die Luftströmung auf. Damals wehte, am Ende der schiefen Ebene zuerst bemerkbar, die Luft stark nach innen, und diese Richtung wurde auch in der hinteren Kammer nicht geändert. Im Mai desselben Jahres wurde jedoch keine einheitliche Luftbewegung in der Höhle festgestellt. Aus der hinteren Kammer wehte, oft durch Pausen unterbrochen, ein Luft-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

strom nach aussen, der bisweilen die Flamme in wagerechte Richtung niederdrückte. Am unteren Ende der schiefen Ebene wurde aber ein zeitweise wehender Luftstrom in entgegengesetzter Richtung bemerkt, der auch in den oberen Teilen dieser Ebene am Boden beobachtet wurde, während an der Decke die Luft nach aussen strömte. Auf der horizontalen Strecke der Höhle kämpften beide Luftströmungen um die Herrschaft, so dass hier die Flamme der Kerze wechselnd ihre Spitze bald dem Eingange zu, bald nach dem Berginnern richtete.

Schon die anfangs erwähnte Farbe des Gesteins liess erkennen, dass nur im vordersten und hintersten Teile der Höhle Tropfwasser vorhanden war, das nicht allzu reichlich von der Decke herabkam. In dem dazwischen liegenden Teile, der zweiten Hälfte der schiefen Ebene und der wagerechten Strecke, herrschte vollkommene Trockenheit.

Der Verteilung des Tropfwassers in der Höhle entsprach auch das Auftreten des Eises. Am 10. Juni 1893 begann, unter lehmiger Erde verborgen, das Eis 6 m vom Eingang und zog sich 11 m weit abwärts die Böschung hinab. Seine Oberfläche war feucht, mit Einsenkungen versehen und zeigte sich, von unten gesehen, mattglänzend und wellig. Soweit es frei von Schmutz war, fand sich die netzartige Riefung der Oberfläche. Am 2. Januar und im März 1894 erstreckte sich das Eis bis dicht an den Eingang, und an dem ersteren Tage schmückten einige Eissäulen von geringer Höhe (20 cm) den Boden. Am 17. Mai 1894 war sämtliches Eis von der schiefen Ebene weggeschmolzen; nur bei der ersten Einengung der Höhle, am Anfange der Geröllhalde, hatte es sich zwischen den Steinen in geringer Menge erhalten. Von dieser Einengung abwärts bis zu der hinteren Kammer war an keinem der genannten Tage eine Spur von Eis zu finden. Erst an der Böschung, welche in die hintere Kammer führte, zeigte es sich wieder. Am 10. Juni 1893 war sie in 1 m Höhe und 0,7 m Breite vom Eise bedeckt, und in ihrer Nähe lagen abgestürzte Eiszapfen von ziemlicher Stärke. Diese Böschung war aber im Mai des folgenden Jahres nur wenig mit festem Wasser überzogen, das einige Stellen zwischen dem Gestein ausfüllte. Bei weitem am meisten überraschte mich beim ersten Besuche der Alten Thiele (Juni 1893) das Aussehen der hinteren Kammer selbst. Hier fiel aus der Öffnung an der südlichen Wand ein mächtiger Eisvorhang herab, der in einer Breite von 1 m bei 3,5 m Länge die Felswand bedeckte und am unteren Ende frei in einer Dicke von 15 cm herabhing. Das Eis war im oberen Teile milchig und wurde nach unten zu klarer. Seine Oberfläche war trocken und netzartig gerieft wie das übrige Eis. Nur zeichnete sich die Netzbildung durch auffällig verschiedene Grösse der Zellen (1 qmm bis 4 qdm) und durch eine ausserordentlich feine Parallel-Riefung der einzelnen Felder aus. Im Januar des folgenden Jahres war jedoch von dem schönen Eisvorhange nichts mehr zu sehen. Im März dieses Jahres fand ich die Wand wieder mit Eis bedeckt, und einige Eisstumpfe von geringer Höhe standen am Boden. Das Eis war bereits im Schmelzen begriffen, das Tropfwasser höhlte die Eissäulen aus, und im Mai 1894 war bis auf einen kleinen Überrest vom Vorhange so gut wie kein Eis vorhanden. Dieser kleine Überrest und einige Eisstücke, die in dem nordwestlichen Gange gefunden wurden, zeigten in sehr schöner Weise die wabenartige Beschaffenheit des Eises. Ausserdem wurde bei diesem Besuche das merkwürdige Bandeis beobachtet, das bei der Beschreibung des Garischen Stollens erwähnt wurde.

Im allgemeinen waren im Jahre 1894 die Eisbildungen sehr gering. Der Förster von Buchholz erzählte mir aber, dass er schon mannsstarke Eissäulen gesehen habe, und dass im Hochsommer einmal ein ganzes Fuder Eis aus der Höhle geschafft worden sei.

Die bisher erwähnten Eishöhlen haben, wie wir gesehen, zwar die Eigenschaft, bis in den Sommer hinein Eis aufzubewahren, aber das ganze Jahr hindurch dürfte es sich wohl nur in seltenen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fällen erhalten. Im folgenden soll nun noch eine Stelle besprochen werden, die sogar in dem für die Eisbildung ungünstigen Jahre 1894 im Spätsommer noch reichlich Eis und Schnee aufwies.

Die Schneebinge bei Platten.

In der Nähe der böhmischen Bergstadt Platten, einige Kilometer von Johanngeorgenstadt entfernt, liegt auf dem Plattenerberg in einer Meereshöhe von 1020 m eine Stelle, die früher Schauplatz eines regen Zinnbergbaues war. Ein mächtiger Einsturz, die sogenannte Wolfsbinge, deren nordwestliche Fortsetzung die sogenannte Schneebinge ist, giebt hiervon Zeugnis. Die letztere ist ein über 20 m tiefer, klaffender, etwa $^3/_4$ m breiter Spalt, der sich ungefähr 40 m weit von NNW nach SSO im anstehenden Granitgestein erstreckt. Steilabfallend führt zwischen Felsen ein Weg in die Tiefe, der erst 8 m von NO nach SW verläuft und dann 10 m weit die oben angegebene Richtung einschlägt. Nach Überwindung eines Absturzes von 3 m Tiefe gelangt man auf den schräg abwärts führenden Boden der Binge, der mit Steintrümmern bedeckt ist. Dieser bildet zwei durch Geröll voneinander getrennte Mulden, von denen die erste 20 m und die zweite 10 m Länge besitzt. Von letzterer geht dann ein steil aufwärts führender Gang in die obengenannte Wolfsbinge. Das Innere der Binge ist für die Aussenluft vollständig zugänglich; sogar die Sonne kann unmittelbar auf den Boden scheinen. Am 21. Juli 1894 wurde ein schwacher Luftzug bemerkt, der in der Hauptsache von N nach S durch den Spalt wehte. Die Luft selbst war in der Binge ausserordentlich kühl. Während im Walde 17° gemessen wurden, betrug die Temperatur in der zweiten Mulde 1,5 m über dem Boden nur 0,4°. Bei meinem Besuche begann der Firn kurz nach dem senkrechten Abfall und bedeckte den Boden der ersten Mulde. Zwei Löcher, auf deren Grunde Steine zu sehen waren, liessen die Tiefe des Firnes auf 1,5 m bis 3 m bestimmen. Nach diesen Schmelzlöchern zu schliessen, lag der Firn fest auf dem Boden auf und ertrug, ohne zu brechen, die Last des darüber schreitenden Mannes. Der Zugang zu der zweiten Mulde war durch Eismassen fast versperrt. Diese lagen in einer Stärke von 30 cm in Mannshöhe an der einen Wand, so dass nur ein Raum von 40 cm Breite zum Durchschlüpfen übrig blieb. Die zweite Mulde, tiefer als die erste, war in ihrem südlichen Teile mit Felsgestein überdeckt, das sich in dem Spalt eingeklemmt hatte. Während in dem anfangs besprochenen nördlichen Teile nur Firn den Boden bedeckte, waren im südlichen, höhlenartigen Teile die Wand und der in die Wolfsbinge führende Gang mit Eis überzogen. Auf dem Boden lagen Trümmer von Eiszapfen, die beim Darüberschreiten in lauter kleine Eisteilchen zerfielen und dann eine Masse bildeten, welche von grobem Firne wenig zu unterscheiden war. Das untere Ende des Ganges in die Wolfsbinge war mit einer Eisböschung von 1 m Höhe geschmückt, über der das Wandeis noch 2 m emporragte.

Jedes Eisstückchen zeichnete sich durch die Zellenbildung aus, die hier vorzüglich entwickelt war. Auch die früher erwähnte feine Schraffierung der einzelnen Felder zeigte sich deutlich.

Die Schneebinge ist schon lange wegen ihres Eisreichtums im Sommer bekannt. In eisarmen Zeiten wird Eis nach Karlsbad geführt; im Jahre 1863 soll sogar nach Leipzig zum deutschen Turnfest Eis aus der Binge versendet worden sein. Gegenwärtig ist sie an eine Bierbrauerei in Platten verpachtet.

Ursachen der Eisbildung.

Die Frage nach dem Entstehen des Eises in den Eishöhlen hat zwar schon einige Jahrhunderte die Naturforscher beschäftigt, aber erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts und vor

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

allem durch die systematischen Untersuchungen in der jüngsten Zeit ist einige Klarheit über den viel umstrittenen Gegenstand erreicht worden. In dieser Hinsicht sind besonders die Untersuchungen von Trouillet und Girardot in der Höhle la Baume bei Besançon (1884), die Beobachtungen Listoffs in den Eiskellerhöhlen von Illetzk (1880—1881), die Aufzeichnungen Fuggers über die Eishöhlen des Untersbergs (1888) und die „Etudes sur les glacières naturelles" von Thury (1861) zu erwähnen, während für die geographische Verteilung dieser Naturerscheinung die Arbeiten von Browne (1861), Schwalbe (1887) und Fugger (1891—1892) massgebend sind.

Die im vorhergehenden aufgezeichneten Beobachtungen geben einen weiteren Beitrag zur geographischen Verbreitung der Eishöhlen. Sie bestätigen ferner in jeder Hinsicht die von den genannten Forschern ausgesprochene Ansicht über das Entstehen des Eises, welche der Vollständigkeit wegen in folgendem kurz beschrieben werden möge.

Man versteht unter Eishöhlen natürliche oder künstliche Hohlräume im Felsgesteine, welche das ganze Jahr hindurch oder wenigstens während eines grösseren Teiles desselben Eis enthalten, das sich in ihnen selbst gebildet hat.

Die angeführten Untersuchungen haben ergeben, dass man sämtliche bisher bekannte Eishöhlen in zwei voneinander verschiedene Gruppen teilen kann. Man unterscheidet nämlich nach Thury „statische" und „dynamische", oder nach Fugger „eigentliche Eishöhlen" und „Windröhren" mit auftretendem Eise. Die statischen zeichnen sich dadurch aus, dass in ihnen während der warmen Jahreszeit kein Luftzug verspürt wird, während die dynamischen gerade durch die in ihnen herrschenden Winde gekennzeichnet sind. Bei der ersten Gattung ist gestaltlich von Bedeutung, dass die Höhlen am unteren Ende abgeschlossen sind, weshalb man sie Sackhöhlen nennt (Stülpnerhöhle), während bei der zweiten ein Spaltensystem, das vom Hintergrunde der Höhle aus den Berg durchzieht, eine unterirdische Verbindung derselben mit höher gelegenen Stellen ermöglicht (Garischer Stollen). Bei den statischen erfolgt die Eisbildung an einer Stelle, die tiefer liegt als der Eingang, bei den dynamischen ist der eisführende Ort an das untere Ende der Windröhre gebunden. Bei beiden Gattungen müssen wir aber den Begriff Höhle erweitern und zu den eigentlichen Eishöhlen auch Eisgruben, Eisbingen, Eisschächte, Eisbrunnen u. a. m. rechnen, während bei den Windröhren die eisführenden Schutthalden mit berücksichtigt werden müssen. Die Natur lässt sich aber nicht in ein Schema zwängen und weist auch Übergänge zwischen eigentlichen Eishöhlen und Windröhren auf. Ein Beispiel dieser Art bietet die Alte Thiele. Die ganze Anlage der Höhle weist sie zur Art der Sackhöhlen hin. Durch die hintere Kammer wird aber die Verbindung mit anderen Gängen hergestellt und die Alte Thiele somit zu einer Art Windröhre gemacht. Die Böschung, von welcher man auf die Sohle der Höhle gelangt, spielt endlich die Rolle einer Schutthalde, die selbständige Luftströmungen hervorbringen kann.

Bei der Betrachtung der geographischen Verbreitung unserer Naturerscheinung fällt zunächst auf, dass fast alle bisher bekannten Eishöhlen in der nördlich-gemässigten Zone ungefähr zwischen 40° und 60° liegen. Die wenigen Ausnahmen (Eishöhlen von Yeermalik, 35° nördlicher Breite, und auf Teneriffa, 28° nördlicher Breite, 3267 m Meereshöhe) sind so hoch gelegen, dass auch hier wie in den übrigen Eishöhlen im Winter eine Abkühlung unter Null eintritt. Im allgemeinen sind die Eishöhlen weder an das Hochgebirge gebunden, noch ist die Grösse der jährlichen Regenmenge von wesentlichem Einfluss, wohl ist aber die Möglichkeit des Schneefalles bei allen vorhanden. Die untere Grenze desselben liegt nämlich auf Teneriffa in 1300 m Höhe. In Südeuropa ist die Grenze des Winterschneefalles in Meereshöhe ungefähr der 36. Breitengrad und in Ostasien der Wendekreis.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Das Gestein der eigentlichen Eishöhlen ist meistens Kalk und Gips; doch kommen sie auch im Basalt und Obsidian und, wie die Beschreibung im Anfange zeigt, auch im Gneiss und Granit vor, sobald durch bergmännische Baue die nötigen Weitungen in diesen Gesteinen geschaffen sind.

Die Windröhren treten oft im Basalt und Porphyr, ferner im Gneis, Kalk, Gips und Sandstein auf.

Schon die klimatologischen und meteorologischen Eigentümlichkeiten der Eishöhlengegenden allein berechtigen uns, einer Ansicht beizustimmen, die sich im Kampfe mit anderen wohl jetzt zur herrschenden emporgeschwungen hat. Sie besagt, dass der Kältevorrat, welcher die Eisbildung ermöglicht, nur durch die natürlichen klimatologischen Verhältnisse der Örtlichkeit bedingt ist. Diese einfachste Erklärung der behandelten merkwürdigen Erscheinungen verdient auch deshalb näher betrachtet zu werden, weil sie die einzige ist, die ihre Stützpunkte in wirklich systematischen und Monate und Jahre hindurch fortgesetzten Untersuchungen von Eishöhlen findet. Die anderen Erklärungsversuche fussen auf der falschen Ansicht der Landbevölkerung, dass es im Winter in den Eishöhlen wärmer sei als im Sommer (Kältewellentheorie von Murchison, Hope und Herschel). Hieraus entstand dann die Anschauung, dass das Eis sich im Sommer bilde, was Pictet für die Sackhöhlen mit Hilfe der Verdunstungskälte zu erklären suchte. Sodann gründen sich jene Theorien auf Ergebnisse von Versuchen in Laboratorien, denen die Thatsachen, die in den Höhlen selbst beobachtet wurden, entgegentreten. Hierher gehören die Kältemischungstheorie von Billerez (1711) und Cossigny (1743) und die Ansicht Schwalbes, dass der Kältevorrat vom Durchsickern des Wassers durch das poröse Gestein hervorgebracht werde.

Um den Einfluss der klimatischen Verhältnisse auf die Temperatur festzustellen, müssen wir den bereits hervorgehobenen Unterschied zwischen Sackhöhlen und Windröhren aufrecht erhalten. Wenden wir zunächst unsere Aufmerksamkeit den ersteren zu.

Die Sackhöhlen zeichnen sich, wie erwähnt, dadurch aus, dass ihr Boden sich vom Eingang oder dicht hinter ihm nach der Tiefe zu senkt. Nehmen wir nun an, dass sich die Luft vor der Höhle unter die Innentemperatur abkühlt, so wird vermöge ihrer grösseren Dichte die kältere Luft in die Höhle einsinken und die wärmere verdrängen. Hierdurch entsteht ein Luftzug, der am Boden der Höhle einwärts weht. Ein solcher wurde am 24. März 1894 in der Ritter- und Stülpnerhöhle, ferner am 2. Januar 1894 in der Alten Thiele beobachtet.

Da die kalte Luft aber vermöge der Abgeschlossenheit der Sackhöhle am unteren Ende nicht entweichen kann, so bleibt sie in der Höhle liegen und bewirkt deren Abkühlung. Dieses Einsinken der kalten Luft, das jedesmal eine Temperaturerniedrigung der Höhlenluft hervorbringt, lässt sich sehr gut auf der Temperaturtafel I für die Alte Thiele beobachten. Sobald nämlich die Linie, welche den Verlauf der Aussentemperatur angiebt, sich unter die Kurve der Höhlentemperatur bewegt, folgt ihr die letztere nach unten, wenn auch in viel geringerem Masse. Die Abkühlung ist in der Tafel I deutlich in der Zeit vom 3. bis 14. und vom 24. bis 30. Januar, am 9. Februar, vom 13. bis 23. Februar, vom 17. bis 21. März, am 2. April und am 6. Mai zu bemerken. Die Erneuerung des Kältevorrates erfolgt also auch noch im Frühlinge. In diesen nach Trouillet „offenen Perioden“ ist die Höhlenluft ihrem Wärmegrade nach von der Aussenluft abhängig.

Die Dämpfung in der Erniedrigung der Innentemperatur erfolgt teils durch die Erdwärme, die immer bestrebt ist, die Luft in der Höhle zu erwärmen, teils durch die Wärme, welche beim Gefrieren des Wassers erzeugt wird. Sobald also die Abkühlung von aussen fehlt, erwärmt sich die Höhlenluft, und die Kurve der Innentemperatur beginnt zu steigen. Dieses Steigen geschieht aber immer langsam; denn die Erdwärme vermag nur allmählich die kalte Luft zu erwärmen, und die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wärmere Aussenluft hat vermöge ihres kleineren specifischen Gewichtes und ihrer geringen Fähigkeit die Wärme fortzupflanzen, keinen Einfluss auf die Innenluft. Während dieser Perioden, die man nach Trouillet die „geschlossenen“ nennt, nimmt die Kurve der Höhlentemperatur einen fast geradlinigen Verlauf an. Dies ist auf der Tafel I sehr gut zu sehen in den Zeitabschnitten vom 15. bis 23. Januar, vom 2. bis 16. März und vom 12. April bis zum 17. Mai. Die Innentemperatur hält sich schliesslich lange Zeit in der Nähe des Nullpunktes; denn das in der Höhle enthaltene Eis sorgt beim allmählichen Schmelzen immer wieder für Abkühlung auf 0°. Als Beispiel hierfür diene die niedrige Temperatur von 0,4° in der Eisbinge bei Platten am 21. Juli 1894. Ist dann das letzte Eis verschwunden, so erhebt sich auch die Innentemperatur sehr rasch auf höhere Grade. So erhöhte sich z. B. in der Stülpnerhöhle die Temperatur vom 24. März bis zum 16. Mai 1894 von 0,8° auf 4,5°.

Dass die Verdunstungskälte auch mit zur Abkühlung der Höhle beitragen kann, wird nicht geleugnet werden. Die hygrometrischen Messungen verschiedener Forscher haben gezeigt, dass die Höhlenluft mit Feuchtigkeit fast gesättigt ist. Dies ist auch aus folgenden Beobachtungen zu erkennen:

		Temperatur gemessen mit trockenem Thermometer	Temperatur gemessen mit feuchtem Thermometer
Garischer Stollen am 24. Mai 1893	alte Strecke	7,9°	7,8°
	neue Strecke	6,3°	6,1°
Alte Thiele am 10. Juni 1893	am Ende der schiefen Ebene . .	0,9°	0,9°
	am Ende der horizontalen Strecke	0,9°	0,9°
	in der hinteren Kammer . . .	1,1°	1,0°

Da die Temperaturen am feuchten und am trockenen Thermometer ziemlich oder vollständig übereinstimmen, so ist für die erwähnten Orte die obige Angabe bewiesen, die man wohl ohne Zweifel auf alle Höhlen ausdehnen kann, in denen Wasser auftritt. Die vom Wasserdampf gesättigte Luft lässt auf eine immerwährende Verdunstung schliessen. Der Wasserdampf verteilt sich durch Diffusion über den ganzen Höhlenraum und tritt, falls die äussere Luft trockner ist, in diese über. Hierdurch kann immer mehr Eis und Wasser verdunsten, und es tritt den erwärmenden Elementen ein abkühlendes entgegen. Dringen nun trockene Winde in die Höhle, so muss die Verdunstung sehr lebhaft und folglich die Abkühlung besonders stark werden. Durch diesen Umstand allein lässt sich die merkwürdig niedrige Temperatur +6,3° in der neuen Strecke des Garischen Stollens im Gegensatze zu der Temperatur von + 7,9° in der alten Strecke erklären. Der heftige Luftzug in der letzteren riss durch seine Saugwirkung die feuchte Luft des neuen Stollens mit fort, so dass hier eine starke Verdunstung eintreten musste. Diese zeigt sich auch dadurch, dass trotz des reichlich vorhandenen Wassers das feuchte Thermometer 0,2° weniger angiebt als das trockene.

Wir sind damit bereits zu der zweiten Gattung der Eishöhlen gekommen, bei denen die Verdunstungskälte eine grössere Rolle spielt als bei der ersten — zu den Windröhren.

Als Typus einer solchen, deren obere Mündung zunächst aber noch unbekannt ist, kann die früher besprochene alte Strecke des Garischen Stollens angesehen werden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Auf die Hauptunterschiede zwischen den Sackhöhlen und den Windröhren ist bereits am Anfange dieses Abschnittes hingewiesen worden. Vor allem wurde dabei die Thatsache erwähnt, dass es in den Sackhöhlen im Sommer vollkommen windstill ist, während in den Windröhren lebhafter Luftzug herrscht. Die Art der Luftbewegung lässt sich nun leicht aus der Beschreibung des Garischen Stollens ersehen, und es ist nicht schwer sie zu erklären.

An den beiden Tagen (24. Mai 1893 und 16. Mai 1894), wo die Aussentemperatur bedeutend höher war als die des alten Stollens, wurde auswärts wehender Wind beobachtet. Zur Zeit, als die Luftströmung schwankte, stimmten Aussen- und Innentemperatur fast überein. War dagegen die Aussentemperatur niedriger als die des Stollens, so strömte die Luft in ihn hinein.

Schon diese Thatsachen würden hinreichen, die Anschauung zu stützen, die man sich über die Windröhren gebildet hat. Es liegen aber ausgedehnte Beobachtungen vor, welche die Richtigkeit der nachstehenden Erklärung beweisen. Unter den Untersuchungen von Windröhren sind die Aufzeichnungen Fuggers über das Nixloch am Untersberge bei Salzburg und vor allem die Messungen Listoffs in den Eiskellerhöhlen von Illetzk zu erwähnen. Diesen Messungen sind auch die Angaben entnommen, die zur Aufzeichnung der zweiten Temperaturtafel dienten.

Die eisbildende Stelle einer jeden Windröhre liegt am Abhang eines Berges und ist mit höher gelegenen Teilen desselben durch Risse, Spalten, Kanäle u. s. w. verbunden. Es bestehen somit zwei voneinander getrennte Luftsäulen von gleicher Höhe, von denen die eine innerhalb des Berges liegt, während die andere der freien Atmosphäre angehört. Diese suchen sich nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhren das Gleichgewicht zu halten, was sofort eine Luftströmung hervorruft, sobald in beiden ein Temperaturunterschied vorhanden ist. Ist z. B. die innere Luft wärmer, also leichter als die Aussenluft (auf Tafel II von Ende November bis Mitte Februar), so strömt erstere in den Luftkanälen des Berges aufwärts und letztere in die Höhle hinein. Im anderen Falle tritt die entgegengesetzte Strömung nach aussen ein, die meist im Sommer zu beobachten ist (April und September auf Tafel II). Der Umschlag aus der einen Windrichtung in die andere zeigt sich dadurch, dass der Luftzug in der Höhle seiner Richtung nach schwankt oder die Luft selbst ruhig bleibt (Oktober, November, März auf Tafel II). Durch diese Strömungen wird im Winter das Berginnere abgekühlt, im Sommer dagegen allmählich erwärmt. Jede Jahreszeit sorgt also dafür, dass in der folgenden günstige Bedingungen für die Luftströmungen vorhanden sind. Dies ist umsomehr der Fall, je grösser die Temperaturunterschiede im Jahre sind.

Die Wirkung der abwärts wehenden, erwärmenden Winde wird aber sehr gemindert durch die Verdunstung, welche sie im Innern des Berges hervorrufen. Wenn daher die Aussenluft sehr trocken ist, so kann der Fall eintreten, dass die aus dem Berginnern in die Höhle wehende Luft, wenn ihre Temperatur sonst nicht sehr hoch ist, unter 0° abgekühlt wird. Dadurch kann selbst im Sommer eine Eisbildung hervorgerufen werden.

Gerade der Garische Stollen ist ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, dass nur die Luftströmung die Abkühlung und dadurch die Erhaltung des Eises bewirkt. Im neuen Stollen, der nicht der Luftströmung ausgesetzt ist, war die Temperatur im Januar 1894 bedeutend höher als im alten. Sie stieg im März desselben Jahres bereits auf 4,6°, während im alten die Luft immer noch auf 2,1° abgekühlt war. Im Mai besassen dann beide Strecken den gleichen Wärmegrad. Es erwärmte sich somit der alte Stollen ganz allmählich, während der neue viel schneller warm wurde.

Die früher erwähnte merkwürdige Luftströmung in der Alten Thiele ist so zu erklären, dass sich in der Höhle an zwei Stellen, die höher als der Boden liegen, Eis befand. Die eine war die Strecke, welche von der hinteren Kammer in das Berginnere führt, die andere die Mitte der schiefen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ebene des Einganges. Es strömte somit von zwei Seiten kalte Luft nach der horizontalen Strecke und ersetzte die dort erwärmte Luft durch kältere; hierdurch entstand die erwähnte wechselnde Luftströmung.

Stoff und Zeit der Eisbildung.

Der zur Eisbildung nötige Stoff, das Wasser, wird in den meisten Eishöhlen direkt durch die atmosphärischen Niederschläge geliefert. In einzelnen Fällen, wie in den eisführenden Brunnen Nordamerikas und den Eisquellen Ostsibiriens, spenden Quellen das Wasser. Beim Garischen Stollen ist es hauptsächlich der über ihm dahinfliessende Röhrgraben, welcher das Material zur Eisbildung hergiebt. Vermöge der klimatischen Lage der Eishöhlenorte können bei ihnen alle Arten von atmosphärischen Niederschlägen vorkommen. Diese dringen entweder geradewegs durch den Eingang und sonstige Öffnungen in die Höhle ein, oder das Wasser gelangt allmählich durch das Felsgestein in dieselbe. Von besonderem Interesse ist von den Arten des Materials das Tropfwasser, welches die den Eishöhlen eigentümlichen Gebilde (die Stalaktiten und Stalagmiten) hervorbringt. Es sickert durch die feinen Risse, fliesst durch die Spalten des Gesteins und nimmt so allmählich dessen Temperatur an. Bei reichlichem Tropfenfalle wird dies nicht so leicht geschehen wie bei mässigem. Einige von Fugger im Jahre 1876 in der Kolowratshöhle ausgeführte Messungen erläutern dies sehr gut:

Monat	Tropfwasser-temperatur	Tropfenfall
Mai	1,88°	reichlich
Juni	1,9°	reichlich
Juli	0,8°	spärlich
August . . .	0,5°	sehr spärlich
September .	1,1°	ziemlich reichlich
Oktober . . .	1,0°	ziemlich reichlich
November .	0,5°	spärlich

Obgleich nun die Ansicht Schwalbes, dass allein das Sickern des Wassers durch den Fels eine Abkühlung hervorruft, experimentell (durch Meissner*) und durch die Beobachtungen in den Höhlen widerlegt worden ist, so ist es doch nach Mousson** und Dufour*** möglich, dass das Wasser in den Kanälen des von der Höhle aus abgekühlten Gesteins überkältet werden kann. Diese Forscher haben nämlich nachgewiesen, dass Wasser in engen Glasröhren eine um so niedrigere Temperatur ertragen kann, ohne zu gefrieren, je kleiner ihr Durchmesser ist. Das überkältete Wasser gefriert rasch nach seinem Austritt aus dem Gestein und kann so zur Entstehung des sogenannten Deckeneises beitragen.

Die Haupteisbildung tritt ein, wenn der im Winter aufgespeicherte Schnee schmilzt. Zu dieser Zeit, d. h. im Frühling, ist auch, wie wir sahen, die Temperatur der Höhlen durch die eingedrungene Winterkälte so niedrig, dass eine reichliche Eisbildung möglich ist. Es treffen so Ursache und Stoff der Eisbildung in der denkbar günstigsten Weise zusammen.

* Wied. Ann. 29, 1886, S. 114.
** Pogg. Ann. 105, S. 161.
*** Pogg. Ann. 114, S. 530.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wenn auch in betreff der Zeit der Eisentstehung eine gewisse Regelmässigkeit herrscht, so kann man dasselbe von der Menge des gebildeten Eises nicht behaupten. Es kommt dies daher, dass der Vorgang der Eisbildung von zwei Faktoren abhängt, deren Zusammentreffen von dem grössten Einfluss ist. So war das Jahr 1894 äusserst ungünstig zur Eisbildung. Erstens fehlte die andauernde Kälte des Winters, und dann war nicht genügend Schnee vorhanden, um im zeitigen Frühjahre reichliches Tropfwasser zu liefern. Auch blieben in diesem Jahre die Fröste des Frühjahres aus, die für die Eisbildung ungemein wichtig sind.

Im Herbste kann die Eisbildung auch bedeutend sein, wenn die Niederschläge zugleich mit der Kälte eintreten. Solche Verhältnisse kommen z. B. an der Ostküste des adriatischen Meeres vor, wo Ende September und Anfang Oktober ausgiebiger Regen mit der kalten Bora auftritt. Die Sommerregen wirken nur zerstörend auf das Eis ein. Durch sie wird der Höhle ein Wärmevorrat zugeführt, der im stande ist, in kurzer Zeit die Gebilde zu vernichten, die der Frühling aufgebaut hatte. Für kleinere Eishöhlen ist auch schon reichlicher Regen im späten Frühjahre schädlich. So schmelzten im Jahre 1894 die starken Niederschläge im Frühlinge sehr zeitig das wenige in den sächsischen Höhlen gebildete Eis.

Im Winter ist im allgemeinen die Eisbildung gering. Es fehlt da an dem Stoffe. Diesen können nur vorübergehende Schneeschmelzen und vereinzelte Regenfälle liefern, die allerdings selbst in Höhen von 1800 m im Winter nie ganz ausbleiben. Im Garischen Stollen bildet sich aber gerade im Winter viel Eis, weil hier der überdeckte, sehr schwer zufrierende Röhrgraben den ganzen Winter hindurch Wasser liefert.

Eishöhlengebilde.

Je nach der Art, wie der eisbildende Stoff in die Höhle gelangt, haben wir verschiedene Arten von Höhleneis zu unterscheiden. Wir wollen sie im folgenden einzeln näher betrachten.

1. Firnhalde.

Die meisten Höhlen gestatten den atmosphärischen Niederschlägen direktes Eindringen durch den Höhleneingang. Vor allem wird dies bei den Höhlen in hervorragendem Masse der Fall sein, die sofort hinter dem Eingange steil abfallen. Es häuft sich dann an dieser geneigten Ebene, in der Regel einer Schutthalde, eine Schneeschicht an, die in vielen Fällen einen grossen Teil des Jahres, ja selbst das ganze Jahr hindurch liegen bleibt. Je nach dem Untergrund ist diese Firnhalde verschieden geneigt und besitzt verschiedene Ausdehnung. In der Kolowratshöhle wurde ihre Länge im Mai 1876 auf 45 m bestimmt, während sie im Mai 1880 57 m mass. Im Frühjahre besitzt diese Firnhalde ihre grösste Ausdehnung; später weicht sie am oberen und unteren Ende zurück. Ebenfalls eine mächtige Firnhalde besitzt die Schellenberger Eisgrotte am Untersberg, in der sie sich am unteren Ende fächerförmig mit einem Umfange von 64 m ausbreitet. Die Neigung dieser Firnflecke ist in der Regel geringer als 40°, in der Kolowratshöhle und im Eiskeller auf der Raxalpe wurde sie aber auf 45° bestimmt. Auch bei den oben betrachteten Eishöhlen finden sich Firnflecke am Eingange. Am längsten kann sich der Firn am Eingange der Ritterhöhle halten, weil er durch die Enge und Tiefe desselben am meisten geschützt ist.

An seinem unteren Ende geht der Firn meist allmählich in eine horizontale Eisfläche, das sogenannte Bodeneis, und an der Seite in Wandeis über. Es kann aber auch vorkommen, dass sein unteres Ende schroff abfällt. Im ersten Fall erfolgt dieser Übergang in der Regel nicht nur der Neigung nach, sondern auch stofflich vollkommen stetig. So liess sich in der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ritterhöhle nirgends eine Trennungslinie zwischen dem Firn und dem Wandeis angeben. Dieses, oben ganz klar wie gewöhnliches Wassereis, wurde nach unten zu trübe und schliesslich ganz weiss, so dass es von dem Firne, der sich unmittelbar daran anschloss, nicht zu unterscheiden war. Auch bezüglich der Härtegrade war derselbe allmähliche Übergang zu beobachten. Einen schroffen, 2 m tiefen Abfall der Firnhalde nach dem Bodeneise beobachtete Fugger im grossen Eiskeller auf dem Untersberg im Mai 1879. Die innere Beschaffenheit einer solchen Firnhalde konnte man in der Kolowratshöhle untersuchen, als sie durch Arbeiten in der Höhle vollständig zerstört wurde. Man fand einen Eisklumpen von 8 m Länge, 6 m Breite und 1 bis 2 m Dicke, dessen Eis ausserordentlich hart und sogar teilweise durchsichtig war. Bei den Untersuchungen der auf Seite 3 bis 11 besprochenen Eishöhlen ist Eis unter dem Firne mehrmals beobachtet worden. Im Mai 1894 fand ich es in der Ritterhöhle ganz hart und glattspringend, nur vollständig undurchsichtig. Anderseits war das Eis, das in demselben Monate des Vorjahres vor dem Eingange der Stülpnerhöhle bemerkt wurde, offenbar der Rest der Firnhalde, ganz weich, so dass man es sehr bequem schneiden konnte. Eis dieser Art, das seinen Ursprung aus dem Firne deutlich anzeigte, wurde ferner in der Binge bei Platten und in den Eislöchern von Kamaik bei Leitmeritz in Böhmen gefunden. Auch konnte ich es am 11. Juni 1893 am westlichen Gehänge des Zechengrundes am Fichtelberge beobachten.

Wenn der zuletzt genannte Fundort auch nicht den Eishöhlen angehört, so sind die Verhältnisse, unter denen der Firn steht, doch in beiden Fällen ähnlich, und seine Beschaffenheit war besonders im letzteren Falle gut zu beobachten. An dem genannten Tage lag nach Osten zu frei ein 100 m langer und an seiner breitesten Stelle 10 m breiter Firnstreifen von 2 m Höhe. Die untere Schicht dieses Firnes, die sich pflugartig vorn abschrägte, war in einer Stärke von 1 dm vollständig vereist. Ganz allmählich wurde die Firnmasse von oben nach unten fester, wasserreicher und dunkler bis zu einer Schicht, die ganz dunkelgrau und so hart war, dass man sie nur mit dem Hammer abtrennen konnte. Der Firn, der sich anfangs leicht entfernen liess, wurde immer zusammenhängender; bei einer Stärke von 1 cm konnte man nur schwer die oberen Schichten des Firneises mit dem Messer abkratzen. Zuletzt blieb eine $^3/_4$ cm starke Eisplatte, die nur dadurch von anderem Eise zu unterscheiden war, dass in ihr Luftblasen von 0,5 mm Durchmesser unregelmässig verteilt waren. Die von Luft freien Stellen waren vollkommen durchsichtig; beim Zerbrechen zeigte die Bruchstelle ein körniges Aussehen.

In den Eislöchern bei Kamaik, die am 22. März 1894 mit Schnee gefüllt waren, trat derselbe Übergang auf. Das Eis gab unter dem Polarisationsinstrumente verworrene Bilder, zeigte aber auf seiner Unterseite die netzartige Struktur, die in diesem Falle dem Aussehen von Fleischbrühe mit kleinen Fettaugen glich. In der Binge bei Platten zeichnete sich das Firneis durch seine vollkommene Undurchsichtigkeit und durch eine ganz feine Körnung der Oberfläche aus.

Das oft unter dem Firnflecke vorhandene Gerölle spielt jedenfalls eine grosse Rolle bei der Erhaltung des Firnes in der Höhle. Ausser der kalten Winterluft, die ihn von oben abkühlt, wirkt auch von unten auf ihn eine Kältequelle, welche durch die Verdunstung des im Schutte zirkulierenden Wassers hervorgebracht wird.

Von den Firnhalden sind die Firnkegel zu unterscheiden, die sich oft mitten in der Höhle bilden. Diese sind aber nur in den sogenannten Schlothöhlen (z. B. Eishöhle von Grand Anu in Savoyen) möglich, bei denen eine Öffnung in der Decke das Eindringen des Schnees in die Höhle gestattet. Unter dieser Öffnung häuft sich der Schnee kegelförmig an, verwandelt sich allmählich in Firn und geht dann am unteren Ende in Bodeneis über.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

2. Tropfeis.

Eine weitere wesentliche Ursache der Eisbildung in den Höhlen liegt, wie erwähnt, in dem Wasser, das die Spalten und Klüfte des Felsgesteins durchdringt und als Tropfwasser in die Höhle gelangt. Dieses bildet die wunderbaren Formen, deren Schönheit zu beschreiben die Höhlenschilderer nicht genug Worte finden können. Die Phantasie regt frei ihre Schwingen, und die menschliche Einbildungskraft dichtet den stummen Zeugen der herrlich bildenden Naturkraft alle nur denkbaren Formen an. Doch den Forscher darf das Spiel der Natur nicht blenden. Sein Blick ist auf das Gesetzmässige der Erscheinung gerichtet, und seine Aufgabe ist, diese Gesetzmässigkeit zu erklären.

Was im allgemeinen über die Zeit der Eisbildung gesagt wurde, wird in besonders äusserlich auffallender Weise durch das Tropfeis zur Anschauung gebracht. Bereits im Spätherbst entstehen diese Gebilde und wachsen im Winter langsam fort. Im Frühlinge schiessen sie aber förmlich hervor und geben der Höhle ihre ganze Pracht. Doch bald nehmen sie an Umfang und Schönheit ab und zeigen im Herbste nur noch die Trümmer der vergangenen Herrlichkeit, um bald darauf wieder aufs neue zu entstehen.

Wie die Stelle in den Eishöhlen, an welcher die Decke durch einen Schlot durchbrochen ist, sich durch einen Firnkegel auszeichnet, so treten an den Orten, wo Risse und Spalten das Gestein an der Decke durchsetzen, oder wo hervorspringende Punkte eine Wasseransammlung gestatten, die Tropfeisbildungen auf. Die Unveränderlichkeit der Stelle der Wasserzufuhr ist die Ursache der Unveränderlichkeit des Ortes jener Gebilde, die ja auch bei den verhältnismässig unbedeutenden Eisformationen der beschriebenen Höhlen zu Tage tritt. Diese Eigenschaft ist allen Tropfeisbildungen gemein, aber nicht alle weisen eine gleiche Unveränderlichkeit der Gestalt auf. Ausgezeichnet durch den grossen Wechsel, dem ihre Form im Laufe der Zeit unterworfen ist, sind in erster Linie die Eisfiguren, die an Stellen mit reichlichem Tropfenfall entstehen. Sie wachsen mächtig an, wenn die Kälte gross genug ist, die Menge des Wassers zum Erstarren zu bringen. Derselbe Überschuss vernichtet sie aber wieder, wenn die Kältequelle versiegt. Dies konnte man deutlich im Garischen Stollen bemerken, wo im Januar 1894 zahlreiche Tropfeisbildungen vorhanden waren, während sich bereits im März so gut wie nichts mehr von ihnen zeigte. Erfolgt der Wasserzufluss spärlich, aber stetig und gleichmässig, so werden die Gebilde nicht so rasch anwachsen. In warmen Zeiten besitzt jedoch dann das Wasser auch keine so zerstörende Kraft. Wegen der geringen Veränderlichkeit ihrer Gestalt werden diese Gebilde von der Landbevölkerung häufig mit Namen versehen (wie Kirche, Altar und Königin in der Höhle von Skerizora und die Laube in der Höhle von Dobschau in Ungarn). Solche Eisbildungen giebt es allerdings in den von mir beschriebenen Höhlen nicht.

Da die kalte Luft das Bestreben hat, zu Boden zu sinken und dort zu verweilen, so lange nicht noch kältere Luft sie zwingt emporzusteigen, so wird in den Höhlen vor allem die Eisfigur begünstigt sein, die vom Boden aufsteigt, das Standeis (Eis-Stalagmit). Dieses wird sich am besten entwickeln, wenn die Temperatur der oberen Luftschichten noch nicht unter den Gefrierpunkt erniedrigt ist, während dies bei den unteren bereits geschah. Ist der Wärmegrad der Höhle aber so tief gesunken, dass auch die höchsten Punkte unter 0^0 abgekühlt sind, so gefriert das Wasser von der Decke herab. Können sich die Wassertropfen vermöge der Beschaffenheit der Decke nicht an einzelnen Punkten derselben sammeln, so wird sie mit einer Eisschicht überzogen. Dies wird auch dann geschehen, wenn bereits überkältetes Wasser aus den Felssprüngen tritt. Im anderen Falle fliesst Tropfen auf Tropfen nach der betreffenden Sammelstelle, und durch Anfrieren wächst das Hangeis (Stalaktit) von oben nach unten. Ist bei anhaltender Kälte der Wasserzufluss reichlich genug, so können sich Hangeis und Standeis zur Eissäule vereinigen, die dann als prachtvoller

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Zierat die Höhle schmückt. Aus den Bedingungen zur Eisbildung an der Decke geht hervor, dass Hangeis in niedrigen Höhlen leichter entstehen kann als in hohen Gewölben, die sich in ihren oberen Teilen nur schwer abkühlen lassen. Ausser im Garischen Stollen und im Eisloch in der Binge bei Platten wurde demnach auch in keiner der beschriebenen Höhlen ein eigentlicher Hangeiszapfen gefunden. Ferner folgt aus dem Gesagten, dass die Hangeisbildungen die ersten Opfer der das Eis zerstörenden Jahreszeit werden müssen. Das von oben eindringende warme Wasser schmelzt die Eisschicht, die an der Decke haftet, und löst so das Bindemittel, welches den schweren Zapfen in seiner Lage erhält. Er stürzt zu Boden, bevor er selbst abgeschmolzen ist, so dass vor Ende Herbst die Mehrzahl dieser Gebilde aus der Höhle verschwunden ist. In unseren Höhlen, die das Eis nicht so lange bewahren, findet man schon im März den Boden mit Trümmern abgestürzter Eiszapfen bedeckt. Das Schmelzwasser kann aber auch, ehe es den Stalaktiten abstürzen lässt, in besonderer Weise auf ihn wirken. Hangeis bildet sich, wie erwähnt, mit Vorliebe an solchen Punkten, wo Tropfwasser an der Decke zusammenfliesst, also an hervorragenden Stellen des Gesteines, zuweilen sogar im Anschluss an Tropfsteingebilde. Der betreffende Sammelpunkt bildet dann die Mitte der Grundfläche, von der aus der Zapfen sich nach Dicke und Länge vergrössert. Durchdringt nun warmes Wasser das Gestein, so hat es naturgemäss das Bestreben, sich an demselben Punkte zu sammeln, und die Stelle, von der aus die Hangeisbildung begann, wird nun Angriffspunkt der Zerstörung. So entsteht im Innern des Zapfens eine Höhlung, die sich durch Ausschmelzen nach unten immer mehr vergrössert. Da das spezifische Gewicht des Wassers bei 7° immer noch grösser als bei 0° ist, so wird vermöge seiner Schwere das zusammenfliessende warme Wasser immer nach unten sinken und gewissermassen wie ein Bohrer auf das Innere des Stalaktiten einwirken. Ist nun das Bindemittel, das den Zapfen an der Decke festhält, stark genug ihn lange zu halten, und er selbst umfangreich genug, um die äussere und innere Schmelzung ertragen zu können, ohne ganz abzuschmelzen, so kann er zur Röhre ausgehöhlt werden. Solche hohle Hangeiszapfen, die im übrigen eine seltene Erscheinung sind, erwähnt Thury bei seiner Beschreibung der Höhle von St. Georges im Jura (August 1857).

Die Bildung des Standeises erfolgt, wie schon gesagt, durch das auf den Boden tropfende Wasser. Bei sehr niedriger Temperatur gefriert der herabfallende Tropfen bald nach seinem Aufschlagen. Dann erhebt sich der Standeiszapfen rasch und schlank in die Höhe, da das Wasser nicht Zeit hat, an ihm herunterzulaufen und sein Wachstum in die Breite zu befördern. Dies wurde im Januar 1894 im Garischen Stollen beobachtet, in dem die Zapfen, Bambusstäben gleich, bei 1 m Höhe nur etwa 3 cm Durchmesser besassen. Bei geringerer Kälte wird sich dagegen das Standeis mehr in die Breite entwickeln, da in diesem Falle das Wasser eine grössere Strecke abfliessen kann, ehe es gefriert. Den Aufbau eines grossen Eiskegels in der Kolowratshöhle hat Fugger, wie folgt, beschrieben. Die nebeneinander auffallenden Tropfen bildeten zunächst am Boden einen Eisüberzug, der aus einer Menge von nebeneinander befindlichen und teilweise ineinander übergehenden Kugeln von Eis bestand. Rings um die Stelle des Tropfenfalles entstand ferner ein Wall von glattem Eise, gebildet von den beim Aufschlagen abgelenkten Teilen der Tropfen. Allmählich füllte sich dann der Zwischenraum zwischen dem Eiswall und den Eisknollen aus, der Stalagmit baute sich höher auf und gewann durch steten Zufluss von Tropfwasser fortwährend an Umfang.

Genau wie die Bildung des hohlen Hangeises erklärt sich auch die des hohlen Standeises, das viel häufiger beobachtet wird als jenes. Wie energisch das Ausschmelzen durch warmes Wasser im Gegensatze zur Abschmelzung durch die Luft vor sich geht, bezeugt eine Angabe Fuggers, der in einem Säulchen von 95 cm Höhe einen Hohlraum von 60 cm Tiefe mass. Ferner

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wurde im August 1894 in der Höhle von Demenfalu in Ungarn ein Eisstumpf von 1 m Höhe und 40 cm Durchmesser bis auf den Boden 20 cm weit ausgehöhlt gefunden.

Die Schnelligkeit, mit der die Abnahme der Eisbildungen und die Zunahme der Aushöhlungen erfolgt, kann man aus einigen Messungen in der Alten Thiele erkennen:

Zeit	Länge zweier Hangeiszapfen		Höhe eines Standeiszapfens und seine Tropfwasser-Vertiefung	
	I	II	Höhe	Vertiefung
25. März	80 cm	48 cm	10 cm	5 cm
31. März	71 cm	45 cm	9 cm	9 cm

Eine Vereinigung von Stand- und Hangeis zur Eissäule wurde bei unseren kleinen Höhlen nur ein einziges Mal im Garischen Stollen im Januar 1894 bemerkt, während in grösseren Eishöhlen solche Eisbildungen keine seltene Erscheinung sind.

Deckeneis findet sich sehr selten und wird deshalb in der Litteratur wenig erwähnt. Doch wurde im März 1894 in der Ritterhöhle an einem schräg abwärts geneigten Teile der Decke etwas Eis gefunden. Es war nur wenige Quadratdecimeter gross, besass eine geringe Dicke (1 cm) und haftete nicht an allen Stellen an der Decke. Im übrigen unterschied es sich nicht von anderem Eise; es zeigte die Wabenbeschaffenheit und besass eine weissliche Farbe. Wenn das Wasser nicht an der Decke hinfliessen kann, sondern, aus dem Felsen dringend, tropfenweise hängen bleibt, so wird nach dem Gefrieren die Decke von perlenartigem Eis überzogen sein, wie es von Schwalbe im Eiskeller bei Roth in der Eifel beobachtet worden ist.*

Das Eis, aus welchem Hang- und Standeis besteht, erscheint oft in zwei voneinander verschiedenen Arten. Die eine entspricht dem Eise, das gewöhnlich im Freien beobachtet wird; es ist klar und vollkommen durchsichtig. Die andere Art ist dagegen nur durchscheinend und zeichnet sich durch ihre schöne porzellan- oder alabasterartige Farbe aus. In manchen Höhlen ist das Hangeis vorwiegend klar, während sich das Standeis hauptsächlich alabasterartig zeigt (beobachtet von Körber im Schafloch, September 1884). In anderen Fällen ist das weisse Aussehen gerade eine Eigentümlichkeit des Hangeises (beobachtet von Thury in der Höhle von Vergy, Januar 1861). Endlich treten, wie von Thury bemerkt und auch von mir gefunden worden ist, in denselben Gebilden beide Eisarten auf, und zwar nicht geschichtet, sondern in buntem Wechsel unregelmässig über- und durcheinander gelagert.

Man kann sich das weisse Eis auf dreierlei Weise entstanden denken.

Das Experiment lehrt, dass man aus unterkühltem Wasser Eis erhalten kann, welches so fein kristallinisch ist, dass der Brechungsexponent von Stelle zu Stelle wechselt und die Eismasse infolgedessen ein milchiges Aussehen erhält.** Anderseits ist bekannt, dass die Luft in ausserordentlich fein verteiltem Zustand im Eise vorkommen kann. Sie ist dann nicht in makroskopischen Blasen sichtbar, sondern zeigt ihre Anwesenheit durch das erwähnte porzellanartige Aussehen. Nach den Betrachtungen über die Temperatur des Tropfwassers ist es nun möglich, dass sich das weisse Hangeis auf die zuerst beschriebene Weise bildet, indem das Wasser durch die niedrige

* E. Fugger, Eishöhlen und Windröhren, 1891, S. 60.

** Emden, über das Gletscherkorn, S. 26.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Temperatur des Felsgesteines überkältet wird. Dagegen ist es wahrscheinlich, dass das weisse Standeis auf die zweite Art entsteht, da das Herumspritzen des Tropfwassers die Luft in fein verteilter Weise unter die einzelnen gefrierenden Tropfwasserteilchen bringt. Es giebt nun noch eine dritte Art der Bildung des weissen Eises, die aber erst sekundär im Laufe der Zeit erfolgt. Ursprünglich ist das Eis ganz klar und durchsichtig, später durchzieht die Eismasse ein Netz von Spalten, die mit Luft gefüllt sind. So wird ebenfalls durch den häufigen Wechsel des Brechungsexponenten der aneinander liegenden Teilchen dem Ganzen ein weissliches Aussehen gegeben. Solches Eis wurde von mir im August 1894 in der Eishöhle von Szilicze in Ungarn beobachtet.

Ist das Tropfwasser gezwungen, immer einen bestimmten Weg einzuschlagen, läuft es z. B. eine Kante oder Spalte an einer schrägen Stelle der Decke entlang, so wird dieser Weg sich durch eine Eisbildung kennzeichnen, die einem Bande nicht unähnlich ist. Es entsteht auf diese Weise das sogenannte Bandeis, das im Januar 1894 im Garischen Stollen und im März 1894 in der Alten Thiele gefunden wurde. Seine Dicke betrug 0,5 cm bei 1 dm Breite; in beiden Fällen bestand es aus vollständig klarem Eise.

Aber nicht alles Wasser, welches durch das Gestein sickert, tropft in den Höhlenraum. Ein grosser Teil davon fliesst die Wände der Höhle herunter oder quillt selbst aus dem Felsen und gefriert während des Herabfliessens. Es bildet sich so ein Eisüberzug über die Wände, der sich ihren Unebenheiten anpasst und ihnen die runden Formen des fliessenden Wassers verleiht. Dieses Wandeis nimmt naturgemäss nach unten an Dicke zu, da sich dort das Wasser ansammelt und die Kälte am dauerndsten zur Wirkung kommt. Ist die Wand überhängend oder so hoch, dass die Eisbildung nicht den Boden erreichen kann, so zeigt sich das Wandeis als prächtiger Eisvorhang, wie ich ihn im Juni 1893 in der Alten Thiele fand. Gerade wie beim Hangeise löst auch beim Wandeise das in der Schmelzzeit an der Wand herablaufende Wasser den Zusammenhang dieses Eisgebildes mit der Felswand. Man findet es deshalb im Sommer häufig vom Felsen getrennt. Ja, es kommt sogar vor, dass durch diese Abschmelzung das Wandeis sein Aussehen als solches verliert, indem es bei genügender Stärke von der Wand vollkommen getrennt wird und dann als Eissäule erscheint (beobachtet von Fugger in der Kolowratshöhle). In anderen Fällen ist das am Felsen herablaufende Wasser nicht so thätig. Das Eis bleibt an der Wand liegen, bis es vollkommen weggeschmolzen ist, und man kann, wie im Mai 1893 in der Ritterhöhle, manchmal papierdünnes Wandeis beobachten. Der Zusammenhang mit dem Gesteine wird allerdings immer schon durch die Erdwärme gelockert, so dass sich in vorgeschrittener Jahreszeit das Eis beim Abschlagen sofort von der Wand löst. Die Stärke dieser Eisbildung richtet sich ganz nach der Menge des Tropfwassers, nach dem Kältevorrat und nach der Jahreszeit. Die grösste Stärke des Wandeises in den einheimischen Höhlen wurde im Garischen Stollen im März auf 0,5 m gemessen, während in den grossen Eishöhlen Ungarns meterdickes Wandeis keine Seltenheit ist. Auch die Beschaffenheit dieser Eisformation ist verschieden. Man findet in der Regel klares und milchiges Wandeis nebeneinander. Doch nur einmal (Ritterhöhle, Mai 1893) wurden in ihm Luftblasen deutlich wahrgenommen. Seine Oberfläche ist in der Regel trocken, selbst zur Zeit der Schmelzung des Höhleneises, und zeichnet sich während dieser Periode besonders durch seine ausgeprägte Wabenbeschaffenheit aus.

Seiner Entstehung nach ist dem Wandeise das der geneigten Ebenen, das Böschungseis, nahe verwandt. Es hängt sehr oft mit jenem zusammen und unterscheidet sich seiner Beschaffenheit nach nicht von ihm. Die Ursache von solchen Eisböschungen liegt meist in der Unebenheit des Bodens, wie in der Alten Thiele und in der Schneebinge bei Platten. Sie können aber auch durch reichlichen Tropfenfall erzeugt werden, der sich auf ein bestimmtes Gebiet gleichmässig verteilt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Frage, ob sich dieses Böschungseis bewegt, hat Fugger für einen Fall in der Kolowratshöhle verneinend entschieden. Er fand, dass ein in das Eis gestecktes Bleirohr 7 Monate hindurch vollkommen in derselben Lage blieb.

3. Bodeneis.

An den Stellen der Eishöhle, wo dem Wasser Gelegenheit zum Stauen gegeben ist, bilden sich wagerechte Eisflächen, die den Boden der Höhle bedecken. Befinden sie sich an den tiefsten Stellen der Höhle, so spricht man von einem Eisboden; ist dies nicht der Fall, so nennt man diese Bildung ein Eisplateau. Die Ursache ihrer Entstehung ist in beiden Fällen dieselbe. Das von den Wänden herunterlaufende, nicht an ihnen gefrierende Wasser, das Tropfwasser, das sich sammeln kann, das Schmelzwasser, welches von den anderen Eisbildungen abfliesst, in vielen Fällen endlich geradewegs von aussen eindringende Niederschläge: alles trägt zur Bildung des Eisbodens bei, der wie ein Teich in der Höhle gefriert. Aber nicht nur in flüssigem, sondern auch in festem Zustande wird Stoff zum Bodeneise herbeigeführt. Das Hangeis, dessen Halt an der Decke geschwächt, und das Standeis, dessen Fuss vom Schmelzwasser unterwaschen worden ist, stürzt auf den Boden und verbindet sich mit dem Eis, oft ohne erst geschmolzen zu sein. Ein Fall von der letzten Art wurde in der Höhle von Demenfalu in Ungarn von mir bemerkt. Hier waren in das Bodeneis zahlreiche Eiskristalle eingeschlossen, die noch ganz deutlich ihre Formen zeigten. Endlich ist der Eisboden ein Sammelplatz von allen möglichen festen Bestandteilen, die teils auf ihn fallen, teils durch das Schmelz- und Tropfwasser ihm zugeführt werden. So findet man z. B. oft Steine, die fest in das Bodeneis eingefroren sind. Auch die festen, in Tropfwasser aufgelösten Bestandteile des Felsgesteines, die sonst die Tropfsteingebilde erzeugen, werden dort vereinigt und tragen zur Vergrösserung des Eisbodens mit bei. Die Folge dieser sammelnden Kraft des Wassers ist, dass jede Schmelzperiode sich durch eine Ablagerung von festen Stoffen auf dem alten Eise kennzeichnet; es tritt eine Schichtbildung im Bodeneis auf. Eine solche von periodisch wechselnden Ablagerungen herrührende Schichtung weist besonders deutlich die Eishöhle von Dobschau auf. Man sieht da an dem etwa 20 m hohen Absturze des grossen Eisplateau Hunderte gelblicher Linien von kalkigem Staube, welche einander parallel laufen. In der Kolowratshöhle nahm Fugger an trichterförmigen Schmelzlöchern des Bodeneises ebenfalls eine Reihe von horizontalen Schichten wahr, deren Grenzen sich durch dunkle Linien von Schmutz kennzeichneten. Merkwürdig ist in vielen Fällen die Art, wie die Schichtung des Bodeneises entsteht. Viele der bekannten Eishöhlen besitzen an tiefgelegenen Stellen des Bodens Abflussöffnungen für das Schmelzwasser. Diese gefrieren aber oft im Winter zu, so dass im Frühling das eindringende Wasser keine Gelegenheit hat, sich aus der Höhle zu entfernen. Es tritt dann eine Frühjahrs-Überschwemmung ein, und die in der Höhle liegende kalte Winterluft, unterstützt durch etwaige Fröste, kann eine Eisdecke über den kleinen See spannen. Tauen nun die unterirdischen Abflussöffnungen auf, so fliesst das noch nicht gefrorene Wasser ab. Die Eisdecke senkt sich dann in Trümmern auf den alten Eisboden und zeigt nur durch einen Eiskranz an den Wänden ihre frühere Höhe an. Eine solche Überschwemmung kann je nach den Temperaturverhältnissen, die im Freien herrschen, einige Male nacheinander eintreten, so dass auf diese Weise mehrere Eisschichten im Frühling abgelagert werden. Treten Überschwemmungen und Fröste wechselnd ein, ohne dass die Abflussschleusen sich öffnen, so kann es vorkommen, dass der Eisboden von Eisschichten mit dazwischen liegenden Wasserschichten bedeckt ist. Diese Erscheinung beobachtete Fugger im grossen Eiskeller am Untersberge; in der Höhle von Demenfalu in Ungarn bemerkte ich, dass das scheinbar massige Bodeneis in seinen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

oberen Teilen aus vier Eisschichten zusammengesetzt war, welche bei 2 cm Stärke durch Zwischenräume von 1 cm Höhe getrennt wurden. Zu dieser zweiten Art von Schichtenbildung kommt noch eine dritte, die lediglich durch die Verschiedenartigkeit des Gefrierens hervorgerufen wird. Bei nicht zu grosser Kälte vermag das gefrierende Wasser die in ihm enthaltene Luft auszutreiben. Bei schnellem Gefrieren werden aber die auf der Flucht begriffenen Luftblasen eingeholt und vom Eis umschlossen. Dies zeigte recht deutlich eine von Fugger in der Kolowratshöhle beobachtete Eisschicht von 15 cm Stärke, die unmittelbar auf dem alten Bodeneis auflag. Sie war mit Luftblasen von 0,3 — 46 mm Durchmesser durchsetzt, die sich in verschiedener Tiefe befanden. Jede Luftblase entsendete eine vertikal aufwärts steigende Linie, welche aus lauter feinen, sehr zarten Bläschen bestand und schliesslich an der Oberfläche mündete.

Auch das bereits bei den Tropfeisbildungen besprochene weisse Eis tritt im Bodeneis auf. So wird z. B. in der Höhle bei Dobschau die Schichtung an dem erwähnten Eisabschwunge noch dadurch besonders schön, dass die einzelnen Lagen bald aus weissem, bald aus klarem, farblosem Eise bestehen. In den von mir beschriebenen Eishöhlen liess sich zwar die Schichtung nicht in der besprochenen Weise beobachten, aber im Garischen Stollen zeigten im März 1893 verschiedene Eisstücke des Bodeneises Linien, die eine schichtweise Entstehung annehmen liessen. Die Schichtung des Bodeneises ist meist horizontal. In der Dobschauer Eishöhle ist sie aber ausser durch ihre grossartige Entwickelung noch dadurch eigentümlich, dass sie in der Quere wellig verläuft und in der Länge nach dem Höhleninnern zu bis 40° geneigt ist. Krenner, der diese Höhle zuerst beschrieben hat, meint, dass diese Neigung auf eine Senkung des unteren Endes der Eismasse hindeutet. Es scheint mir aber naturgemässer, den Verlauf der Grundfläche als Ursache dieser Unregelmässigkeit anzusehen. Denn erstens wird durch die Senkung des Bodens nicht die wellige Schichtung im Querschnitte der Eismasse erklärt, und dann sind nirgends Unstetigkeiten in den Linien vorhanden. Wohl aber kann sich die Schichtung sehr gut grossen Unebenheiten des Bodens anschmiegen, wenn das Wasser nur allmählich, also z. B. tropfenweise, auf den Boden gelangt. Dass dies in der Dobschauer Höhle der Fall gewesen sein muss, dafür bürgen die ausserordentlich dünnen, oft nur wenige Millimeter starken Schichten.

Die Mächtigkeit des Bodeneises ist zunächt für jede einzelne Höhle eigentümlich. Die stärkste Eisschicht besitzt wohl die eben erwähnte Dobschauer Höhle, in der sie sicher weit über 20 m dick ist. Dann ist sie aber in hohem Grade abhängig von den Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen im ganzen Jahre. Genauere Messungen hierüber sind nur von Fugger in der Kolowratshöhle angestellt worden, deren Resultate die folgende Tabelle zeigt:

Zeit	Zu- und Abnahme in cm	Mittlere Sommertemperatur der Höhle
Winter 1876 — 1877	+ 4	1876 : 0,355°
Sommer 1877	— 2	.
Winter 1877 — 1878	+ 6	1877 : 0,223°
Sommer 1878	— 2	1878 : 0,150°
Winter 1878 — 1879	+ 8	.
Sommer 1879	— 2	1879 : 0,075°
Winter 1879 — 1880	+ 11	.
Sommer 1880	— 13	.
Winter 1880 — 1881	+ 1	.

Bemerkung: Die Zunahme (in cm) ist durch ein + Zeichen, die Abnahme durch ein — Zeichen angedeutet.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass von 1876—1879 die mittlere Sommertemperatur abgenommen hat, während in derselben Zeit die Eisschicht 12 cm an Dicke gewann. Die bedeutende Abnahme der Eisdecke im Sommer 1880 schreibt Fugger der aussergewöhnlich grossen Regenmenge im Monat August dieses Jahres zu.

Wie die anderen Eishöhlengebilde, zeigt sich auch das Bodeneis teils milchig-trübe, teils vollkommen klar. Seine Oberfläche ist im grossen und ganzen stetig. Nur in einigen Fällen sind Spalten in ihm beobachtet worden. So bemerkte Fugger, dass in der Kolowratshöhle das Eis bei grosser Kälte krachte und Sprünge von geringer Breite bekam, während klaffendes Eis nicht gesehen wurde. Ferner sah Posselt-Czorich im Seeofen im Tennengebirge das Eis von einer schmalen Spalte durchsetzt, und in der Höhle von Demenfalu durchlief im August 1874 ein Sprung die sonst spiegelglatte Eisfläche. Meist schliesst sich das Bodeneis direkt an die Felswand an. Es kommen aber auch Fälle vor, in denen es durch eine Randkluft vom Felsen getrennt ist. In der Höhle von Skerizora (Ungarn) fand Peters im August 1860 1—3 Fuss breite Klüfte zwischen Wand und Bodeneis, und Thury beobachtete im Januar 1858 in der Höhle von St.-Georges im Jura, dass das Eis überall um 1—13 cm von der Wand entfernt war. In den erwähnten Fällen lässt sich diese Erscheinung einfach dadurch erklären, dass durch die Erdwärme das Eis rings an den Wänden abgeschmolzen ist.

Es giebt aber auch Höhlen, in denen die Randklüfte nur an einzelnen Stellen auftreten. So findet man in der Dobschauer Höhle das Eis an zwei Stellen von der Felswand getrennt, so dass zwischen dem Eisabschwunge und der Felswand meterbreite Gänge bestehen, die jetzt künstlich miteinander verbunden sind. In der Schellenberger Eisgrotte am Untersberge bleibt nur an einer Stelle ein Gang von 40 cm Breite und 25 cm Länge eisfrei, und die Höhlen von Szilicze in Ungarn und Pré de St.-Livres im Jura zeichnen sich durch einen senkrechten, weit von der Wand entfernten Eisabsturz von 10 bez. 7 m Tiefe aus.

Krenner versucht die Erscheinung in der Dobschauer Höhle durch starkes Verdunsten des Eises an diesen Stellen zu erklären. Es befindet sich nämlich an der einen der Randklüfte ein Abzugskanal für Schmelzwasser, und dieser soll nach Art einer Wassertrommel saugend auf die Eismasse einwirken. Diese Erklärung erscheint aber gekünstelt und den Verhältnissen nicht entsprechend. Erstens lässt sich nicht erkennen, wie durch den Luftzug die Wand bei einer Höhe von ungefähr 20 m fast senkrecht abschmelzen kann, und dann fand ich bei dem Besuche der Höhle im August 1894, dass die Luft nach aussen strömte. Der Luftzug konnte somit nicht durch Saugwirkung des abfliessenden Wassers entstehen, sondern er entsprach seiner Richtung nach der schon mehrfach erwähnten Luftströmung in den Windröhren. Bei dieser Höhle lässt sich die Randkluft dadurch erklären, dass die ursprüngliche Höhle überhaupt nur bis dorthin reichte, wo der Eisabsturz sich jetzt befindet, und dass erst später die hintere Höhlung, die auch durch das zahlreiche Trümmergestein auffällt, unter Blosslegung der Eiswand eingestürzt ist. In den anderen Fällen wird der Eisabschwung durch die Bodenverhältnisse der Höhle zu erklären sein, indem an der betreffenden Stelle der Boden abstürzt und nun mit Eis bekleidet die Randkluft bildet. Dies liess sich deutlich in der Höhle von Szilicze beobachten. Von grossem Einfluss auf die Randkluft- und Spaltenbildung ist aber ferner die starke Zusammenziehung des Eises bei Abnahme der Temperatur. Da der Ausdehnungskoeffizient des Eises fast 7 mal so gross ist als der des Gesteines (Kalk), so werden sich bei grosser Kälte entweder Spalten im Eise bilden oder die Eismasse löst sich vom Felsen ab. Es ist nun denkbar, dass die Zusammenziehung des Bodeneises durch irgend-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

welche örtliche Verhältnisse in der Höhle auf einzelne Punkte besonders stark einwirkt, wodurch dann mit Hilfe der Abschmelzung lokale Randklüfte erzeugt werden können.

4. Eiskristalle.

Die Felswände werden, wie wir sahen, von der Höhle aus abgekühlt, so dass die Temperatur der Höhlenluft im allgemeinen immer etwas niedriger ist als die des Gesteines. Hieraus folgt, dass sich die Feuchtigkeit der Höhlenluft unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht an den Wänden niederschlagen kann. Dringt nun Schmelzwasser in die Höhle ein, so erwärmt sich hierdurch die Luft teilweise und steigt, mit Feuchtigkeit reichlich beladen, aufwärts. Sie kommt dann mit dem nun kälteren Felsgestein und den ebenfalls abgekühlten Eisgebilden der Höhle in Berührung. Hierdurch wird der Wasserdampf verdichtet, und bei grossen Temperaturunterschieden werden jene Reif- und Eiskristalle gebildet, die in wunderbarer Weise die Höhle schmücken und zur Vergrösserung der im vorhergehenden beschriebenen Eisbildungen beitragen. In den Höhlen werden die engsten Stellen, aufwärts führende Schlote, und Punkte, an welche feuchte Aussenluft leicht gelangen kann, am reichlichsten mit Kristallbildungen bedacht. Im ersten Falle wird auf engem Raume den Wänden immer relativ mehr Feuchtigkeit zugeführt, und im zweiten zeigt sich das Bestreben der warmen und feuchten Luft aufzusteigen. An diesen Stellen sind wieder einzelne hervorragende Spitzen und Kanten am meisten begünstigt, wo sich die Kristalle mit Vorliebe ansetzen. In grossartiger Weise traten, wie im August 1894 beobachtet wurde, die Eiskristalle in der Dobschauer Eishöhle auf. Sie überzogen einen Teil der Wände und Decken des kleinen und des grossen Saales, und zwar meistens die Stellen, die nicht weit vom Boden entfernt waren. Die aus lauter Kristallen bestehende Masse, welche an den Höhlenwänden bis zu einer Dicke von 0,5 m haftete, gewährte einen Anblick, als ob frisch gefallener Schnee den Felsen bedeckte. Bei näherer Betrachtung erwiesen sich aber die einzelnen Teile als zierlich ausgebildete wasserklare Einzelkristalle. Aus einem Gewirre von Kristallen, das die einzelnen Formen schwer erkennen liess, schossen wie die Blätter eines halbgeöffneten Buches Gebilde hervor, die ihrerseits wieder wie Fächer aus einzelnen Kristallrippen zusammengesetzt waren. Die letzteren waren aber nicht einzelne Eisnadeln, sondern aufgebaut aus lauter treppenförmig übereinander geschichteten sechsseitigen Eisplättchen von ausserordentlicher Feinheit (Fig. 2). Diese Plättchen waren in der Regel nur an drei Ecken scharf ausgebildet. Meist vergrösserten sich die übereinander liegenden Sechsecke, so dass ihre Seiten oft von Millimetergrösse bis zu Centimeterlänge anwuchsen.

Eine besonders schöne Art von Eiskristallen beobachtete C. A. Hering* in der Grube am Waschgang bei Döllach in Kärnten. Während nach seiner Schilderung kleine fächerartige Kristalle in enger Anordnung die gesamten Umwandungen der Grotte bekleideten, traten nur von den senkrechten Wänden grosse horizontal ausgespannte Kristallfächer hervor, die mit den Griffen an der Gesteinswandung fest angewachsen waren. Der grösste dieser Fächer bestand aus aneinander gewachsenen hexagonalen Prismen, alle hohl wie Thermometerröhren, in denen Wasser bei jeder Bewegung hin- und herspielte. Die Rippen und die Füllung des Fächers waren mit Wasser gefüllte hohle Prismen, auf welche sich wieder trichterförmige Gebilde aufgesetzt hatten. Die Wände dieser letzteren bestanden ebenfalls aus treppenartig aneinander gesetzten Eisprismen. Wunderbar war es anzusehen, mit welcher Fürsorge die Natur für die nötige Festigkeit des Fächerstieles gesorgt hatte, indem sie nach allen Regeln der Statik sein unteres Ende verdickte.

* Zeitschrift für Kristallogr. 1888. 14, S. 250.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ausser diesen grossartig ausgebildeten Eiskristallen findet man in den Eishöhlen Gebilde, die dem Reif in der freien Natur vollkommen entsprechen. So wurden in der Höhle von Demenfalu (Ungarn) an einem Steine weisse Rauhreifbildungen bemerkt, die vor allem an den Ecken und Kanten stark auftraten. In der Höhle am Zinkensteine (Böhmen) konnte ich im März 1894 beobachten, wie die Wände und das Eis selbst mit einer Art feinen Reifes überzogen waren, der sich staubartig anfühlte und die Eisoberfläche trübte. Im reflektierten Lichte betrachtet, erschien er jedoch nicht matt schimmernd, sondern wies unregelmässig verteilte, kleine glänzende Flächen auf. Auch in der Dobschauer Höhle waren die Eisgebilde mit einem feinen Reife bedeckt, so dass ihnen der strahlende Glanz fehlte, der sonst blanken Eisflächen eigentümlich ist.

Das Wabeneis.

Wohl die meisten der Eishöhlenforscher haben beobachtet, dass das in ihnen enthaltene Eis zu Zeiten ein von dem normalen abweichendes, gegittertes oder wabenartiges Aussehen hat. Nur wenige aber haben diese Modifikation genauer studiert. Browne allein widmet dieser Erscheinung einen Abschnitt seines Werkes „Ice caves of France and Switzerland", behandelt aber den Gegenstand nur oberflächlich im Vergleiche mit dem Auftreten ähnlichen Eises ausserhalb der Höhlen. Andere dagegen, unter ihnen Thury (Etudes sur les glacières naturelles), erwähnen diese Eigentümlichkeit nur nebenbei.

Im folgenden soll nun die letztere auf Grund der mir bekannten Litteratur und eigener Untersuchungen ausführlich betrachtet werden.

Betritt man im Spätfrühling eine der Eishöhlen Sachsens, so findet man, dass die Eisgebilde ihre Glätte verloren haben. Die Oberflächen weisen eine grosse Menge von Rissen auf, die sich netzartig über sie verbreiten. Dieses gitterartige Aussehen veranlasste Tschudi,* dem Eis eine structure aréolaire beizulegen. Nun befinden sich diese Risse nicht nur an der Oberfläche, sondern sie erstrecken sich in das Innere des Eisgebildes, so dass prismenähnliche Teilchen entstehen. Dieser Anschauung folgend, führte Browne den Namen prismatische Struktur ein. In treffender Weise wird aber von verschiedenen Forschern das Aussehen eines solchen Eisgebildes mit einer Bienenwabe verglichen. Man nennt daher dieses Eis auch Wabeneis. Wir wollen diese Bezeichnung beibehalten und statt der von Fugger gebrauchten Alveolarstruktur einfach Wabenbau sagen.

Um die auftretenden Formen des Wabeneises studieren zu können, habe ich von verschiedenen Eisgebilden Gipsabgüsse gemacht und diese dann photographisch aufnehmen lassen. Der Gipsabguss giebt ganz genau die Form des Eises wieder, und das Lichtbild von jenem leidet nicht unter den störenden Reflexen des Eises selbst. In zwei Fällen wurde auch weicher Glaserkitt verwendet, um genaue Abdrücke zu erhalten. Diese Methode empfiehlt sich aber nicht, da der Kitt beim Aufdrücken auf dem Eis ausgleitet und ausserdem die Form nicht wahrt. Betrachtet man nun an den beigegebenen Bildern die einzelnen Maschen des Eises, so erkennt man, dass sie keine regelmässigen Formen besitzen; vielmehr findet man bei genauerer Untersuchung Dreiecke, Vierecke, Sechsecke und sehr oft Fünfecke, endlich aber auch alle möglichen Arten von Vielecken, ohne dass diesen im allgemeinen ein bestimmter Charakter aufgeprägt wäre. Die Risse, welche die Maschen umgrenzen, verlaufen in seltenen Fällen geradlinig; vor allem sind die grösseren Felder von viel-

* Vergl. Arch. des sciences phys. et nat. Nouv. per. 10. 1861, S. 97 u. f.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gekrümmten Linien umgeben. Ein eigentümlicher Unterschied besteht aber doch in der Form der Maschen verschiedener Eisarten. Die Eisgebilde nämlich, die nach Länge und Breite ungefähr gleiche Ausdehnung haben, besitzen ebenso gleichmässig nach allen Seiten ausgebildete Felder (Fig. 3 u. 8). Das Hang- und Standeis aber und die Eissäulen, die nach der Höhe eine viel grössere Ausdehnung aufweisen als nach der Länge und Breite, zeigen in den meisten Fällen Maschen, die eine viel grössere Breite als Höhe haben. Man erkennt dieses Bestreben, lange und schmale Maschen zu bilden, an der Abbildung eines Eiszapfenteiles (Fig. 4). Grosse Eissäulen erhalten dadurch oft eine eigentümliche Querstreifung. Im grossen und ganzen besteht immer die Neigung, geschlossene Kurven zu bilden, wodurch die netzartige Zeichnung entsteht. Diese letztere fehlt aber vollständig bei dem früher erwähnten Bandeise. Hier kommt es gar nicht zur Bildung von eigentlichen Maschen, sondern das Eis wird durch feine, einander parallel laufende Linien in Querstreifen von etwa einem Centimeter Breite zerlegt. Wie bei den Eiszapfen zeigt sich auch in diesem Falle, dass die einseitige Ausbildung der Maschen und die ungleichmässige Entwickelung der Dimensionen der Eisart Hand in Hand gehen. Denn die Dicke des Bandeises ist gering (0,5 cm), seine Längenausdehnung aber im Verhältnis zur Breite (1 dm) sehr gross.

Eine merkwürdige Art des Wabenbaues wurde im März 1894 an mehreren kleinen Eiszapfen der Ritterhöhle beobachtet, welche auf dem Boden standen. Diese Zapfen waren durch Tropfwasser an der Spitze etwas eingebuchtet und von da aus durch eine nach unten gehende Riefung gezeichnet. Die Riefen liefen parallel und mündeten schliesslich in eine eigentliche netzartige Zeichnung ein, die sich rings um den Eisstumpf erstreckte. In der Abbildung (Fig. 1) kann man auch erkennen, dass einige der parallelen Riefen noch unterhalb der Netzzeichnung in der alten Richtung verlaufen.

Wie an Gestalt, so sind die Maschen auch an Grösse voneinander sehr verschieden. Die grössten Felder am Wabeneise, die einen Flächeninhalt von 400 qcm erreichten, wurden in der Alten Thiele am Eisvorhange beobachtet. Im Gegensatze hierzu war in der Höhle von Demenfalu ein Eisstück so fein in Teilchen zerlegt, dass es fast wie Reif aussah. Man stösst aber in einer und derselben Höhle auf Eisstücke, die Wabenbau von sehr verschiedener Grössenentwickelung zeigen. In der Regel sind die einander benachbarten Maschen ungefähr an Grösse gleich. Es finden sich jedoch auch oft Stücke Wabeneises, wo kleinere und grössere Maschen nebeneinander liegen, und häufig kommt es vor, dass eine kleine Masche von mehreren grösseren eingeschlossen wird. Bei aller Gleichartigkeit der nebeneinander befindlichen Maschen zeigt sich aber bei dem Wandeise, dass die Felder nach dem Rande zu, wo das Eis dünner wird, an Grösse abnehmen. So trat bei dem Eisvorhang in der Alten Thiele neben den grössten der beobachteten Maschen nach dem Rande zu Wabeneis auf, das beim Angreifen in ganz kleine Eisteilchen zerfiel. Ferner lässt sich manchmal die von Thury in der Höhle St.-Georges (Jura) bemerkte Thatsache beobachten, dass die Maschen in den höheren Teilen einer geneigten Eisfläche grösser sind als an den tieferen Stellen. Zur Regel lässt sich diese Beobachtung aber nicht erheben, da es auch genug Fälle giebt, in denen bei den oberen und unteren Teilen die Maschen in gleicher Weise ausgebildet sind. Wohl aber hat sich aus den Untersuchungen des Wandeises ergeben, dass die der Wand zugekehrte Seite eine andere Ausbildung des Wabenbaues zeigt, als die entgegengesetzte Oberfläche. Löst man nämlich ein Stück Eis, bei dem die Wabenbildung noch nicht vollständig durchgedrungen ist, von der Wand, so findet man, dass die Wandseite trotzdem Maschen aufweist. Beim Vergleichen beider Seiten ergiebt sich dann, wie aus Fig. 5 deutlich zu ersehen ist, dass die Wandseite viel kleinere Maschen zeigt als die freie Oberfläche. Dieser Unterschied fällt weg, wenn die Spaltung das Eis ganz durchdrungen hat. In diesem Falle zeigen beide Seiten die gleiche Entwickelung der Waben (Fig. 6).

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Manchmal kann man an demselben Eisstücke beide Erscheinungen beobachten. Am Rande, wo die Risse das Eis ganz durchdringen, findet man übereinstimmend grosse Felder, nach der Mitte zu übertrifft die freie Seite die Wandseite an Grösse der Maschen (Fig. 7). Bemerkt muss noch werden, dass bei durchgehendem Wabenbau die Maschen nie so gross ausgebildet waren wie bei der oberflächlichen Riefung des Eises.

Die Riefen selbst sind, wie erwähnt, kleine Rinnen, selten von geradlinigem Verlaufe. In der Regel sind sie sehr fein. Im Abgusse zeigen die erhabenen Teile, welche die Spalten ausfüllten, Stärken von Papierdicke bis zu etwa 1 mm. Die Ränder der Riefen sind an der Oberfläche des Eises etwas abgerundet, und dies lässt den Wabenbau auch äusserlich leicht erkennen. Aus den Abgüssen ersieht man, dass die Abrundung verschieden ausgebildet ist. Meist findet eine allmähliche Erweiterung und sanfte Schweifung der Spaltenöffnung nach der Oberfläche zu statt. Es giebt aber auch Fälle, wo die Riefen an der Oberfläche merkwürdig breit sind, die Waben scharfkantig begrenzen und nach dem Innern zu sich stark verengen (Fig. 3a). In dem letzteren Falle bieten die Erhebungen des Abgusses, welche den Riefen entsprechen, scharfe Kanten dar, welche auf ein plötzliches Aufhören oder eine augenblickliche Verengung der Spalten hinweisen. Die Rinnen hören aber in der Regel nach dem Innern zu nicht vollständig auf, sondern verengen sich entweder allmählich oder plötzlich derartig, dass sie nur bei dünn geschliffenen Platten, beim Zerschlagen des Eises oder beim Infiltrieren mit einer färbenden Flüssigkeit sichtbar werden. In den meisten Fällen ist aber die Schroffheit des Überganges von der breiten Riefung in die feine Spaltung oder ihr plötzliches Aufhören auffallend. Besonders deutlich zeigte sich das letztere bei einem etwa 5 cm starken Stücke Wandeis in der Höhle von Szilicze. Bei diesem waren die Risse an der freien Seite 1 cm tief eingedrungen, und in dieser Tiefe schied an der Bruchstelle eine ganz scharfe Trennungslinie das gespaltene von dem ungespaltenen Eise. Letzteres zeigte beim Abschlagen auch nicht die geringste Spur von einer feinen Spaltung, während die Wandseite desselben Stückes wiederum Wabeneis bis zu etwa 0,5 cm Tiefe aufwies. An der Trennungslinie konnte man die Waben bequem von dem kompakten Eis abschürfen, als ob sie nur leicht auf dasselbe aufgesetzt wären. Die Dicke der Wabeneisschicht scheint über einige Centimeter nicht hinauszugehen. Browne bemerkt, dass bei seinen Untersuchungen die Prismen immer in Zolltiefe abbrachen, Fugger giebt ihnen 3 — 4 cm Länge, und die eigenen Untersuchungen haben diese Angaben im allgemeinen als richtig gefunden. Doch muss man beim Wabenbau der Wandeisbildungen wieder die freie und die der Wand zugekehrte Seite unterscheiden. An der letzteren ist, wie auch Fig. 5[b] deutlich zeigt, die Spaltung bei weitem nicht so tief in das Eis eingedrungen wie auf der anderen Fläche. Auch die Art, wie die Spaltung in das Eis eindringt, steht mit ihrer Tiefe in eigentümlichem Zusammenhange. Verfolgt man nämlich die Richtung, in der die Spalten im Eise verlaufen, so findet man zwei wesentlich voneinander verschiedene Arten. Die Risse erstrecken sich entweder alle annähernd parallel in gerader Richtung in das Eis, so dass die Waben wirklichen Prismen gleichen (Fig. 6), oder sie dringen in ungleichartiger Weise ein (Fig. 5). Die Abgüsse zeigen in letzterem Falle, dass die Richtung, in der ein einzelner Spalt anfangs im Eis erscheint, nicht fortgesetzt wird, sondern dass die Rissflächen mannigfach geschweift verlaufen. Diese Art der Spaltung dringt nach meinen Beobachtungen tiefer in das Eis ein als die regelmässige. Sie durchsetzt ganze Eisstücke (z. B. in der alten Thiele eine 1 dm starke Platte), während die andere nur wenige Centimeter tief geht.

Die Richtung, in der die Risse bei paralleler Wabenbildung durchweg und bei der geschweiften Spaltung im Anfange in das Eis dringen, verläuft ziemlich genau senkrecht zur Oberfläche. Dies lässt sich sehr gut an der Bruchstelle eines Eisstückes mit Wabenbau erkennen, welches in

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fig. 9 abgebildet ist. Beim Wandeis erfolgt die Spaltung auf jeder der beiden Seiten senkrecht zur Oberfläche, so dass bei nicht parallelen Seiten und durchgehender Spaltung die Risse sich durchkreuzen müssen. Man sieht dies an Fig. 9, welche ein kleines Eisstück darstellt, dessen Seitenflächen nicht parallel laufen. Hier erscheint die Bruchfläche nicht eben, sondern nach innen gebogen. Die kleinen Prismen, senkrecht auf den Seiten stehend, stossen bei diesem Stücke gegenseitig vor und treffen, keilförmig ineinander dringend, im Innern zusammen. Auch bei den Eiszapfen zeigt sich das Bestreben, senkrecht zur Oberfläche Spalten zu bilden. Schneidet man nämlich einen Zapfen mit Wabenbildung quer durch, so erscheinen auf der Schnittfläche feine Linien, die sanft gebogen, vom Innern ausgehend, die Umrandung unter rechten Winkeln schneiden. Diese Linien gehen von einer Stelle aus, die im Gegensatze zum anderen Eise trüb ist, und münden in die Riefen der Oberfläche. Die Richtung der in einen Eiszapfen dringenden Spalten kann man aus Fig. 10 deutlich ersehen, welche den Abguss eines solchen im Querschnitte darstellt. Schneidet man andererseits einen Eiszapfen mit Wabenbau der Länge nach durch, so zeigen sich zahlreiche Linien, die senkrecht zu den Längsseiten die Schnittfläche durchqueren. Unter sich sind allerdings diese Querlinien wieder durch zahlreiche feine Spalten in der Längsrichtung verbunden, so dass eine Art Netzwerk entsteht; doch überwiegen die quer laufenden Risse.

In vielen Fällen hat die Wabenbildung nur auf das Aussehen der Oberfläche einen Einfluss. So wurde im Garischen Stollen und in anderen Höhlen ganz klares Eis gefunden, das sich allein durch die netzartige Zeichnung der Oberfläche vom gewöhnlichen festen Wasser unterschied. Es kommt aber häufig vor, dass die Bildung der Waben das Aussehen des ganzen Eisstückes verändert. Thury beobachtete in der Höhle von St.-Georges Wabeneis, dessen Maschen in der Mitte durchsichtig waren. Am Rande zeigten sie eine weissliche Trübung, wodurch das Eisstück ganz und gar mosaikartig erschien. Ähnliches Eis bemerkte ich in der Ritterhöhle. Es war wegen der weisslichen Ränder der Maschen im allgemeinen trüb und undurchsichtig. Stellte man sich aber so, dass man in die einzelnen Zellen hineinsehen konnte, so zeigten sich diese vollkommen klar und durchsichtig. Ist das Eis nun von kleinmaschiger Spaltung durchsetzt, oder dringt diese in unregelmässiger Weise in dasselbe ein, so hat das betreffende Eisgebilde eine weissliche Färbung. Diese nähert sich um so mehr dem reinen Weiss, je enger die Maschen sind und je unregelmässiger die Spalten das Eis durchsetzen. Einzeln betrachtet sind aber die kleinen Eiswaben ganz und gar durchsichtig. Solches Eis, das im ganzen vollkommen weiss erschien, im einzelnen aber aus klaren Waben bestand, fand ich im August 1894 in der Höhle bei Szilicze. Mit dem Polarisationsapparate untersucht, erwiesen sich die einzelnen Prismen als einheitliche Kristalle, deren optische Axen aber nicht genau senkrecht zur Gefrieroberfläche standen. In der Alten Thiele wurde Wandeis mit Wabenbau parallel zur Oberfläche zerschnitten. Unter dem Polarisationsmikroskope erschienen bunte Streifen, die jedoch in den benachbarten Maschen verschiedene Richtungen besassen. Bei den Eiszapfen mit Wabenbildung wiesen Quer- und Längsschnitte nie auf eine geordnete kristallinische Beschaffenheit hin. Beim Übergang über eine Spaltlinie änderte sich aber das Bild im Apparate, um bis zum nächsten Spalt einheitlich zu bleiben. Dies beweist, dass wohl die einzelnen Zellen Einzelkristalle sind, dass aber die Lage ihrer optischen Axen eine durchaus regellose ist. Das letztere entspricht auch den Untersuchungen von Bertin, der den Eiszapfen eine durchaus verworrene kristallinische Struktur beilegt. Allerdings hat derselbe Forscher gefunden, dass beim Eise, welches im ruhenden Zustand an geneigten Flächen gefriert, die optische Axe stets senkrecht zur Gefrieroberfläche steht. Ob diese Ergebnisse auch auf das Eis anzuwenden sind, das aus fliessendem oder tropfendem Wasser entsteht, bleibt noch abzuwarten. Immerhin zeigten sich bei Untersuchungen des gewöhnlichen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Teicheises, dass auch bei diesem Eise, dessen optische Achse im frischen Zustand anerkanntermassen in allen Teilen dieselbe Richtung besitzt, ganz ähnliche Erscheinungen wie beim Wandeis auftraten. In einem Eisschranke wurde nämlich ein Stück Teicheis einen Monat lang aufbewahrt und dann zur optischen Untersuchung in Platten zerschnitten. Bei einer von ihnen zeigten sich nun bei einer Stärke von 0,5 cm ganz feine Risse, wie bei den Schnitten des Wabeneises. Diese Linien, den Schädelnähten vergleichbar, teilten die Fläche in eine Anzahl verschieden grosser Felder, welche unter dem Polarisationsapparate nie gleiche Interferenzbilder zeigten. Der Wechsel derselben trat aber jedesmal erst an einem der genannten Risse auf. Man erkennt somit, dass wie beim Wabeneise die einzelnen Felder einheitlichen Kristallen angehörten, deren optische Achsen verschieden gerichtet waren.

Die Spaltung, welche uns den Wabenbau des Eises anzeigt, ist aber nicht die einzige Merkwürdigkeit des Höhleneises. Betrachtet man unter den beigegebenen Abbildungen Fig. 5a und Fig. 3, so bemerkt man, dass nicht alle Felder eine gleichmässig glatte Oberfläche besitzen. Bei manchen sind die zwischen den Riefen liegenden Flächen genarbt; bei andern sind sie mit einzelnen nebeneinander befindlichen, rundlichen und länglichen Einbuchtungen versehen, die unregelmässig auf jedem Felde verteilt sind. Ferner ziehen sich an einigen Stellen über die Maschen Erhebungen hin, die wie kleine Zungen leicht gekrümmt sind und sich nach und nach abflachen und verlieren. Endlich erstrecken sich über sie hier und da feine Rinnen, von denen, wie bei dem Gerippe der Blätter, kleinere Seitenrinnen abzweigen. Bei manchen Eisstücken ist die Riefung etwas regelmässiger. Annähernd parallele Rinnen durchziehen die Eisfläche, bei dem einen Stücke schwach, wie die Riefen der inneren Handfläche, bei einem anderen stark ausgeprägt. Dann giebt es auch vollkommen parallel gestreifte Maschen, deren Linierung aber wieder in ganz verschiedener Stärke auftritt. In der Plattener Binge und anderwärts wurde Eis mit netzartiger Oberfläche gefunden, dessen einzelne Maschen von so feinen Linien durchzogen waren, dass es nicht möglich war, einen Abguss davon zu erhalten. Die Rinnen verschwanden bei der geringsten Schmelzung. Anderseits zeigten sich in der Alten Thiele am Eisvorhange die grossen Felder von 400 qcm ganz stark schraffiert. Die Riefung, vollkommen parallel, war so kräftig, dass man sie ruhig berühren konnte, ohne sie zu zerstören. Beim Darüberfahren mit dem Fingernagel entstand das gerippten Flächen eigentümliche schnarrende Geräusch.

Bei allen Streifungen und Narbungen lässt sich aber nirgends eine Richtung feststellen, in der sie regelmässig erfolgen. Die geradlinige Schraffierung zeichnet zwar ein einzelnes Feld streng mit parallelen Linien, aber die benachbarten Maschen sind fast nie in derselben Weise gestreift. Auch kommt es häufig vor, dass mitten unter gerieften Maschen plötzlich eine oder die andere eine glatte Oberfläche besitzt. Man findet sogar oft, dass verschiedene Arten von Streifungen an derselben Stelle gleichzeitig auftreten. So war ein grosser Standeiszapfen in der Höhle von Demenfalu über und über mit verschiedenartiger Riefung bedeckt, so dass seine Oberfläche ganz mattglänzend erschien. Zwei Stellen dieses Eisgebildes wurden in weichem Kitt abgedrückt. Die eine zeigt eine Streifung wie die Ränder von schief übereinander liegendem Papier. Auf der anderen (Fig. 11) tritt die Mitte durch ausgeprägte Vertiefungen und ebenso energische Erhebungen hervor. An der einen Seite ziehen sich flachere Riefungen hin, die nur zum Teil auf eine längere Strecke fortgesetzt sind und meistens länglich schmale Mulden bilden. Dazwischen führen quer über die grobe Zeichnung feine Linien, die, manchmal geschweift, manchmal geradlinig parallel laufend, die Oberfläche leicht wellen. In besonders merkwürdiger Weise war in der Höhle bei Szilicze (Ungarn) ein Feld des dort vorhandenen Wabeneises gezeichnet. Wie die Abbildung (Fig. 3[b]) zeigt, ist auf dieser Fläche

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ein Bündel von Einbuchtungen eingegraben, das gerade wie der Abdruck einer fünfzinkigen Gabel im Eis aussieht. Die übrige Fläche ist senkrecht zu den tiefen Rinnen genarbt; die Narbung setzt sich auch in diesen fort.

Ich muss mich allerdings darauf beschränken, die merkwürdigen und oft wunderbar regelmässigen Riefungen lediglich ihrer Erscheinung nach zu beschreiben. Denn es ist mir noch nicht gelungen, die Entstehung dieser Gebilde, die man zum Teil mit den sogenannten „Forelschen Streifen" Hagenbachs an den Gletscherkörnern vergleichen kann, zu erklären.

Ob das Wabeneis in allen Eishöhlen auftritt, ist zwar nicht durch Beobachtung festgestellt worden, man kann aber mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass keine Höhle eine Ausnahme macht. Legen ja doch verschiedene Forscher, wie Linhart und Kraus*, dem Höhleneis den Zellenbau als besondere Eigenschaft bei, so dass man ein beliebiges Stück Wabeneis sofort als Höhleneis erkennen könne und müsse. Wenn nun auch diese Auffassung den Thatsachen in der Natur nicht entspricht, indem auch bei anderem Eise der Wabenbau zu bemerken ist, so kann man doch nach dem Gesagten das Auftreten des Wabeneises in den Höhlen als eine allgemein verbreitete Erscheinung ansehen. Ausserdem fand ich in verschiedenen Gegenden, in grossen und kleinen Sackhöhlen und in den Windröhren, sobald noch freiliegendes Eis vorhanden war, zu gewissen Zeiten stets das Zelleneis.

Ist nun auch diese Bildung in ihrer geographischen Verbreitung nicht beschränkt, so tritt sie doch örtlich und zeitlich nicht ganz lückenlos auf. Erstens findet man Höhleneis, das nicht zerlegt ist, während anderes gleichzeitig in derselben Höhle als Wabeneis vorkommt, und zweitens zeigt sich letzteres nicht zu allen Jahreszeiten.

Betrachten wir zunächst das zeitliche Auftreten.

Die Beobachtungen haben gezeigt, dass im Winter eigentliches Zelleneis nicht gefunden wird. So bemerkte Thury, dass in der Höhle von St.-Georges (Jura) im Januar 1858 das Eis seinen Wabenbau verloren hatte. Auch bei meinen Besuchen in demselben Monate 1894 fand ich weder im Garischen Stollen noch in der Alten Thiele eine Spur von Wabeneis. Wohl aber schreibt Thury, dass auf der Oberfläche der in jener Höhle vorhandenen geneigten Eisebene (bei -4^0) eine schwer erkennbare netzartige Zeichnung von sehr feinen Linien zu sehen gewesen sei. Eine ähnliche Erscheinung konnte ich im Garischen Stollen im Januar 1894 beobachten. Zwei nebeneinander befindliche Tropfeisbildungen waren an ihrer Oberfläche wie mit einem Spinngewebe überzogen. Die feinen Linien drangen jedoch kaum bemerkbar in das Eis ein und befanden sich nur auf der einen Seite der betreffenden 5 mm starken Eisplatten. Die anderen Eisgebilde der Höhle waren aber samt und sonders ausgezeichnet durch die Glätte ihrer Oberflächen.

Das erste Auftreten des Zellenbaues scheint nun nicht überall zu derselben Zeit stattzufinden. Im April 1858 fand Thury in der oben erwähnten Höhle an der geneigten Ebene noch nicht das Wabeneis, das er im August des Vorjahres dort beobachtet hatte. Auch in der Kolowratshöhle geht der Vorgang der Spaltung erst später vor sich; denn Fugger schreibt, dass er in dieser Höhle das Eis, welches Wände und Steine überkleidete, nie vor Ende August wabenartig gesehen habe. Andere Eisbildungen derselben Höhle scheinen aber schon zeitiger den Wabenbau anzunehmen, wie z. B. der Eisboden, der im Juni und Juli 1878 als vollkommen zellig erwähnt wird. Die übrigen mir bekannt gewordenen Beobachtungen des Wabeneises rühren von Besuchen im Spätsommer und Herbste her. Weit früher als zu den genannten Zeiten wurde nun die Zerlegung des Eises im Jahre 1894

* Zentralorgan für die Interessen des Realschulwesens 1884. S. 70 u. 14.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

in den Eishöhlen Sachsens und am Zinkensteine wahrgenommen. In ihnen zeigte sich bereits im März das schönste wabenartig zerlegte Eis, und von dieser Zeit an trat es in allen bis in den August untersuchten Eishöhlen auf. Wenn nun auch jede dieser Höhlen das Zelleneis aufwies, so war doch die Spaltung nicht überall gleichmässig stark entwickelt. Im März 1894 war das Eis der sächsischen Eishöhlen bereits so sehr zerlegt, dass man es bei einer Stärke von 2 cm bequem in prismatische Stücke zerbröckeln konnte. In der Binge bei Platten und in den Eishöhlen von Demenfalu und Szilicze zeigte sich im Juli und August derselbe Grad des Zerfalles. In der Dobschauer Eishöhle war aber im August desselben Jahres die Zerspaltung des Eises nur in geringem Masse vor sich gegangen, es war dort vollständig fest und zeigte zwar den Wabenbau, aber von Auflösung keine Spur.

In dem örtlichen Auftreten des Wabeneises eine Gesetzmässigkeit festzustellen, ist sehr schwierig. Häufig findet man an ein und demselben Eisgebilde die eine Seite ganz und gar mit zelligem Eise bedeckt, während die andere vollständig massig und fest ist. Ja, es ist sogar beobachtet worden, dass der Wabenbau auf derselben Seite eines Eisstückes bis zum gänzlichen Verschwinden allmählich schwächer wurde. Über diese Frage weichen aber die Beobachtungen verschiedener Forscher voneinander ab. Browne, der eine Anzahl Eishöhlen der Schweiz besuchte, berichtet, dass die Oberflächenzeichnung an den Stellen verschwand, wo weisses, lockeres Eis zum Vorschein kam, das aderartig das klare durchzog, und dass nur die klaren Säulen ganz und gar aus prismatischem Eise gebildet waren. Dem entgegengesetzt sind die Beobachtungen Körbers* im Schafloche. Er schreibt gerade dem durchscheinenden, porzellanartigen Eise die Fähigkeit zu, in kleine, meist sechskantige Prismen zu zerfallen, und nennt es deshalb kristallinisch im Gegensatze zum farblos durchsichtigen Eise. Ich habe mich weder der einen noch der anderen Ansicht anschliessen können. Denn bei allen Höhlenuntersuchungen zeigte sich der Wabenbau bei ganz klarem, bei trübem und bei ganz weissem Eise, wenn auch bei letzterem nicht in so regelmässiger Entwickelung. Man kann somit die Farbe des Eises nicht als wesentlich für die Entstehung der Zellen ansehen. Wohl aber kann die Lage eines Eisgebildes in der Höhle von Einfluss sein. Vergleicht man nämlich die verschiedenen Arten von Höhleneis mit Rücksicht auf ihre Fähigkeit den Wabenbau anzunehmen, so muss man allein dem Bodeneis eine Sonderstellung einräumen. Vor allem trat dieser Unterschied deutlich in der Höhle am Zinkenstein im März 1894 auf. Während damals das Wandeis mit schönem Wabenbau geziert war, zeigte sich das wagerecht liegende Bodeneis auch im Dünnschliff als vollständig massig ohne Netzzeichnung. Im Garischen Stollen fiel dieser Gegensatz bei einem Besuch in demselben Monat ebenfalls deutlich auf, wo doch der Wabenbau des Wandeises besonders schön entwickelt war. Ausgeschlossen ist es jedoch nicht, dass sich das Bodeneis wabenartig zerlegt. So meldet Fugger, dass am 17. Juli 1878 der Eisboden der Kolowratshöhle eine zusammenhängende Fläche ohne Schollen, durchaus alveolar und fast ganz trocken war, während das Wandeis den Wabenbau noch nicht zeigte. Ferner schreibt er, dass an derselben Stelle das Wabeneis noch oft im Spätherbste zu beobachten gewesen sei. Auch Browne fand in der Höhle von Grand Anu zu seiner Überraschung, dass das augenscheinlich unprismatische Bodeneis dieser Höhle sich sehr leicht in Prismen spalten liess. Mir ist am Bodeneise nur ein einziges Mal der Wabenbau aufgefallen, und zwar in der Höhle von Demenfalu, wo alle anderen Eisbildungen die Spaltung aufwiesen. Hier waren die Riefen so breit in das Eis eingeschnitten, dass man mit der Stockspitze bequem in ihnen hinfahren konnte. Das zellige Eis machte im ganzen einen gross-

* Jahrb. d. Schweizer Alpenclub. 20. 1884. S. 324 flg.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

narbigen Eindruck, während das übrige vollkommen glatt und ohne Zeichnung war. Die Stelle, an der sich hier die Spaltung zeigte, lag nach dem Rande zu, wies jedoch sonst keine besonderen Eigentümlichkeiten auf. Der Wabenbau verlor sich nach der Mitte zu im übrigen Bodeneise. Besonders ist noch hervorzuheben, dass das wabige Bodeneis in keinem einzigen Falle von Wasser überdeckt war und dass, so viel mir bekannt, bei Eis unter Wasser überhaupt noch nie der Zellenbau wahrgenommen worden ist. Der Übergang des wabenartigen in vollkommen massiges Eis an demselben Stücke wurde an einem mächtigen meterdicken Eissturze der Höhle von Demenfalu beobachtet. Hier befand sich die Netzzeichnung ebenfalls am Rande des Eisgebildes und verlor sich nach der Mitte zu gänzlich. Dabei unterschied sich aber das Eis, das den Wabenbau aufwies, durch nichts von dem übrigen.

Bei den Hang- und Standeisbildungen zeigt sich das Aufhören der Riefung in einer anderen Weise. Man kann hier oft beobachten, dass die eine Seite wabenartig ist, die andere dagegen nicht. So bemerkte Browne, dass das Hangeis der Höhle Grand Anu an der Seite, welche der Aussenluft mehr ausgesetzt war, vollkommen klar und frei von aller sichtbaren äusseren und inneren Linierung war. Die andere Seite zeigte jedoch eine vollständig prismatische Zerlegung des Eises. Eine ähnliche Erscheinung beobachtete ich in der Höhle von Demenfalu an einer etwa 5 m hohen Eissäule, die am oberen Ende in eine Felsspalte mündete. Die Fläche, an welcher allein das Wasser aus dem Spalte herabgelaufen sein konnte, war mit ganz stachligem Eise bedeckt, feucht und massig; die entgegengesetzte Seite erwies sich dagegen durchaus zellig. Auch in der Höhle am Zinkensteine war der Wabenbau am Wandeise nicht überall vorhanden, und zwar gerade dort nicht, wo Tropfwasser auf das Eis herabfloss. An den übrigen Stellen desselben Eisgebildes trat er aber, wie schon erwähnt, sehr schön entwickelt auf.

Bevor wir nun auf die Erklärung der besprochenen Erscheinungen eingehen, müssen wir noch die Wärmeverhältnisse der Höhlen mit Rücksicht auf die Zeit der Wabenbildung näher betrachten.

Sind in der Litteratur bestimmte Angaben über die Temperatur einer Höhle, in welcher der Wabenbau am Eis auftrat, vorhanden, so bewegen sie sich in Übereinstimmung mit den eigenen Beobachtungen immer zwischen den Grenzen 0^0 und $+2^0$. Erwähnungen des Zellenbaues ohne Bezeichnung der Temperatur rühren meist von Besuchen der Höhlen im Sommer und im Herbste her. Zu dieser Zeit befindet sich die Temperatur, wie wir früher gesehen haben, in der Nähe des Nullpunktes. Aber nicht der augenblickliche Wärmegrad allein, bei der das Wabeneis beobachtet wurde, ist für die Erklärung seiner Bildung wichtig, sondern zunächst der Verlauf der Temperatur während des ganzen Zeitraumes, in dem sich die Spaltung vollzieht. Fällt die Entstehung des Zellenbaues in den Sommer und Herbst, so ist, wie aus den früheren Betrachtungen ersichtlich ist, die Temperatur der Höhle ausserordentlich beständig. Sobald die Fröste aufhören, erhebt sich in allen Eishöhlen, den Sackhöhlen und den Windröhren mehr oder minder schnell die Temperatur bis in die Nähe des Nullpunktes, um hier längere Zeit zu verweilen. Aus den Angaben Fuggers, dass das Wabeneis an den Wänden der Kolowratshöhle erst im August auftritt, scheint nun hervorzugehen, dass zur Zellenbildung eine lange Zeit gleichmässiger Temperatur notwendig ist. Die Temperaturkurven aus der Alten Thiele zeigen aber, dass dies nicht der Fall zu sein braucht. Man betrachte nur die Kurven zwischen dem 3. Januar, wo in dieser Höhle noch kein Wabeneis vorhanden war, bis zum 25. März, wo solches gefunden wurde. Zwischen diesen Grenzen ist im allgemeinen der Verlauf der Temperatur nicht besonders ruhig. Doch sind in der angegebenen Zeit zwei Abschnitte (1. bis 12. Februar und 2. bis 24. März) vorhanden, in denen die Innentemperatur gleichmässig sich erhebt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dabei nimmt die Alte Thiele mit Rücksicht auf die Temperaturverhältnisse und das Auftreten des Wabeneises keine isolierte Stellung ein. Denn der Garische Stollen und auch die übrigen besprochenen Eishöhlen Sachsens, die in derselben Gegend liegen und höchstens 100 m Höhenunterschied besitzen, zerlegten ihr Eis in derselben Zeit wie die Höhle im Buchholzer Walde. Überhaupt ist der Temperaturverlauf in dieser nur in einem Punkte von dem der grösseren Eishöhlen unterschieden. Der Periode, in der durch häufigen Wechsel von Frösten und Tauwetter sich das meiste Eis bildet, folgt in ihr die Zeit der Erwärmung viel rascher als in grossen Höhlen. Ihre Temperatur steigt schneller aus den Erniedrigungen durch etwaige Abkühlungen von aussen in unmittelbare Nähe des Nullpunktes. Allen Höhlen ist aber gemeinsam, dass das Eis während seiner Entstehung demselben Wechsel der Temperatur ausgesetzt ist, den die Eishöhlen Sachsens zur Zeit der Wabenbildung aufwiesen.

An die eben erwähnte Thatsache anschliessend, dass sich in grossen Höhlen der Wabenbau erst nach einer längeren Zeit beständiger Temperatur in der Nähe des Nullpunktes zeigt, hat bereits Thury versucht, die Spaltung des Eises zu erklären. Dieser Forscher hat die prismatische Struktur nur bei dem Tropfeise beobachtet und berichtet in seinen Etudes sur les glacières naturelles*: „Bei der Bildung des Tropfeises und der geneigten Ebenen können die Kräfte der molekularen Kristallisation nicht so frei zur Wirkung gelangen wie auf freier Flüssigkeitsoberfläche, weil sie sich den angegebenen Formen anschmiegen müssen. Da nun bei 0° das Eis an Kohärenz verliert, so können bei dieser Temperatur die Molekularkräfte sich frei entfalten und selbst neue Anordnungen schaffen, die, wie die Alveolarstruktur zeigt, meist sechskantige (weniger oft dreiseitige) Prismen sind, deren Achsen senkrecht zur Oberfläche stehen. Diese Formen können aber deshalb nicht rein zur Ausbildung gelangen, da die verschiedenen Dimensionen der zuerst gebildeten Kristalle und die Notwendigkeit, die Zwischenräume auszufüllen, die ursprüngliche Regelmässigkeit zerstört."

Wenn auch diese Anschauung, vor mehr als 30 Jahren ausgesprochen, nur den Tropfeisbildungen die Möglichkeit des Wabenbaues zuweist, so ist sie doch deshalb interessant, weil sie in manchen Punkten mit den Resultaten übereinstimmt, welche Rob. Emden in neuerer Zeit beim Vergleichen verschiedener Eisarten gefunden hat.

Schon früher haben einige Naturforscher darauf hingewiesen, dass gewöhnliches Flusseis zuweilen Bildungen zeigt, welche den Gletscherkörnern vollkommen analog sind. Vor allem ist hier Hermann Schlagintweit** zu erwähnen, der, auf diesen analogen Erscheinungen fussend, eine Theorie der Gletscherkornbildung aufgestellt hat. Ferner muss Alex. Petzold (Beiträge zur Geognosie in Tirol, Leipzig 1843) genannt werden, der von Schlagintweit als der erste bezeichnet wird, welcher Gletschereis und gewöhnliches Eis miteinander verglich. In der Gegenwart hat dann Robert Emden, wie es scheint ohne Kenntnis der angeführten Untersuchungen***, den Vergleich vollkommen durchgeführt und gefunden, dass die Gletscherkornbildung keine Eigentümlichkeit des Gletschereises, sondern eine Eigenschaft eines jeden Eises, somit auch die des Höhleneises ist. Nach Emden sind also die Zellen des Wabeneises und die Gletscherkörner homologe Bildungen. Wenden wir seine Theorie auf das Höhleneis an, so ist die Entstehung des Wabenbaues kurz folgende:

Jedes frisch gebildete Eis besteht aus einer grossen Anzahl von Einzelkristallen, die je nach der Eisart verschieden gelagert sind. Bei dem Seeeise besitzen ihre optischen Hauptachsen alle die

* Arch. des sciences phys. et nat. Nouv. per. 10. 1861, S. 97 u. flg.
** Ann. d. Phys. u Chem. Bd. 80, S. 177.
*** Emden, Das Gletscherkorn, S. 17.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gleiche Richtung senkrecht zur Gefrieroberfläche, wovon nach Bertin auch das an geneigten Flächen gefrierende Eis keine Ausnahme macht. Ihre Nebenachsen sind jedoch nicht gleich gerichtet. Bei dem Gletschereis, und nach Bertin auch bei dem der Eiszapfen, haben die Einzelkristalle eine durchaus regellose Lage zueinander. Es herrscht nun in dem Eise das Bestreben, aus dem Zustande der verschieden gerichteten Einzelkristalle herauszukommen und sich in grössere Kristalle mit gleichgerichteten Achsen umzulagern. Der Prozess wird um so leichter vor sich gehen, je näher die Temperatur des Eises dem Nullpunkt ist; denn dann finden vermöge der grösseren Beweglichkeit der einzelnen Moleküle die kristallisierenden Kräfte weniger Widerstand. Wenn der Vorgang nicht unterbrochen wird, dauert das Umlagern so lange, bis die ganze Eismasse ein vollkommen einheitliches Kristallindividuum ist. Eine Unterbrechung tritt nun in der That meist vorzeitig ein, und zwar durch Schmelzung. Die Teile, welche sich zwischen den Einzelkristallen befinden, können vermöge ihrer labilen Gleichgewichtslage der Wärme nicht so widerstehen wie die Kristalle selbst. Sie werden also zuerst angegriffen, schmelzen aus und lassen die Einzelkristalle als Zellen erscheinen.

Wie wir sahen, herrscht in den Eishöhlen nach dem Aufhören der Fröste längere oder kürzere Zeit hindurch eine Temperatur unmittelbar unter dem Nullpunkte. Nun genügen nach Emden bei manchen Eisstücken schon wenige Tage konstanter Temperatur, um den Wabenbau hervorzubringen. Daher können gerade in den Höhlen die Kräfte, welche eine Vereinigung der Nachbarkristalle anstreben, hinreichend lange Zeit wirken, ohne durch die Schmelzung in ihrer Thätigkeit gestört zu werden. Steigt dann der Wärmegrad der Höhle auf den Nullpunkt, so beginnt zunächst das Schmelzen der Zwischenräume, und die Wabenbildung tritt ein.

Das Wandeis wird nun bezüglich der Zellenbildung nicht allein von der Höhlentemperatur beeinflusst; auf seiner Wandseite macht sich auch die Temperatur des anliegenden Gesteines geltend. Diese beiden sind einander nicht gleich; denn im Felsen kommen die Kälte der Höhlenluft und die Erdwärme gegenseitig zur Wirkung. Aus den nachstehenden Messungen Fuggers, welche die Wärmegrade der Kolowratshöhle und ihrer Umwandung in 1,6 m Tiefe angeben, kann man den bestehenden Unterschied ersehen:

Datum	Höhlen-temperatur	Fels-temperatur
Oktober 1876 .	+ 0,25°	+ 0,4°
26. November 1876	− 1,0°	+ 0,3°
6. Januar 1877 . .	− 0,65°	− 0,5°
31. Mai 1877	− 0,25°	+ 0,1°

Man sieht, dass die Temperatur der Felswand stets etwas höher ist als die Höhlenluft. Demnach wird auch die Vereinigung der Nachbarkristalle an der Wandseite zeitiger beginnen als an der freien Fläche. Der Wärmegrad des Felsens überschreitet aber bei weitem eher den Nullpunkt als die Höhlentemperatur. Auf der ihm zugekehrten Seite wird infolgedessen auch die Schmelzung der Zwischenräume viel schneller beginnen als auf der nicht anliegenden. Auf letzterer kann also die Vereinigung der Nachbarkristalle längere Zeit vor sich gehen. Dies giebt sich dadurch zu erkennen, dass auf ihr die Maschen viel grösser auftreten als auf der Wandseite. Ist das Eis so dünn, dass die beiderseitige Wabenbildung zusammentrifft, so wird die engmaschige Spaltung der Felsseite in die grösseren Felder der freien Fläche eindringen. Daher kommt es, dass bei durch-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gehendem Wabenbau die einzelnen Prismen einen kleinen Querschnitt besitzen. Sobald aber die Schmelzung auf der freien Seite beginnt, wirkt sie viel kräftiger als auf der anderen. Die Oberfläche des Wandeises ist nämlich in den meisten Fällen gegen die wagerechte Ebene geneigt und zwar so, dass beide miteinander einen stumpfen Winkel bilden. Somit wird das Schmelzwasser der Zwischenräume weiter in die Risse eindringen und sie durch Erosion vertiefen. Auf der Wandseite dagegen wird das Schmelzwasser herauslaufen, und die Spaltung vertieft sich ganz langsam nur durch allmähliche Schmelzung. Hieraus folgt, dass die Spalten der Wandfläche in der Regel nicht so tief gehen als die der freien Seite. In ähnlicher Weise lässt sich die manchmal beobachtete Erscheinung erklären, dass an grossen Eisgebilden oben eine kleinere Maschung auftritt als unten. Da die warme Luft in die Höhe steigt, sind die oberen Teile der Höhle immer etwas wärmer als die unteren. Die Kristallvereinigung kann demnach in jenen etwas früher beginnen als in diesen. Die zeitig eintretende Schmelzung in den höher gelegenen Teilen hindert aber durch die Spaltenbildung die Fortsetzung der Vereinigung, welche in den tieferen bei weitem länger andauert. Auch die Thatsache, dass beim Bodeneise der Wabenbau so wenig auftritt, lässt sich zum Teil in ähnlicher Weise erklären. Die kalte Luft sinkt bekanntlich, die wärmere verdrängend, nach unten und bleibt an der tiefsten Stelle so lange liegen, bis sie selbst durch noch kältere verdrängt wird. Über dem Eis am Boden einer Höhle wird hiernach die Luft am längsten unter 0° abgekühlt bleiben und die Schmelzung erst sehr spät Gelegenheit haben, die Waben sichtbar zu machen. Dies wird in der Regel erst dann eintreten, wenn die oberen Eisgebilde der Höhle bereits in vollem Tauen begriffen sind. Dann beginnt das Schmelzwasser herabzutropfen und über das Bodeneis hinwegzufliessen. Hierin liegt aber ein weiterer Grund zur Verhinderung der Wabenbildung.

Es ist bereits erwähnt worden, dass Eiszelle und Gletscherkorn homologe Gebilde sind; daher können wir Versuche mit dem Gletschereise für unseren Zweck mit gebrauchen. Hugi hat nun beobachtet, dass die Haarspalten des Gletschereises bei Einwirkung einer starken, stillen Wärme entweder gar nicht oder nur äusserst unvollkommen auftreten. In diesem Falle fangen die Körner an selbst zu schmelzen, ohne dass eine allmähliche Auflockerung erfolgt.

Demselben Einfluss einer starken, stillen Tauung ist aber das Bodeneis unterworfen, sobald Schmelzwasser über dasselbe hinwegfliesst. Die Wabenbildung wird bei diesem Eisgebilde also auch noch in späterer Zeit verhindert. Dass in der That über Eis fliessendes Schmelzwasser diese Wirkung hat, wurde durch eine in der Höhle am Zinkensteine (März 1894) wahrgenommene Thatsache bestätigt. Hier fehlte, wie erwähnt, der Wabenbau nur an den Stellen des Wandeises, auf welche Tropfwasser herniederfloss. Endlich fand Browne seiner Zeit, dass ein Stück Wabeneis die innere und äussere Spaltung verlor, nachdem er es eine Zeitlang im Munde gehabt hatte.

Ein merkwürdiger Ausnahmefall darf jedoch bei dieser Gelegenheit nicht unerwähnt bleiben. Fugger beobachtete nämlich in der Kolowratshöhle, dass am 17. Juli 1878, also zu einer Zeit, wo noch keine andere Eisbildung in dieser Höhle den Wabenbau zu zeigen pflegt, der Eisboden durchaus alveolar und fast ganz trocken war. Diese Ausnahme erklärt sich aber dadurch, dass nach dem genannten Forscher das Maximum der Temperatur im vorderen Teile der Höhle, wo das Bodeneis lag, zeitiger eintritt als im hinteren. Hier wurde der Wabenbau nie vor Ende August bemerkt.

Auch die einseitige Wabenbildung mancher Eiszapfen und Eissäulen ist eine Wirkung des starken Tauens. Nach meinen Beobachtungen fehlte der Wabenbau bei den Eisgebilden nur an den Seiten, welche dem Schmelzwasser und der Aussenluft ausgesetzt waren.

Betrachtet man die Wabenbildung rein äusserlich, so lassen sich einige der erwähnten Erscheinungen mit der Hypothese Emdens von der molekularen Umsetzung der Einzelkristalle ganz

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gut erklären. Beobachtet man aber den Wabenbau genauer und zwar an der Hand der Abgüsse, so ist es nicht möglich, durch jene Annahme alle Thatsachen ihrer Entstehung nach befriedigend zu deuten.

Hierher gehört vor allem die Art der Wabenbildung bei den Eiszapfen. Diese besitzen nach Bertin* eine durchaus verworrene kristallinische Beschaffenheit. Demnach müsste der Wabenbau, der sich ja nach Emden nach den Einzelkristallen richtet, ein ebenso verworrenes Aussehen haben. Dies nimmt auch letztgenannter Forscher an und nennt das Korn (d. h. die Zelle) der Eiszapfen knotig, kristallinisch, nach allen Richtungen gleichmässig ausgebildet. Damit stimmen meine Beobachtungen aber nicht überein.

Es ist wiederholt gesagt worden, dass bei allen Eisbildungen die Neigung herrscht, Zellen zu bilden, welche senkrecht zur Gefrieroberfläche stehen. Bei den Eiszapfen macht sich dieses Bestreben dadurch kenntlich, dass eine Spaltung entsteht, die sich radial in das Innere des Zapfens erstreckt. Eine solche Spaltung ist bei Quer- und Längsschnitten dieser Eisgebilde wahrgenommen worden, und man kann sie auch deutlich in dem schon genannten Abguss eines Eiszapfenbruchstückes erkennen (Fig. 10). Diese Thatsachen lassen sich nicht wegleugnen, und ihr Vorhandensein widerspricht der im vorhergehenden ausgeführten Hypothese. Man könnte nun einfach die senkrechte Art der Spaltung in der Weise wie Thury erklären, der den Tropfeisbildungen das Bestreben beilegt, sich in Einzelkristalle senkrecht zur Gefrieroberfläche umzulagern. Diese Deutung bedarf aber wieder der Erklärung, warum gerade die betreffende Richtung bevorzugt wird. Es ist jedoch nicht schwer, die Ursache zu finden, welche im stande ist, die Wabenbildung senkrecht zur Eisoberfläche hervorzubringen.

Wir haben schon früher gesehen, dass das Höhleneis durchaus nicht immer gleichmässiger Wärme ausgesetzt ist. Im Gegenteil herrscht häufiger Wechsel von Frost und Tauung, der das Wachstum des Eises begünstigt. Gerade dieser häufige Wechsel der Temperatur zur Zeit der Eisentstehung ist es, der den Grund zur Wabenbildung senkrecht zur Oberfläche legt. Das Eis besitzt einen grossen Ausdehnungskoeffizienten (linear $\alpha = 53 \,.\, 10^{-6}$); es zieht sich also bei Abkühlung stark zusammen, um sich dann bei der Erwärmung nach dem Nullpunkte zu wieder auszudehnen. Diese Änderung der Dimensionen müssen sich nun vor allem stark in den obersten Schichten der Eisbildungen geltend machen, da sie am meisten den Temperaturschwankungen ausgesetzt sind. Die hierdurch entstehenden Spannungsunterschiede machen sich dann in einer Rissbildung senkrecht zur Oberfläche des Eisstückes geltend. Die Änderungen durch die Wärmeschwankungen gehen nun nicht in einer einzigen Richtung vor sich, sondern sie werden nach den Dimensionen der betreffenden Eisstücke erfolgen. Bei dem Boden- und dem Wandeise, die nach Länge und Breite ungefähr gleichmässig ausgebildet sind, wird infolgedessen die Rissbildung in keiner besonderen Richtung begünstigt. Die Spalten müssen sich durchkreuzen, und es entsteht so eine grosse Zahl von Elementarzellen, welche sich senkrecht zur Oberfläche nebeneinander befinden. Von den Temperaturschwankungen ist aber, wie wir gesehen haben, auch die Wandseite des Eises nicht frei. Die Spaltenbildung wird also auf dieser Seite ebenfalls eintreten. Bei den Eiszapfen ist vor allem die Dimension der Länge bevorzugt. Dieses Gebilde wird sich somit zunächst der Länge nach verändern und hierdurch eine Spaltung auf der Oberfläche erhalten, die senkrecht zur Längsrichtung des Zapfens und ringförmig um ihn angeordnet ist. Dann ist aber auch sein Querschnitt den Veränderungen der Temperatur unterworfen. Die dadurch veranlasste stärkere Ausdehnung der Oberfläche im Verhältnis zur Mitte des Eiszapfens bringt eine Spaltung hervor, die sich radial nach dem Innern erstreckt. Das

* Ann. de chim. et phys. 5. série XIII, 1878, S. 283.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Endergebnis der Dimensionsänderungen sind in diesem Falle Elementarzellen, die erstens nach der Mitte des Querschnittes gerichtet und dann ringförmig um den Zapfen angeordnet sind. Schliesslich ist noch das Bandeis zu erwähnen, das wegen der einseitigen Entwickelung seiner Dimensionen auch zu einer einseitigen Wabenbildung führen muss. Die Spannungsunterschiede entstehen hier hauptsächlich durch die verschieden grosse Ausdehnung des Eises und des Felsgesteines, das mit jenem eng verbunden ist. Die linearen Ausdehnungskoeffizienten sind nämlich für Eis $53 . 10^{-6}$ und für Granit $9 . 10^{-6}$ (Kalkstein $8 . 10^{-6}$). Die Schwankungen in der Ausdehnung des Eises sind daher etwa 6 mal so gross als die der Felswand, an welcher es haftet. Durch die hierdurch bedingten Längenunterschiede entsteht bei Abkühlung eine Querspaltung, welche senkrecht zur Felswand gerichtet ist. Bei Temperaturerhöhung spaltet dagegen das Eis senkrecht zur freien Begrenzungsfläche des Bandeises, welche jedoch der Felswand annähernd parallel läuft. Auf solche Weise wird der Grund zu der früher beschriebenen Zerlegung in Querstreifen gelegt.

Die Risse, welche durch die Temperaturschwankungen hervorgebracht werden, sind nun, da die Längenänderungen jedes kleine Teilchen betreffen, äusserst fein. Das erste Spaltennetz, das die Eisfläche bedeckt, wird folglich besonders fein und engmaschig sein, wie es Pictet auch bei dem Eise, das in seinen Kältemaschinen hergestellt wurde, mit der Lupe beobachtete.

Die Elementarzellenbildung ist aber erst die Grundlage zum eigentlichen Wabenbau, dessen Entstehung nun in derselben Weise, wie es Emden gethan hat, erklärt werden kann.

Die feinen Spalten sind nicht so weit, dass nicht zwischen den benachbarten Elementarzellen der früher besprochene Umlagerungsvorgang stattfinden könnte. Tritt ja doch nach den Versuchen von Emden in den Eisstücken ursprünglich auch eine engmaschige Spaltung auf, die äusserlich als feine Netzbildung erscheint und sich nach und nach vergrössert. Die Elementarzellen werden somit erstens sich selbst kristallinisch einheitlich umgestalten (wenn sie es nicht schon sind) und dann sich mit ihren Nachbarn zu vereinigen streben. Die Richtung dieser ersten Zellen senkrecht zur Oberfläche ist aber bereits festgelegt, und die Vereinigung zu grösseren Einheiten wird daran nichts ändern. Die verschiedenartige Entwickelung des Wabenbaues bei den besonderen Eisbildungen ist demnach leicht erklärlich. Die Elementarspaltung am Wand- und Bodeneise, die nach keiner Richtung besonders ausgebildet ist, bringt eine gleichmässige Maschung hervor. Bei den Eiszapfen zeigen dagegen die ringförmig gelagerten und keilförmig nach dem Innern sich verjüngenden ersten Einzelkristalle nach ihrer Vergrösserung ebenso angeordnete Zellen, und am Bandeise erkennt man schliesslich in der parallelen Querspaltung die oben besprochene Rissbildung senkrecht zur Felswand wieder. Die eigentliche Entwickelung des Wabeneises hat man sich nun genau so durch Ausschmelzung zu denken, wie dies früher (S. 36) ausgeführt worden ist.

Nun könnte man meinen, dass die Spaltung senkrecht zur Oberfläche immer ganz regelrecht prismatische Zellen hervorbringen müsse. Das ist nur in einem Falle möglich, wenn nämlich das Eis durchaus homogen ist. Da aber das Gefrieren eines Eisstückes oft unter wechselnden Temperaturverhältnissen erfolgt, so braucht das Eis gar nicht gleichartig beschaffen zu sein. Dies gilt besonders von den Eisgebilden, die durch Tropfenfall allmählich und nicht, wie Bodeneis und manche Wandeisbildungen, durch schichtweises Gefrieren entstanden sind. In ihnen kann die Spaltung nicht immer in der angefangenen Richtung fortgesetzt werden, sondern sie erfolgt nach den bei der Ausdehnung des ungleichartigen Eises auftretenden Spannungsunterschieden. Hierdurch wird die bei einigen Eisstücken beobachtete Erscheinung der geschweiften Wabenbildung leicht verständlich. Bei dieser erkennt man aber, wie zum Schlusse noch bemerkt werden möge, doch das Bestreben, senkrecht zur Oberfläche des Eises zu spalten.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fasst man nun die bisher gefundenen Resultate zusammen, so ergiebt sich, dass der Ursprung aller Wabenbildung im Eis in den Temperaturschwankungen der Höhle zur Zeit der Eisentstehung zu suchen ist.* Diese bewirken die überall wahrgenommene Spaltung senkrecht zur Oberfläche. Die weitere Entwickelung beruht dann im Sinne von Hagenbach und Emden auf dem Bestreben der Nachbarzellen, sich zu grösseren Einheiten zu vereinigen. Die Fortbildung dieser grösseren Kristalle wird schliesslich durch die Ausschmelzung der Räume zwischen den Einzelkristallen verhindert. Hieraus erklärt sich die Verschiedenheit des Wabenbaues bei Eisgebilden derselben Höhle.

Über die Einwirkung grosser Kälte auf den Wabenbau des Eises habe ich nach Beendigung der vorliegenden Arbeit noch einige Versuche angestellt, deren Ergebnis nachträgliche Erwähnung finden möge.

Eine Eisplatte (0,5 cm stark), bei der die feine Netzzeichnung auf Zerlegung in Einzelkristalle hindeutete, wurde unter dem Mikroskop untersucht. Die Maschen wiesen rundliche Formen auf und waren durch Rinnen von einander getrennt. Auch der beim Zusammenstossen von je drei Zellen entstehende Raum war nicht ausgefüllt. Wurde nun das Eisstück grosser Kälte (—10°) ausgesetzt, so verschwanden nach kurzer Zeit sämtliche Spalten. Selbst bei starker Vergrösserung zeigte sich keine Wabenbildung mehr. Sie trat jedoch sehr bald wieder auf, wenn die Temperatur in die Nähe des Nullpunktes stieg. d. V.

* Versuche über Rissbildung im Eise durch den Frost stellte Schlagintweit an. (Ann. der Physik und Chemie. Bd. 80, S. 177.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Abbildungen von Gypsabgüssen verschiedener Eisstücke.

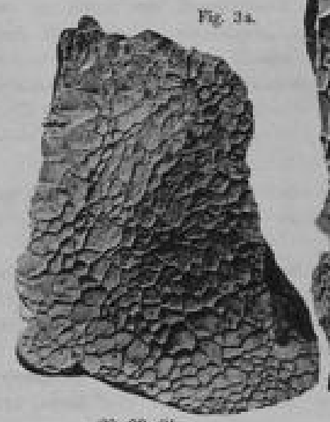
Fig. 1.

6,*) 28.

Fig. 2.

26.

Fig. 3a.



28, 29, 31.

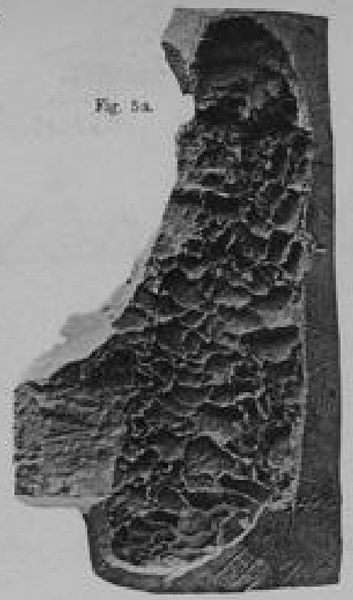
Fig. 3b.

28, 29, 31.

Fig. 4.

28.

Fig. 5a.

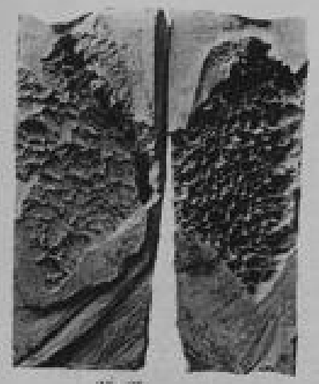


(Freie Seite) 28, 29, 31.

Fig. 5b.

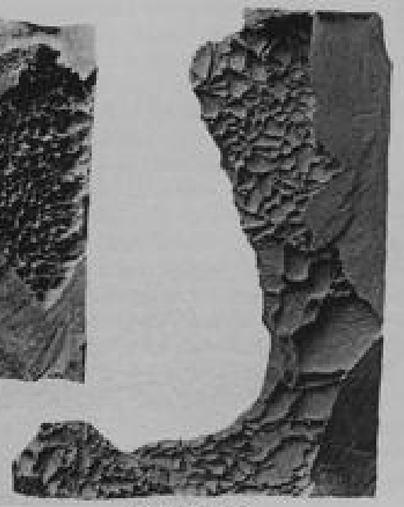
(Wandseite) 28, 29.

Fig. 6.



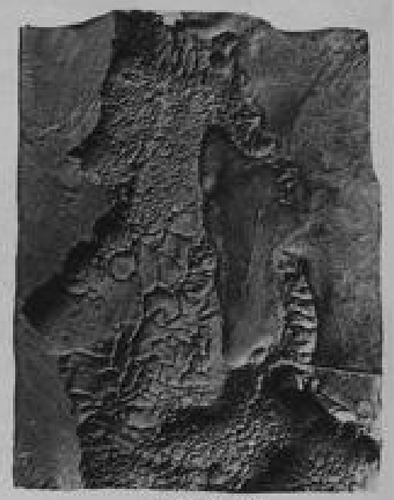
28, 29.

Fig. 7a.



(Freie Seite) 29.

Fig. 7b.



(Wandseite) 29.

Fig. 9.

30.

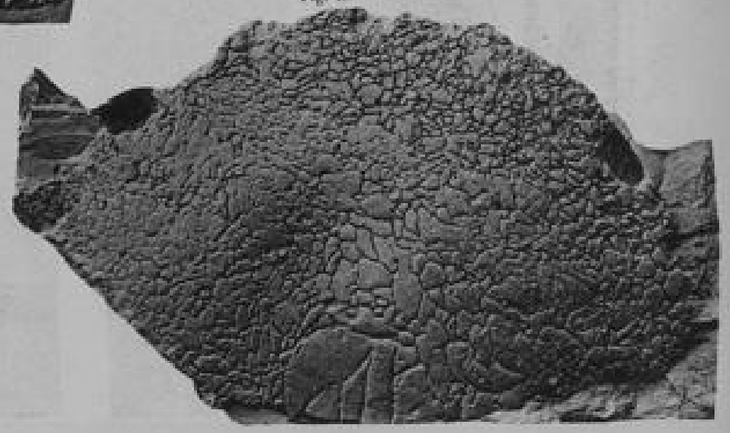
Fig. 10.

30.

Fig. 11.

31.

Fig. 8.



28.

*) Die Zahlen unter den Figuren geben die Seiten an, auf denen in der vorliegenden Arbeit das betr. Eisstück erwähnt wird.

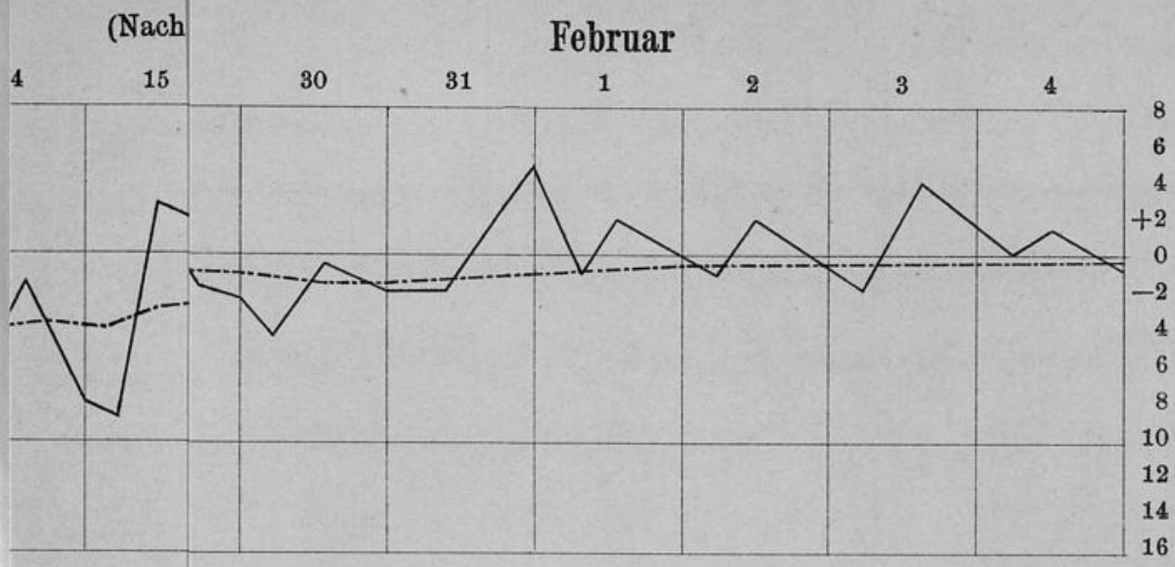
Aufnahme und Lichtdruck: Phototechnisches Institut Dr. Trenkler & Co., Leipzig.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

urverlau

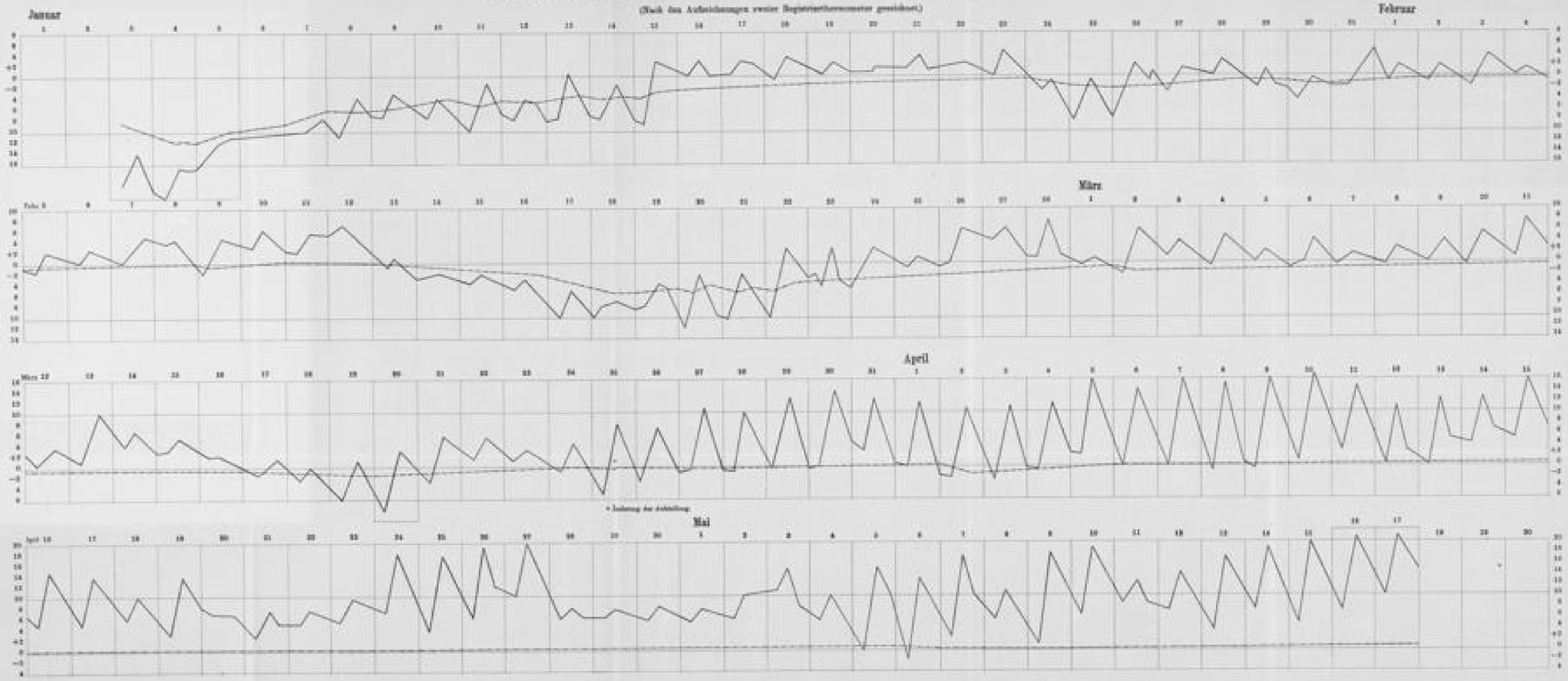
(Nach



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Tafel I. Temperaturverlauf innerhalb (------) und ausserhalb (——) der Alten Thiele.

(Nach den Aufzeichnungen zweier Registrirthermometer gezeichnet.)



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ordnung der öffentlichen Prüfungen.

Mittwoch, den 3. April.

8—9 Uhr Va.	Religion	Opel.	3—4 Uhr IVa.	Geschichte	Dr. Le Wang
	Französisch	Clauss.		Geometrie	Dr. Lehmann
9—10 „ Vb.	Rechnen	Weber.	4—5 „ IVb.	Deutsch	Dr. Schelle
	Latein	Dr. Schönebeck.		Geographie	Dr. Uhlenbeck
10—11 „ VIa.	Deutsch	Dr. Hohmann.			
	Geographie	Dr. Schwenn.			
11—12 „ VIa.	Latein	Dr. Lehmann.			
	Naturgeschichte	Morgenstern.			

12—1 Uhr Turnen.

Donnerstag, den 4. April.

8—9 Uhr UIIIb.	Religion	Dr. Lyon.	3—4 Uhr OIIIb.	Chemie	Prof. Dr. Ka
	Geometrie	Dr. Lehmann.		Französisch	Dr. Schönebe
9—10 „ UIIIa.	Französisch	Dr. Hahn.	3—4 „ OIIIa.	Algebra	Gebhardt.
	Geographie	Prof. Dr. Weber.		Latein	Dr. Hamach
10—11 „ OIIIa.	Deutsch	Hartwich.			
	Englisch	Prof. Dr. Brink.			
11—12 „ OIIIb.	Latein	Dr. Schwenn.			
	Geschichte	Dr. Hahn.			

Freitag, den 5. April.

8—9 Uhr UIIIb.	Religion	Pfennstein.	10—11 Uhr VIIb.	Mathematik	Prof. Dr. Ri
	Französisch	Dr. Lehmann.		Deutsch	Dr. Lyon.
9—10 „ UIIa.	Geschichte	Dr. Uhlenbeck.	11—12 „ VIIa.	Physik	Dr. Hochm
	Latein	Dr. Hamwege.		Englisch	Dr. Schönebe

Die Zeichnungen der Schüler liegen im obern Zeichensaale zur Ansicht aus.

Die Aufnahmeprüfung findet **Montag, den 30. April**, von **früh 8 Uhr** an statt. Da am [illegible] den Tage vormittags 10 Uhr der Gebetstag für Majestät den Königs in [illegible] Weise durch [illegible] Feinsinne gefeiert werden soll, beginnt der Unterricht im neuen Semester erst **Mittwoch, den 30. A[illegible] früh 7 Uhr.**

Die Sprechstunden der Unterzeichneten sind täglich von 11—12 Uhr mit Ausnahme der [illegible] und Feiertage sowie der Schulfeiern.

Dresden, den 15. März 1891.

Prof. Dr. **A. Oertel**, Rektor.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

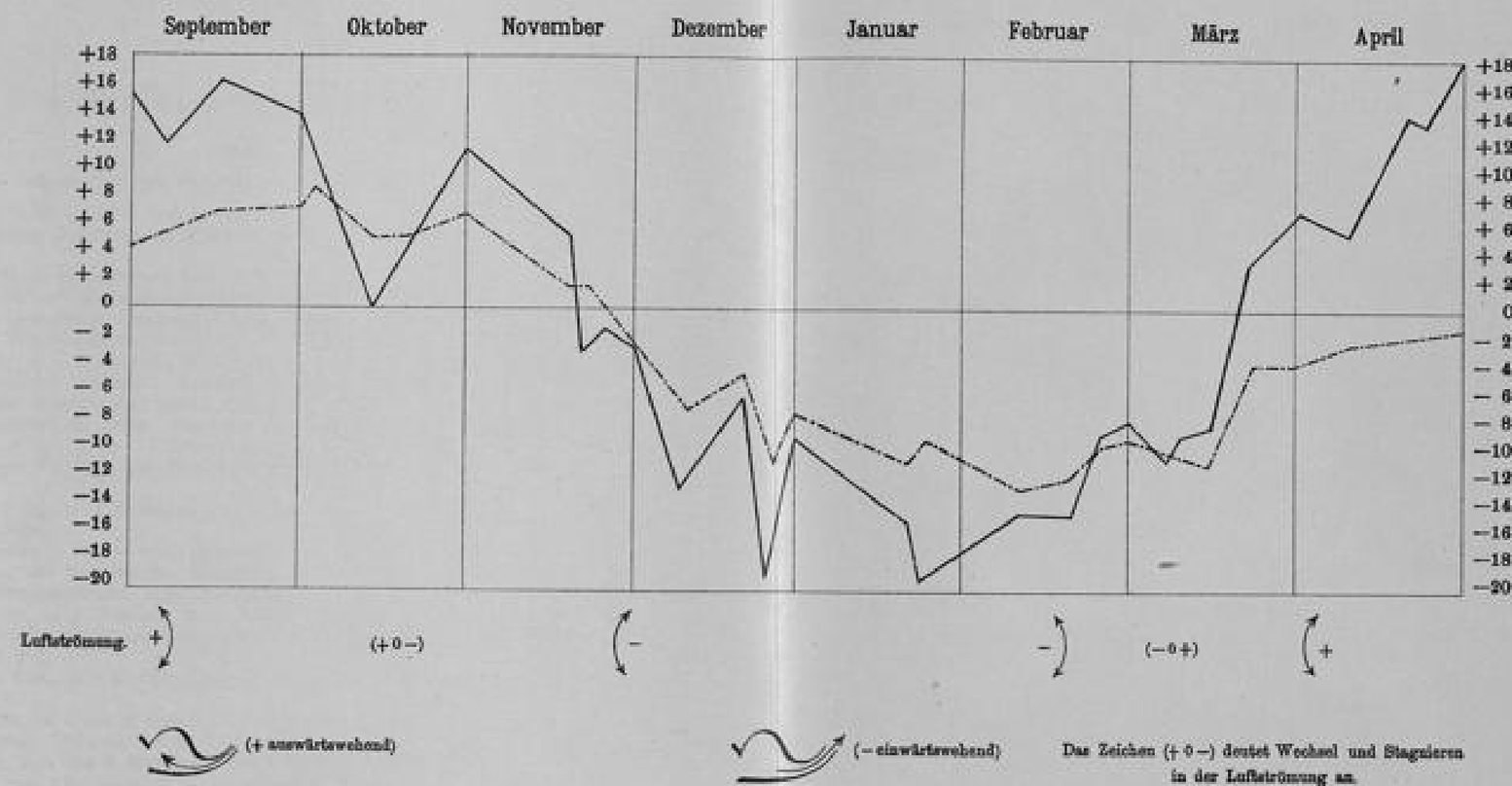
Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

übungen. Vorwiegend Übungen im Schweben, Steigen, Klettern. Hangstand, Streckhang, Liegestütz. — Turnspiele fanden in den Turnstunden nur wenig Berücksichtigung, da dieselben (besonders deutscher Fussball, Schlagball, Barrlauf) im Sommerhalbjahr allwöchentlich am Montag, Donnerstag und Freitag von 5—7 Uhr unter Leitung Eckardts und Morgensterns, zunächst bei freiwilliger Beteiligung der Schüler aus VI—OIII, betrieben wurden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Tafel II. Temperaturverlauf innerhalb (-·-·-·-) und ausserhalb (——) der Eishöhle V von Illetzk.

(Nach den Angaben Listoffs konstruiert.)



übungen. Vorwiegend Übungen im Schweben, Steigen, Klettern. Hangstand, Streckhang, Liegestütz. — Turnspiele fanden in den Turnstunden nur wenig Berücksichtigung, da dieselben (besonders deutscher Fussball, Schlagball, Barrlauf) im Sommerhalbjahr allwöchentlich am Montag, Donnerstag und Freitag von 5–7 Uhr unter Leitung Eckardts und Morgensterns, zunächst bei freiwilliger Beteiligung der Schüler aus VI—OIII, betrieben wurden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf