

Die Dachstein-Rieseneishöhle nächst Obertraun und ihre Funktion als dynamische Wetterhöhle

Von

Rudolf Saar (Wien).

Vorwort:

Die Dachstein-Rieseneishöhle bei Obertraun ist nicht nur für das Land Oberösterreich, das Salzkammergut und die Republik Österreich ein beachtenswertes und viel bestauntes Naturdenkmal, sondern auch infolge ihrer großzügigen Erschließung mit öffentlichen Mitteln ein nicht zu unterschätzender Wirtschaftsfaktor für den österreichischen Fremdenverkehr. Deshalb liegt die Obsorge um ihre unveränderte Erhaltung auch im öffentlichen Interesse.

Da der ihr charakteristische Eisformenschatz keineswegs ein absolut stabiles Erzeugnis sehr verwickelter und variabler Naturkräfte ist, schien es schon lange geboten, im Wege einer methodischen Untersuchung die konstruktiven Gesetzmäßigkeiten zu untersuchen und festzustellen, denen sie ihre Eigenart, ihr besonderes Gepräge und ihre Weltberühmtheit verdankt; dies um so mehr, als auch eine scheinbar ungünstige Korrelation dieser Gesetzmäßigkeiten in den letzten Jahren destruktive Kräfte in ihrem Bereiche auslösen und ihren Bestand als „Eishöhle“ gefährden kann.

Wenn überhaupt möglich, können jedoch nur auf Grund systematischer, langjähriger Beobachtungen und Untersuchungen Maßnahmen gegen solche, das Naturdenkmal bedrohende Einflüsse gefunden und angewendet werden. Auch dieser Forderung soll, soweit dies derzeit schon möglich ist, die folgende Studie dienen.

1. Allgemeines.

Über die Voraussetzungen und Bedingungen, die für die Temperaturgestaltung in natürlichen Hohlräumen (Evakuationen) der obersten Erdkruste maßgebend sind, bestehen heute, wie die einschlägige, namentlich jüngste Literatur zeigt, keine wesentlichen Meinungsverschiedenheiten mehr. Die Ansichten der Autoren schwanken lediglich nur noch in der Beurteilung des *Ausmaßes*, mit dem einzelne der verschiedenen, dabei wirksamen, Komponenten mitbeteiligt zu sein scheinen.

Da es nicht Aufgabe dieser Arbeit ist, eine Darstellung der älteren Theorien über das Auftreten *extremer* Temperaturen in Naturhöhlen zu geben, wird diesbezüglich auf die einschlägige Literatur verwiesen (siehe Anhang).

Mit der Nomenklatur lehnt sich diese Arbeit an *Kyrles* „Grundriß der Theoretischen Speläologie“ (1923) an, um die auf diesem Gebiete wenigstens einigermaßen erreichte Ordnung und Systematik nicht zu stören.

Von den natürlichen Evakuationen mit *extrem* niedriger Tempera-

tur (und daher gelegentlich auch periodischer oder permanenter Eisbildung) wurden die sogenannten „wirklichen Eishöhlen“ (E. Fugger (oder „statischen Wetterhöhlen“ (G. Kyrle), sackartig in die Erdkruste absinkende Höhlen mit nur einem Eingang, ziemlich genau untersucht und in zahlreichen, zum Teil ausführlichen Publikationen behandelt. Es liegen über die in ihnen herrschenden Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse Serienbeobachtungen und Autographen-Diagramme vor, so für die Eishöhle von Chaux les Passavant bei Besançon von A. Girardot und L. Trouillet (1886), von H. Lohmann für den aufgelassenen Bergwerksstollen „Alte Thiele“ bei Buchholz im Erzgebirge (3. Jänner bis 17. Mai 1894), für die Eishöhle von Dobsina in den Kapatzen von A. Krenner (1874) und L. Steiner.

Untersuchungen und Beobachtungen in dynamischen Wetterhöhlen waren, wenn man von einzelnen Hinweisen im Schrifttum abieht (z. B. Beer-Hassinger, 1902), bis 1910 ziemlich dürftig und wurden erst durch die Entdeckung der großen alpinen, dynamischen Wetterhöhlen (Rieseneishöhle im Dachstein, Eisriesenwelt im Tennengebirge u. a. m.) ausgelöst und vertieft. H. Lohmann hat 1895, unserem Wissen nach, das bisher einzige Thermogramm einer mit Sicherheit als dynamische Wetterhöhle angesprochene Höhle, das der Eishöhle V von Illetzk (nach Angaben Listoffs) veröffentlicht, das sich auf einen Beobachtungszeitraum von acht Monaten bezieht.

Nach 1910 waren es H. Bock und G. Lahner (1910, 1913, 1948), R. Saar (1914, 1920, 1923), E. Hauser und R. Oedl (1921—1923), K. Wolf (1931), R. Pirker (1931, 1952) und G. Gressl (1953), die eingehendere Untersuchungs- und Beobachtungsergebnisse in dynamischen Wetterhöhlen (Eishöhle im Dachstein, Eisriesenwelt im Tennengebirge, Badlhöhle bei Peggau, Ötscherhöhle) veröffentlichten. 1951 lieferte G. Abel anschauliche und wertvolle Daten über statische und dynamische Wetter- (Eis-) höhlen im Bundesland Salzburg. Damit ist aber die Aufzählung der Arbeiten über meteorologische Verhältnisse in dynamischen Wetterhöhlen Österreichs auch so gut wie erschöpft. Dies war insbesondere der Anlaß für die von G. Kyrle 1928/29 durchgeführten Serienuntersuchungen in der Dachstein-Rieseneishöhle (D. R. E.); als das erste große Erschließungsprojekt für den Dachsteinhöhlenpark zur Diskussion stand, um durch methodische Untersuchung festzustellen, ob die durch die Erschließung bedingten Eingriffe ohne Gefahr für den Bestand des Objektes zugelassen werden könnten bzw. ob es möglich wäre, ihre unvermeidlichen Auswirkungen, insbesondere auf den Temperaturhaushalt der Höhle, ohne der Natur Gewalt anzutun, durch entsprechende Maßnahmen zu kompensieren oder auszuschalten.

Diese heute mehr denn je aktuelle Fragestellung führte zwangsläufig zu der Notwendigkeit, die Beobachtungen und Messungen fortzuführen, zu einem ständigen Kontrolldienste auszubauen und ihre Ergebnisse sowie die jener Zeit, da sich die Höhle noch wesentlich in ihrem ursprünglichen Zustand befand, einer kritischen Untersuchung und vergleichenden Verarbeitung zu unterziehen, woraus sich ein ziemlich geschlossenes Bild des Ablaufes der meteorologischen Verhältnisse innerhalb von mehr als 40 Jahren in ihr ergab.

Es steht außer Zweifel, daß die Temperaturverhältnisse, sowohl in statischen als auch in dynamischen Wetterhöhlen, nicht nur von denen der Außenluft im Bereich ihrer Eingänge und Mundlöcher maßgeblich beeinflusst werden, sondern auch von allen im Bereich ihres Lageortes jeweils herrschenden meteorologischen Elementen (Regionalklima) abhängen. Daher wurden vor allem die jeweiligen meteorologischen Verhältnisse in der Höhle mit der zu ihnen synchron verlaufenden meteorologischen Situation auf der Erdoberfläche in Beziehung gebracht. Denn „nicht die Eisbildung ist das wissenschaftlich interessante Phänomen, sondern die Temperaturverhältnisse in den Höhlen. Denn Eisbildung bei Temperaturen unter Null Grad und Wassereintritt ist doch selbstverständlich“. (A. Roschkott, 1921, H. Bock, 1913.) Dieser Feststellung kann nur beigepflichtet werden. Sie bestimmt auch den Weg, den die vorliegende Untersuchung zu nehmen hat.

Daß die Temperatur statischer und dynamischer Wetterhöhlen maßgebend von der der Außenluft bestimmt wird, wurde schon frühzeitig erkannt und wird sowohl von der älteren als auch von der jüngeren Literatur einhellig bestätigt. (F. Kraus (1894), B. Schwalbe (1881, 1888), G. Cramer (1899), E. Fugger (1888, 1891/93), E. Hauser und R. Oedl (1921/23), H. Bock (1913), R. Saar (1913/14, 1922/24), G. Kyrle (1922), L. Steiner (1922), A. Roschkott (1921), K. Wolf (1931), R. Pirker (1952), F. Trombe (1947/52).

Wohl betreffen diese Beobachtungen und Angaben in erster Linie und meistens statische, kalte Wetterhöhlen (im Gestein absinkende Luftsäcke mit nur einem feststellbaren Eingang), doch werden, wie schon Lohmann (1895) richtig bemerkte, zahlreiche als rein statische Wetter- oder Eishöhlen bezeichnete Evakuationen in Wirklichkeit auch dynamisch bewettert, weil sich die Durchlüftung auch dieser Höhlen, namentlich in tektonisch stark durchgearbeiteten Brausgesteinen, durch Klüfte und Spalten vollzieht, die in einem anderen Niveau als dem der bekannten Eingänge gelegene Verbindungen mit der Erdoberfläche herstellen¹⁾. In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse wohl so, daß fast jede Höhle mit extrem

¹⁾ So auch R. Pirker und F. Trombe (1952).

niedrigen Temperaturen teils statisch, teils dynamisch bewettert wird, was um so öfters eintritt, je uneinheitlicher und komplizierter der Aufbau des Evakuationsystems ist und je mehr es von dem Urtypus des kalten Luftsackes mit nur einem Eingang oder der den Berglaib schräg oder horizontal-vertikal abgewinkelt aufwärts durchziehenden Wetterröhre mit zwei in verschiedenen Horizonten gelegenen Eingängen abweicht.

Ebenso wie der Artusdomkomplex mit seinen Nebensystemen weder genetisch noch morphologisch als die organische Fortsetzung der Tristan-Parsivaldomachse der D. R. E. (Abb. 1) angesprochen werden kann, ebenso vermitteln nur die an den St. I bis V gemachten meteorologischen Beobachtungen und registrierten Werte den primären und kausalen Ablauf eines in sich geschlossenen physikalischen Vorganges, während die im Artusdom und seinen Nebenräumen herrschenden meteorologischen Verhältnisse nur in untergeordnetem Maße und sekundär, wenn überhaupt, von jenen des Tristan-Parsivaldomsystems beeinflusst, vielmehr von anderen Komponenten gestaltet werden.

Die Vertikalgliederung der Höhle scheint auf den ersten Blick mitbestimmend für die verschiedenen thermischen Verhältnisse ihrer einzelnen Teile zu sein. In den aufsteigenden Luftsäcken der Iwanhalle und des Plimisoel-Korsystems trifft man, wie zu erwarten ist, die höchsten Temperaturen des Höhlenwetters, in dem absteigenden Ast der Höhle, vom Eingang bis zum Parsivaldom, herrschen die niedrigsten. Dazwischen liegt aber der tiefste Teil der Höhle, der nach den bisherigen Anschauungen (F. Kraus, E. Fugger, R. Lohmann, R. Schwalbe, G. Kyrle) eigentlich die niedrigsten Temperaturen aufzuweisen kätte, jedoch thermisch eine Mittellage zwischen den beiden vorgefundenen Extremen einnimmt. Der Grundsatz, daß das Absinken eines Höhlenraumes im Bergleibe die Entstehung extrem niederer Temperaturen und damit die Höhleneisbildung begünstigt, wenn nicht sogar auslöst, hat für statische Wetterhöhlen Gültigkeit, wie alle Untersuchungen in diesem Höhlensystem bestätigen. (H. Cramer [1886, 1899], E. Fugger [1891/93], L. Steiner [1922], G. Kyrle [1923] u. a. m.) Für dynamische Wetterhöhlen hat er jedoch nur eine beschränkte Geltung, wie sich besonders deutlich an den Verhältnissen in der Eisriesenwelt im Tennengebirge, der bisher größten bekannten dynamischen Wetterhöhle, zeigt, deren dem Eingang (1641 m) zunächst liegende Räume steil und kontinuierlich auf einer Länge von 1 km bis 1760 m, also rund 120 m, ansteigen und trotzdem in ihrer ganzen Ausdehnung extrem tiefe Temperaturen und mächtige, permanente Höhleneisbildungen zeigen.

Es soll nun zuerst versucht werden, die Höhlenwettertemperaturen nicht nur mit den Normalwerten der Außentemperatur einer längeren Periode (1881—1930), sondern auch mit den Jahres- bzw. Monatsmitteln

der Außentemperaturen der jeweiligen Beobachtungsperioden in Beziehung zu bringen.

Nach E. L a u s c h e r haben die langjährigen Monats- bzw. Jahresmittel in den für die D. R. E. in Betracht kommenden Seehöhen folgende Werte:

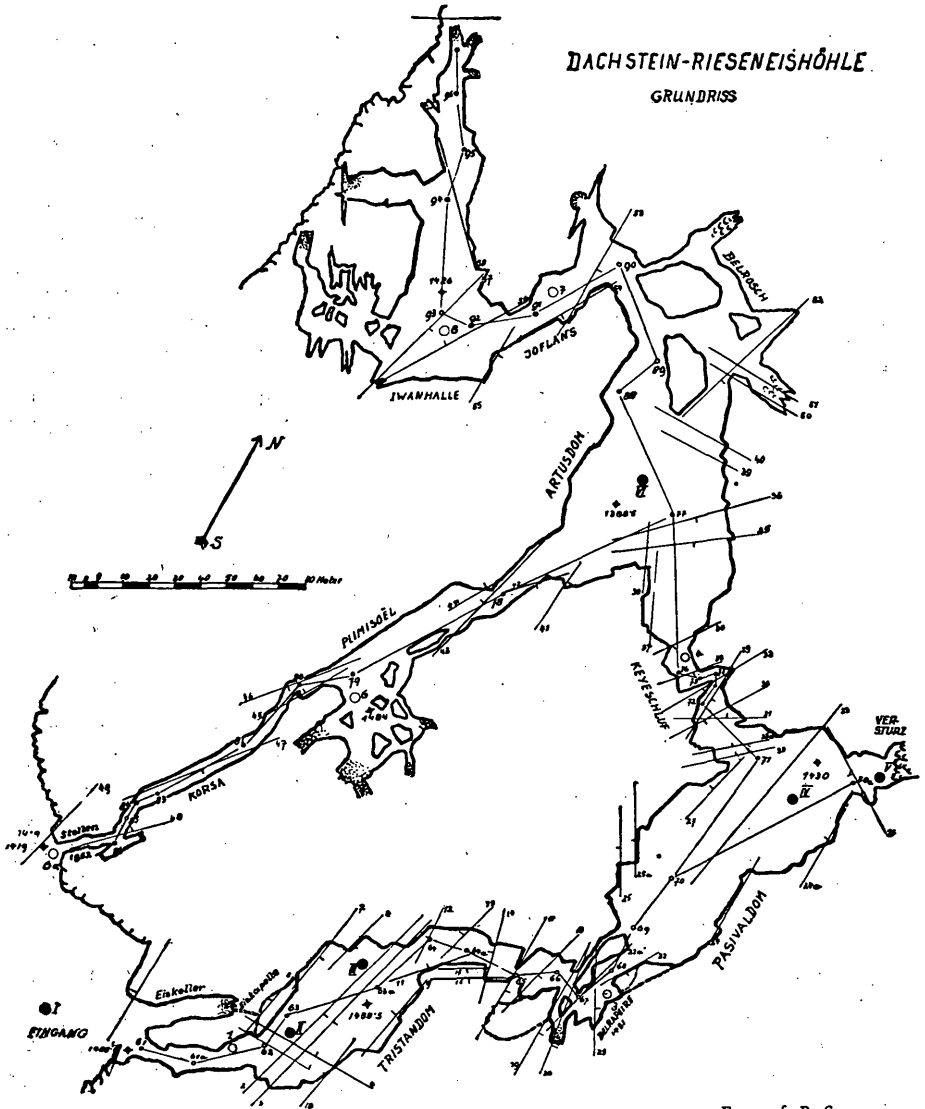
See- höhe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahres- mittel
1400	-4,0	-3,5	-0,9	3,0	7,8	10,0	12,5	12,3	9,2	5,1	-0,0	-3,5	4,0° C
1450	-4,2	-3,8	-1,0	2,8	7,5	9,8	12,3	12,0	9,0	4,9	-0,2	-3,6	3,7° C
1500	-4,5	-4,2	-1,4	1,9	6,6	9,4	11,8	11,5	8,4	4,6	-0,4	-3,7	3,4° C
1600	-5,0	-4,8	-2,1	1,2	6,0	9,0	11,2	11,1	8,1	4,0	-1,0	-4,2	2,8° C
1700	-5,3	-5,2	-2,8	0,5	5,2	8,4	10,7	10,2	7,5	3,7	-1,3	-4,8	2,5° C
1800	-5,8	-5,7	-2,9	0,0	4,6	7,7	10,0	9,8	6,8	3,0	-1,8	-5,5	1,8° C
1900	-6,5	-6,5	-3,2	-0,8	4,2	7,0	9,5	9,2	6,0	2,3	-2,5	-5,5	1,1° C

Da die unteren Höhleneingänge bei 1450 m liegen, war für den Außenluftkörper in ihrem Bereich eine mittlere Jahrestemperatur von 3,7° C anzunehmen. Die oberen (unbekannten) Verbindungen des Höhlensystems mit der Erdoberfläche dürften in Seehöhen zwischen 1600 und 1900 m liegen. Die mittleren Jahrestemperaturen für den Außenluftkörper in diesen Seehöhen lagen daher zur Zeit der Entdeckung der Höhle und noch längere Zeit danach zwischen 2,8 und 1,1° C.

Jenseits der wärmeunstetigen äußersten Kruste der Erdrinde, in der die Bodentemperatur der der Außenluft folgt und die im allgemeinen mit 20 bis 25 m Dicke angenommen werden kann, ist die Bodenwärme etwa gleich der mittleren Jahrestemperatur an der Erdoberfläche. Von hier ab nimmt die Erdwärme entsprechend der örtlich-variablen und durch die Bodenstruktur bedingten Erdwärmestufenstufe fortschreitend zu. Weder die mittleren Monats- noch die mittleren Jahrestemperaturen der Außenluft im Bereich der D. R. E. sind so beschaffen, daß sie für sich allein eine Temperaturgestaltung in ihr bewirken können, die die Bildung und Erhaltung permanenten Höhleneises ermöglicht. Die der örtlichen Erdwärmestufenstufe entsprechende Steigerung der Erdwärme im Inneren des Gebirgsleibes muß mit zunehmender Tiefe bzw. Länge der Höhle der Entstehung niederer Temperaturen in ihrem Innern sogar hemmend entgegenwirken. Das erkannte schon ganz allgemein B. S c h w a l b e (1881, 1886), der daraus den Schluß zog, daß deshalb noch andere Komponenten als nur die mittlere Jahrestemperatur des Lagerortes einer Evakuations²⁾ für die Entstehung von zur Bildung von Eis nötigen niedrigen Temperaturen in ihr maßgebend sein müßten.

²⁾ E v a k u a t i o n (Evakuationsraum, Evakuationschlauch) = der vom Muttergestein begrenzte primäre Hohlraum;

K o n v a k u a t i o n (Konvakuationsraum, Konvakuationschlauch) = der teils vom



Entwurf: R. Saar

Abb. 1. Eingezeichnet sind die meteorologischen Meßpunkte (St.) ● I, II, usw., Autographenstationen; ○ 1, 2 usw., Standthermometer und Felsstemperatur-Meßstellen; weiter der Verlauf der wichtigsten Klüfte, Klüftscharen (Verwerfer), der Hauptpolygonzug und die wichtigsten Höhenkoten.

Muttergestein, teils vom Höhleninhalt (Ablagerungsprodukten, Blockwerk, Schotter, Sand, Wasser, Lehm usw.) begrenzte sekundäre Hohlraum;
Evakuationschale, Konvakuationschale = das den primären oder sekundären Hohlraum unmittelbar begrenzende Material (Muttergestein, Ablagerungen, Blockwerk, Schotter, Sand, Wasser, Lehm usw.).

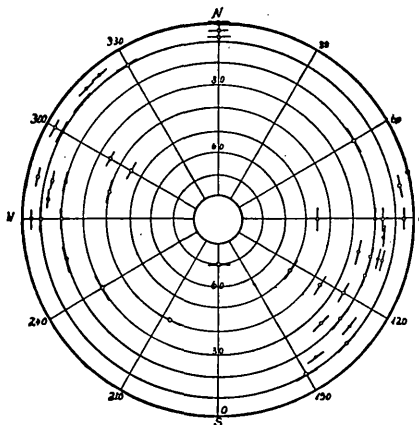
Wenn sich dennoch die jeweiligen Temperaturen der Außenluft im Spiegel der Höhlentemperatur abzeichnen, dann müssen nicht nur die normalen jahreszeitlichen Temperaturregelmäßigkeiten, sondern auch länger andauernde Temperaturanomalien der Außenluft, die in positiver oder negativer Richtung von dem langjährigen Mittel abweichen, im Temperaturbild einer Höhle zum Ausdruck kommen, sich sogar dauernd auf ihren Temperaturhaushalt auswirken.

Deshalb wurde im folgenden auch der Versuch gemacht, die meteorologischen Beobachtungen in der D. R. E. nicht nur mit dem den Beobachtungen synchron verlaufenden Außenklima, sondern auch mit dem vorangegangener, längerer Zeitabschnitte in Beziehung zu bringen.

2. Lage und Bau der Dachstein-Rieseneishöhle.

Zum Verständnis der weiteren Ausführungen ist eine kurze topographisch-physiographische Beschreibung der Höhle unerlässlich. Die Dachstein-Rieseneishöhle liegt im n. Steilabfall des Dachsteinplateaus („Am Stein“) in 1458 m S. H., etwa 110 m über dem Kessel der Schönbergalpe (1348 m S. H.) in $31^{\circ} 22' 44''$ ö. L. und $47^{\circ} 30' 20''$ n. B. Der sie beherbergende Gebirgsstock baut sich aus mächtigen, \pm horizontal gelagerten Dachsteinkalkbänken auf und ist von zahllosen Klüften und Klufscharen tiefgehend zerhackt, an denen sich horizontale und vertikale Schollenbewegungen, meist geringen Umfanges, vollzogen. Der ganze Gebirgsstock ist hydrisch stark drainiert und durchwegs verkarstet; er steigt über dem Bereich der Dachstein-Rieseneishöhle bis zur Höhe von 1900 m an, wo er in eine, z. T. noch erhaltene, tertiäre Landoberfläche verebnet, die reich an Schächten, Spalten und Höhlenruinen ist.

Dem Hauptkluftstreichen im Muttergestein folgend, verläuft die Dachstein-Rieseneishöhle mit zwei, annähernd parallelen Ästen in Richtung SSW—NNE, etwa 350 m



Entwurf: R. Saar

Abb. 2. Stereographische Projektion der Hauptklüfte und Klufscharen der D. R. E. auf die Horizontale (Darstellung nach Salomon u. O. Seitz). Man erkennt deutlich ein Hauptkluftstreichen NE — SW, ein Nebenkluftstreichen NW — SE und das steile Fallen der meisten Klüfte in Richtung SE und NW.

tief in dem Bergleib, wo ihre weitere Fortsetzung durch eine NW—SE verlaufene Verbruchzone abgeriegelt wird.

Schichtfugen, Klüfte und Kluftscharen bilden das Baugerüst der Höhle (Abb. 1). Verlauf und Lage der bisher eingemessenen Klüfte im Raume zeigt die stereographische Projektion (Abb. 2).

Die Höhle selbst ist gekennzeichnet durch den Wechsel älterer, hydrisch ausgearbeiteter, noch gut erhaltener Tunnelstrecken, zwischen denen sich jüngere, durch Ein- und Nachbruch tektonisch erweiterte Großräume einschieben (Tristan-Parsival-Artusdom und Iwanhalle). (Abb. 1 a.) Der Konvakuationsraum sinkt vom Eingang (1458 m) über den Parsivaldom (1425 m) bis zum Artusdom (1388 m) um etwa 70 m und steigt von hier mit den Ästen Plimisoel und Iwanhalle wieder um 16 bzw. 30 m an.

Das Höhleneis (Abb. 1 b) reicht ab 40 m vom Eingang bis zum Versturz im Parsivaldom und in den Keyeschluf bis etwa P. P. 76, wo seine Endzunge auf einer Strecke von etwa 20 m im Laufe eines Jahreszyklus rhythmisch vorstößt und sich wieder zurückzieht. Das Höhleneis bedeckt eine Fläche von etwa 5500 m²; sein Gesamtvolumen kann mit etwa 13.500 m³ angenommen werden; seine größte Mächtigkeit erreicht es im Tristandom, wo es im „großen Eisabgrund“ in einer Höhe von etwa 15 m aufgeschlossen ist. Auf dem Bodeneis wachsen zeitlich und quantitativ variable Eisformen, die von, aus Klüften austretenden, Sickerwasseradern aufgebaut und auch wieder abgebaut werden.

Der „große Eisabgrund“ und die „Eiskapelle“ (Abb. 1 c) sind Evakuationen, die durch Sickerwasseradern und von ihnen erzeugte Luftströmungen in der im Tristandom bis 18 m mächtige Konvakuationsmasse des Bodeneises *k o r r o d i e r t* werden; thermisch gesehen bilden sie *k a l t e*, absinkende, geschlossene Luftsäcke, die abseits des Hauptwetterstromes liegen.

Das Tristan-Parsivaldomsystem ist mit dem, seitlich unter ihm liegenden Artusdomsystem durch die 40—50° steile, tektonisch aufgerissene Kluft des Keyeschlufes verbunden. Plimisoel und Iwanhalle verhalten sich zum Artusdom, wie aufsteigende warme Luftsäcke und nähern sich mit ihren verstopften Ausläufern wieder der Erdoberfläche.

Die Fortsetzung der Höhle ist hinter der sie im NE sperrenden Versturzzone (Abb. 1 d) zu suchen, von wo auch die, für eine dynamische Wetterhöhle notwendigen, Vertikalevakuationen bis an die Erdoberfläche ausstrahlen müssen. Über ihre Ausmaße, Morphologie und ihren weiteren Verlauf besteht heute noch völlige Ungewißheit.

Auf die Speläogenese des Objektes kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden.

3. Temperaturen und Beobachtungen von der Entdeckung der Höhle 1910 bis 1920.

Die ersten Temperaturangaben verdanken wir G. L a h n e r, der am 17. Juli 1910 durch den Eingangsstollen in die Höhle eindrang und von ihm aus in den großen Eisabgrund und die Eiskapelle abstieg. Er maß am gleichen Tage:

Außenluft (Station I)	Eingangsstollen	Eisabgrund (Station II)
14,0	0,0	0,0 (1,0) ° C

Kräftige, kalte Höhlenwetter strömten aus dem Mundloch der Höhle an den Tag. L a h n e r's Messungen koordinieren sich sehr gut dem Bilde aller später in diesen Räumen ermittelten Temperaturen. Sie zeigen, daß

bereits 30 bis 50 m vom Höhleneingang entfernt ein Temperaturgefälle Außenluft — Höhlenwetter von $14,0^{\circ}\text{C}$ angetroffen wurde.

Anlässlich der am 14. September 1910 erfolgten zweiten, vollständigen Befahrung der ganzen Höhle maßen R. S a a r und A. H o b e l s p e r g e r folgende Temperaturen:

Außen (Station I)	Tristandom (Station III)	Parsivaldom (Station IV)	Artusdom (Station VI)	Iwanhalle (Station 8)
12,5	1,0	0,0	2,0	$3,5^{\circ}\text{C}$

Auch noch im September waren demnach die Temperaturen der eisführenden Räume der Eiserhaltung günstig. Im Eingangsstollen wurde heftige, talwärtige (höhlenauswärts gerichtete) Wetterbewegung beobachtet. Die Bodeneismassen zeigten im großen und ganzen das auch später immer wieder angetroffene Volumen. Durch den Parsivaldomversturz strömten kalte Wetter aus dem Bergleib in die Evakuationschule. Im Keyeschluf wehten leichte, aus dem Artusdom aufsteigende Wetter. Das Eis reichte hier bis P. P. 75, wo es sichtlich im Abschmelzen begriffen war; der Artusdom war gänzlich eisfrei. Jungeisformen fehlten überall, die Großeisformen hatten bei beachtlicher Mächtigkeit gerundete (degenerative) Formen.

Die nächsten Temperaturangaben stammen von H. B o c k; er maß am 24. März 1912:

Außen (Station I)	im Eingang	Eiskapelle (Station II)	Kreuzgang	Parsivaldom (Station IV)	Artusdom (Station VI)
- 0,5	2,0	4,0	3,0	2,0	$1,0^{\circ}\text{C}$

Die Wetter bewegten sich am Beobachtungstage im ganzen System bergwärts (höhleneinwärts). B o c k bemerkt hiezu: „Die Außentemperatur erlitt im Eingangsstollen eine j ä h e Erwärmung und dann am weiteren Weg eine allmähliche Abkühlung.“

Die von B o c k gemessene Außentemperatur ($- 0,5^{\circ}\text{C}$) entspricht annähernd den Märztemperaturen im Bereiche des Höhleneinganges.

Um so auffallender ist die von ihm behauptete rasche Erwärmung der kalten Außenluft ($- 0,5^{\circ}\text{C}$) auf $2,0^{\circ}\text{C}$ schon im Eingangsstollen, bereits nach 40 m Weglänge und in der Eiskapelle auf $4,0^{\circ}\text{C}$. Um auf so kurzem Wege die eingedrungene kalte Außenluft auf $4,0^{\circ}\text{C}$ zu erwärmen, hätte es bei dem rasch an der Konvakuationschule vorbeistreichenden Luftkörper einer sehr hohen Gesteinstemperatur bedurft, was jedoch mit Rücksicht auf die Jahreszeit und alle späteren Beobachtungen nicht angenommen werden kann. Es müßte dem 24. März eine sehr lange Periode warmer Außentemperaturen von mindestens $4,0$ bis $6,0^{\circ}\text{C}$ vorangegangen sein, um die Konvakuationschule im Bereiche des Eingangsstollens nach den vorangegangenen Wintermonaten auf $4,0^{\circ}\text{C}$ „aufzuheizen“. H ö h e r hätten jedoch die Außentemperaturen auch nicht steigen dürfen, weil sonst — wie später dargestellt werden wird — talw ä r t i g e Wetterinversion eingetreten und damit die „Aufheizung“ der Höhle vom Eingang her unterbrochen worden wäre. Da die Temperaturangaben von elf meteorologischen Stationen nach den Jahrbüchern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik keinen Anhaltspunkt dafür ergeben, daß vor dem 24. März 1912 durch längere Zeit derartig hohe Temperaturen im Bereich der Schönbergalpe herrschten und so hohe Gesteinstemperaturen in der Folgezeit auch niemals festgestellt wurden, muß angenommen werden,

daß B o c k s Angaben entweder auf Fehlablesungen oder Instrumentenmängeln beruhen. Wichtig ist jedenfalls die Feststellung, daß im Gegensatz zur sommerlichen talwärtigen im März noch die winterliche bergwärtige Wetterbewegung angetroffen wurde.

Für die Zeit von 1912 bis 1920 liegt kein Beobachtungsmaterial vor, zumindest fehlen diesbezügliche Publikationen.

Der Verfasser hat in den Jahren 1920 bis 1924 einige hundert Serienmessungen durchgeführt, aus denen 125 ausgewählt wurden, die den an sie gestellten meteorologischen Beobachtungserfordernissen am besten entsprechen¹⁾. Die Beobachtungen sind nicht synchron. Es liegen vielmehr infolge Begehungsschwierigkeiten zwischen den Ablesungen bei St. I und St. VI (bzw. St. 8) einer Beobachtungsreihe oft mehrere Stunden. Da in dem Beobachtungszeitraum von 1920—1924 klimatische Schwankungen vorkamen, deren Einfluß auf die Temperaturentwicklung in der Höhle zu untersuchen war, wurde das regionale Klima als Vergleichsbasis für die jeweils vorgefundenen meteorologischen Verhältnisse in der Höhle herangezogen.

Als Vergleichsstationen für die Zeit von 1920 bis 1924 wurden gewählt: Hallstatt-Salzburg (1018 m S. H.), Strobl-Weißbach (560 m S. H.), Altaussee (950 m S. H.), Ramsau (1170 m S. H.) und Präbichl II (1227 m S. H.).

Die mittleren Jahrestemperaturen sanken von 1920 bis 1924 (bzw. 1925 für Altaussee) bei den

Stationen	Hallstatt-Salzburg	um 0,8° C
	Strobl-Weißbach	um 1,3° C
	Altaussee	um 0,9° C
	Ramsau	um 1,4° C
	Präbichl II	um 0,6° C

durchschnittlich also um etwa 1,0° C, ab.

Betrachtet man die Temperaturen in der Höhle, so zeigt sich, daß sie in den Monaten August, September und Oktober 1920 an keinem Beobachtungspunkte und an keinem Beobachtungstage unter dem Gefrierpunkt lagen. Zieht man G. L a h n e r s Angaben vom 17. Juli 1910 und die R. S a a r s vom 14. September 1910 zum Vergleich heran, so ergibt sich im September 1920 eine Temperatursteigerung in der Höhle, wie folgende Gegenüberstellung zeigt:

	St. I	III	IV	VI	8 a
14. September 1910	12,5	1,0	0,0	2,0	3,5
15. September 1920	7,0	1,7	1,8	3,0	4,3

Der Winter 1920/21 war mild, der Sommer 1921 etwas wärmer als

¹⁾ Die umfangreichen Temperaturtabellen können aus wirtschaftlichen Gründen derzeit nicht publiziert werden. Sie werden in der Zeitschrift „Die Höhle“, Wien, 1954/55 veröffentlicht.

der 1920. Die Temperaturen lagen in den eisführenden Räumen im April und Mai 1921 noch zur Gänze, im Juni teilweise unter dem Gefrierpunkt:

Datum	Eiskapelle	Tristandom	Parsivaldom
12. April 1921	— 1,0	— 0,9	— 1,3
21. April 1921	— 2,8	— 2,1	— 1,8
27. April 1921	— 1,3	— 2,2	— 1,5
6. Mai 1921	— 1,2	— 1,1	— 1,0
18. Mai 1921	— 1,2	— 1,2	— 0,7
10. Juni 1921	— 0,3	— 0,1	— 0,5
15. Juni 1921	— 0,2	— 0,1	— 0,5
19. Juni 1921	0,0	0,3	— 0,2

Erst Ende Juni, Anfang Juli stiegen die Temperaturen an allen Beobachtungspunkten der Höhle wieder über den Gefrierpunkt, ein Zustand, der auch im September angetroffen wurde.

Der Winter 1921/22 war extrem kalt. Sieht man von den typischen Wintertemperaturen der Höhle in den Monaten Jänner bis März 1922 ab, die in den eisführenden Räumen bis auf -11°C (an den Beobachtungstagen) absanken, so lagen die späteren Temperaturen längere Zeit und mit tieferen Werten unter dem Gefrierpunkt, als in den gleichen Monaten des Vorjahres. Auch in den eisfreien Räumen der Höhle waren sie in diesen Monaten etwas niedriger als im Vorjahr. Augenscheinlich senkte sich die Temperatur der ganzen Höhle unter dem Einfluß des kalten Winters 1921/22, was die folgende Tabelle deutlich erkennen läßt:

Datum	Eiskapelle	Tristandom	Parsivaldom
5. April 1922	— 3,3	— 3,2	— 2,1
25. April 1922	— 3,3	— 2,4	— 2,1
30. April 1922	— 3,1	— 0,8	— 1,4
9. Mai 1922	— 2,3	— 1,3	— 1,1
14. Mai 1922	— 2,2	— 1,0	— 1,0
22. Mai 1922	— 2,2	— 1,5	— 1,2
24. Mai 1922	— 2,3	— 1,7	— 1,3
30. Mai 1922	— 2,3	— 1,7	— 1,3
18. Juni 1922	— 0,5	— 0,3	— 1,2
23. Juni 1922	— 0,5	— 0,3	— 1,2
29. Juni 1922	— 0,4	— 0,3	— 1,2
29. Juli 1922	— 0,9	— 0,8	— 1,0
30. Juli 1922	— 0,9	— 0,8	— 1,0

Im Jahre 1923, dessen vorausgegangener Winter 1922/23 zwar kälter als der von 1920/21, doch wärmer als der von 1921/22 war, lagen die Temperaturen der eisführenden Räume vom April bis Juni zwar noch unter dem Gefrierpunkt, zeigten jedoch bereits höhere Werte als in den gleichen Monaten 1922:

Datum	Eiskapelle	Tristandom	Parsivaldom
15. April 1923	— 2,5	— 1,2	— 1,4
16. April 1923	— 2,5	— 1,2	— 1,4
10. Mai 1923	— 2,1	— 0,5	— 0,9
10. Juni 1923	— 0,1	— 0,2	— 0,7

Im Jahre 1924 stiegen die Höhlentemperaturen an allen Beobachtungspunkten im August und September auf Pluswerte, die denen des warmen Jahres 1920 fast glichen, jedoch etwas niedriger waren, wohl eine Folge der immerhin gegenüber 1920/21 kalten Winter 1922/23/24 und des Absinkens des Jahresmittels der Außentemperatur von 1920 bis 1924 im Beobachtungsbereich.

Temperaturschwankungen am Tage, die längere Zeit andauerten, beeinflussten die Temperaturverhältnisse in der Höhle im negativen oder positiven Sinne. In erster Linie waren die Wintertemperaturen der Außenluft bestimmend für den jeweils angetroffenen Temperaturcharakter der Höhle.

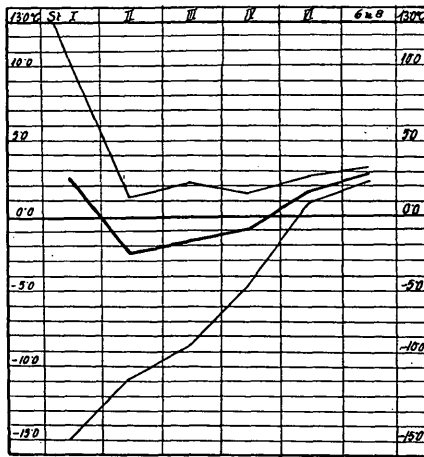
An den 125 Beobachtungstagen der Jahre 1920/24 wurde bei folgenden Außentemperaturen folgende Wetterbewegung im Eingang der Höhle festgestellt:

An Tagen	talwärts	bergwärts	Wetterstodkung
	66 i. e. 52,8 %	49 i. e. 39,2 %	10 i. e. 8 %
bei Außentemperaturen	von (etwa) 7,0 bis 17,2 ° C	von — 22,0 bis (etwa) 6,0 ° C	von (etwa) — 3,0 bis (etwa) 9,3 ° C

Dieser Temperaturverteilung entsprach eine vorwiegend bergwärtige Wetterbewegung in den Monaten Jänner bis März und November, Dezember, eine vorwiegend talwärtige in den übrigen Monaten. Jedoch traten insofern Anomalien in diesem Schema auf, als auch bei gewissen Temperaturen über 0,0 ° C die Wetterbewegung bergwärts gerichtet war, die Höhle demnach bei den unteren Eingängen relativ warme Außenluft inhalierte, die unmittelbar die eisführenden Räume, insbesondere den Tristandom und den Eisabgrund, traf, zu einer kräftigen Erwärmung dieser Räume beitrug und daher einen raschen Zerstörungsprozeß an den vorhandenen Eisbildungen auslöste, z. B.:

Datum	außen	Eis- kapelle	Tristan- dom	Parsival- dom	Artus- dom	Plimi- soel	Iwan- halle	Wetterbewegung	
								normal	kritisch
1920									
27. August	3,3	1,0	3,0	2,8	2,6	3,0	3,5		ein
31. August	5,0	2,8	3,9	2,9	2,4	—	3,2		ein
1921									
26. September	7,2	0,3	0,3	0,3	1,3	2,3	3,2	aus	
1. Oktober	4,7	1,5	3,2	2,1	1,3	—	3,2		ein
1922									
9. Mai	8,0	— 2,3	— 1,3	— 1,1	1,5	2,1	—	aus	
14. Mai	3,2	— 2,2	— 1,0	— 1,0	1,5	2,1	2,7		ein
1923									
10. März	— 3,5	— 3,7	— 3,5	— 2,5	1,2	1,9	2,7	ein	
27. März	3,2	— 2,3	— 0,9	— 1,9	1,3	1,9	2,8	ein	
1924									
18. August	10,0	1,3	1,3	1,1	2,5	2,5	2,6	aus	
21. August	6,8	2,1	3,7	2,2	2,7	—	2,7		ein

Mit Recht werden daher diese Temperaturen als für den Kälte- und Eishaushalt der Höhle „kritische“ bezeichnet (R. Saar 1922, G. Kyrle 1923). Nur die Temperaturen des Artusdomsystems mit seinen Nebenästen blieben fast unverändert. Daraus konnte bereits damals geschlossen werden, daß sich die Hauptwetterbewegung in der Höhe vom Eingang durch die Eishallen und den Parsivaldomversturztur in das Innere des Bergleibes vollzieht. Ein Teil der Wetter sank (statisch) wohl durch den Keyeschluf in den Artusdom ab; doch war diese Wettermasse weder quantitativ noch qualitativ mehr im Stande auf die Temperatur des gewaltigen Artusdomkomplexes (etwa 70.000 m³) einen nachhaltigen Einfluß auszuüben.



Entwurf: R. Saar

Abb. 3. Darstellung des Temperaturganges von St. I bis St. 6/8 (im Konvakuationsraum) nach Messungen in den Jahren 1920/24. (dicke Linie: Mittelwerte, dünne Linien: Extremwerte).

Das Diagramm Abb. 3 zeigt die aus allen Messungen an den einzelnen Beobachtungspunkten ermittelten Durchschnittstemperaturen für die Periode 1920/24. Man erkennt jedoch aus dieser Darstellung schon annähernd den Temperaturgang von außen bis an das (bekannte) Ende der Evakuations- und die Verlagerung der extrem niederen Temperaturen nur in dem Tristan-Parsivaldomast, während im Artusdomsystem und in dessen Nebenästen, Plimisoel und Iwanhalle, die Temperatur wieder bis zur Höhe des Jahresmittels der Außenluft anstieg. Dieselbe Abbildung zeigt auch, wie in der Evakuations- und die Verlagerung der extrem niederen Temperaturen nur in dem Tristan-Parsivaldomast, während im Artusdomsystem und in dessen Nebenästen, Plimisoel und Iwanhalle, die Temperatur wieder bis zur Höhe des Jahresmittels der Außenluft anstieg. Dieselbe Abbildung zeigt auch, wie in der Evakuations- und die Verlagerung der extrem niederen Temperaturen nur in dem Tristan-Parsivaldomast, während im Artusdomsystem und in dessen Nebenästen, Plimisoel und Iwanhalle, die Temperatur wieder bis zur Höhe des Jahresmittels der Außenluft anstieg. Dieselbe Abbildung zeigt auch, wie in der Evakuations- und die Verlagerung der extrem niederen Temperaturen nur in dem Tristan-Parsivaldomast, während im Artusdomsystem und in dessen Nebenästen, Plimisoel und Iwanhalle, die Temperatur wieder bis zur Höhe des Jahresmittels der Außenluft anstieg. Dieselbe Abbildung zeigt auch, wie in der Evakuations- und die Verlagerung der extrem niederen Temperaturen nur in dem Tristan-Parsivaldomast, während im Artusdomsystem und in dessen Nebenästen, Plimisoel und Iwanhalle, die Temperatur wieder bis zur Höhe des Jahresmittels der Außenluft anstieg.

Gelegentliche Messungen der Luftfeuchtigkeit in der Höhle ergaben bei talwärtiger (sommerlicher) Wetterbewegung fast ausnahmslos Sättigungsdruck (100 Prozent rel. L. F.), begleitet von Sublimations- bzw. Kondensationserscheinungen, bei bergwärtiger (winterlicher) Wetterbewegung ein Absinken der rel. Luftfeuchtigkeit bis 50 Prozent, bei gleichzeitiger starker Verdunstung bzw. Eisverdampfung. Mangels Psychrometermessungen konnten für die Beobachtungsperiode 1920/24 keine Dampfdruckwerte ermittelt werden.

Schließlich ergaben gelegentliche Anemometermessungen im Eingangsstollen Windgeschwindigkeiten von 0—10 m/sec, bei einer unverkennbaren, gleichzeitigen Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit von der Größe des Temperaturgradienten Außen-Innentemperatur. Doch reichten die Ergebnisse der damaligen Beobachtungen noch nicht aus, bestimmte Gesetzmäßigkeiten für die beiden letztgenannten meteorologischen Elemente zu gewinnen.

4. Beobachtungen und Messungen des Speläologischen Institutes in den Jahren 1928/29.

Da nach Ansicht G. Kyrles das damals vorgelegene Beobachtungsmaterial als nicht synchron für eine methodische Auswertung unzureichend war, hoffte er, durch eine großangelegte Versuchsordnung in der D. R. E. wissenschaftlich einwandfreie Grundlagen für die Darstellung und Erfassung aller meteorologischen Elemente und Vorgänge in einem großen, weitverzweigten dynamischen Wetterhöhlensystem zu erhalten. Daß diesem Versuche auch noch rein praktische Erwägungen in Anbetracht der Erhaltung dieses Naturdenkmals zu Grunde lagen, wurde bereits erwähnt. Das Kyrlesche Programm sah zahlreiche Beobachtungen, Messungen und die Errichtung nachfolgender permanenter, meteorologischer Stationen vor.

1. Fünf Höhlenwetterstationen und eine Außenstation. Diese Stationen waren mit Thermo-Hygrographen (System Lamprecht) und Stationsthermometern, die Stationen I (außen) und II (Parsivaldom) außerdem mit Barographen (System Lamprecht) ausgestattet. Die Instrumente waren in genormten Jalousiehäuschen untergebracht.

2. Fünf Eispegelstationen. Sie dienten der Registrierung des Eiszuwachses und Eisschwundes und zur Feststellung, ob das Höhleneis auf geneigtem Untergrunde eine Fließbewegung, ähnlich der der Gletscher auf der Erdoberfläche vollführt.

3. Fünf Wind- (Wetter-) Stationen. Die Wind- (Wetter-) Geschwindigkeit wurde mit Schalenkreuz-Handanemometer (Robinson) an mindestens drei Profilmessungen gemessen. Außerdem wurde im Windprofil I auch ein elektrisch betriebener Flügelanemograph installiert, der jedoch, bis auf wenige Tage, nicht funktionierte¹⁾.

4. Zwei Gesteinstemperaturstationen: im Eingangsstollen (NW-Wand) 22,50 m vom Eingang; Tauchtiefen: 50 cm und 100 cm; auf Belrapeire (W-Wand) bei Kote 1451,6 m: Tauchtiefen: 50, 100 und 150 cm.

¹⁾ Die Festlegung der Windprofile und die Berechnung ihrer Lichtweiten sowie die Bestimmung der Meßpunkte innerhalb der Windprofile besorgte Univ.-Prof. K. Wolf, der nicht nur die Anlagen, sondern auch Messungen an Ort und Stelle überprüfte.

Die Messungen erfolgen in Bohrlöchern, die in möglichst homogene Gesteinspartien niedergebracht wurden.

5. Drei Eistemperaturstationen: in der Eiskapelle; Tauchtiefen 50, 100, 200 cm; im Tristandom; Tauchtiefen: 50, 100, 150, 200, 300, 400 cm; im Parsivaldom; Tauchtiefen: 50, 100, 150, 184, 286 cm.

Die Messungen erfolgten in senkrecht in das Bodeneis niedergebrachten Bohrlöchern.

6. Stereo-Stationen. Da die Variabilität der Eisformen lediglich eine Funktion der jeweiligen meteorologischen (insbesondere) thermischen Verhältnisse der Höhle ist, wurde, um die Arbeit nicht unnötig zu erweitern, von einer Wiedergabe der Stereoaufnahmen und ihrer Deutung abgesehen.

7. Wasserstationen. Sie bezweckten die quantitative und qualitative Analyse der in die Höhle eintretenden Sickerwässer und obertätigen Karstgerinne und dienten den Vorarbeiten für die Wasserversorgung auf der Schönbergalpe. Für die Aufschlüsselung der meteorologischen Verhältnisse in der Höhle erbrachten sie nichts und wurden daher in dieser Arbeit auch nicht berücksichtigt.

Schließlich wurden noch gelegentlich Beobachtungen an Extremthermometern, Evaporimetern und Holosterique-Barometern vorgenommen.

Die Aufzeichnungen der Thermo-Hydrographen wurden fallweise mit Ablesungen an absoluten Instrumenten verglichen und nach diesen korrigiert. Die Aufzeichnungen der Barographen sind wertlos, da die Apparate die meiste Zeit nicht funktionierten. Luftdruckmessungen mit einem absoluten Instrument fanden auch nicht statt.

Leider entsprechen die Ergebnisse dieses Versuches nicht allen in inn gesetzten Erwartungen, trotzdem das angefallene Beobachtungsmaterial sehr umfangreich und wenigstens zum Teil auch aufschlußreich ist.

Die Durchführung der Kontrollgänge, die Betreuung der Apparate und die Führung der Aufzeichnungen oblag Dipl.-Ing. Leo H a n d l, der hiebei von Dr. Franz W a l d n e r und einer Anzahl von Höhlenführern und Forstarbeitern unterstützt wurde. Sie erledigten sich ihrer Aufgabe mit großer Zähigkeit und beachtenswertem Verständnis. Das Stationsnetz wurde einige Male von den Univ.-Prof. G. K y r l e und K. W o l f kontrolliert.

Eine Verarbeitung des sehr umfangreichen Materials fand unter G. K y r l e nicht mehr statt.

In mühevoller Kleinarbeit gelang es in den letzten Jahren die erhalten gebliebenen Reste der Ergebnisse dieses Versuches zu sichten, auszuwerten und so zu verarbeiten, daß durch Vergleich der einzelnen Stationsaufzeichnungen miteinander und unter Bedachtnahme auf frühere Beobachtungsergebnisse, im Wege einer vorsichtigen Inter- und Extrapolation Beobachtungslücken überbrückt und offensichtliche Fehler ausgeschaltet werden konnten, so daß sich schließlich ein gut geschlossenes Bild der meteorologischen Verhältnisse und Vorgänge in der Höhle für die Dauer von 15 Monaten (vom Juli 1928 bis September 1929) ergab. Die Tagesmittel der Temperaturen und Luftfeuchtigkeit wurden aus vier Werten errechnet, die den Kurven um 2, 7, 14 und 21 Uhr entnommen wurden.

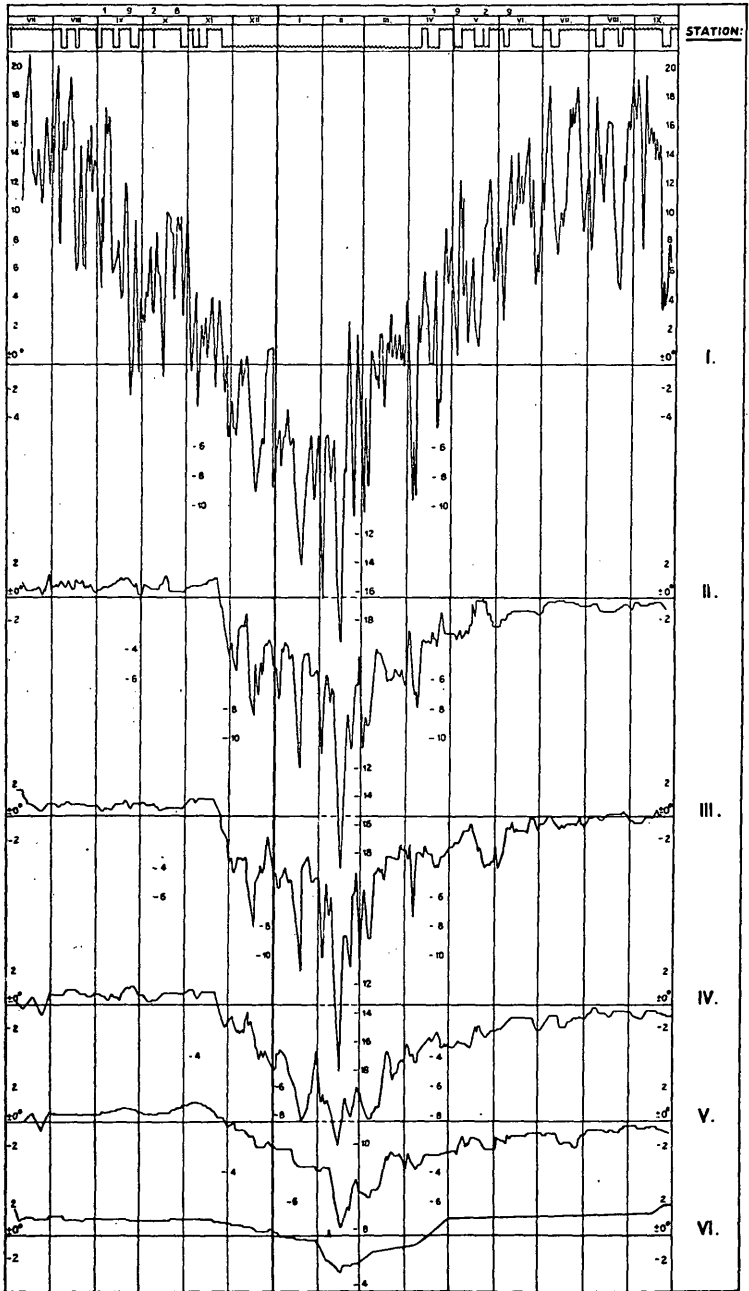


Abb. 4.

Entwurf: R. Saar

Diesbezüglich folgt die Untersuchung dem von G. Kyrle bereits festgelegten Schema. Von der Kämtz'schen Berechnung der Tagesmittel (7, 14, 21 + 21 Uhr) wurde deshalb abgegangen, um ihr auch eine wirkliche Nachttemperatur zugrunde zu legen, weil in 1500 m S. H. während der Nacht Temperaturen eintreten können, die für die Entwicklung der Höhlentemperaturen von Bedeutung sind und durch die Verdoppelung der 21-Uhr-Temperatur nicht erfaßt werden würden. Auf diese Weise gelang es, aus etwa 20.000 Einzelwerten, die Tagesmittel der Temperaturen und rel. Luftfeuchtigkeit für alle 6 Stationsstandorte und alle Tage des Beobachtungszeitraumes zu gewinnen. Die Diagramme (Abb. 4) bringen den Verlauf der Tagesmittel der einzelnen Stationn für jeden Tag synchron und synoptisch zur Darstellung.

Für die Betrachtung der Beobachtungsergebnisse der Jahre 1928/29, insbesondere der Thermo- und Hygrowerte, scheint es uns mit Rücksicht auf ihre Geschlossenheit zweckmäßig, dieses Bild vorerst als Ganzes zu erfassen, um den jahreszeitlichen meteorologischen Rhythmus darzustellen, dem die Höhle die Entstehung ihrer extrem niedrigen Temperaturen verdankt und der sich mit sinnfälliger Deutlichkeit in den Diagrammen ausdrückt.

Es soll daher vorerst in großen Zügen, an Hand der Thermogramme der Ablauf des jährlichen Temperaturganges an allen Stationen und in allen Monaten des Beobachtungszeitraumes erläutert werden.

Juli 1928.

Als Ausgangsbasis für die weiteren Untersuchungen wird das Mittel der ersten Pentade herangezogen; es zeigt folgende Werte:

Station I	II	III	IV	V	VI
10,9	1,1	1,8	0,3	0,3	1,9° C

Die Höhle ist noch ziemlich kalt. Ihre Temperaturen entsprechen etwa denen der Jahre 1920/21. Am Tage stabilisiert sich das sommerliche Wetter; zwischen 10. und 20. Wärmewellen mit Tagesmittel bis 21,0° C. In der ersten Monathälfte vollzieht sich bei allen Höhlenstationen eine Temperaturregression um etwa 1,0° C. Die Steigerung der Außentemperatur hatte infolge Anwachsens des Temperaturgradienten eine starke Erhöhung der Wetterbewegung zur Folge; die warmen und sichtlich auch

Abb. 4. Synoptische Darstellung des synchronen Temperaturganges bei den Stationen I bis VI, von Juli 1928 bis September 1929. in Tagesmitteln aus 4 Kurvenpunkten (2, 7, 14, 21 Uhr).

I. Eingang	1458 m S. H.,	0 m vom Eingang
II. Eiskapelle	1430 m S. H.,	60 m " "
III. Tristandom	1450 m S. H.,	100 m " "
IV. Parsivaldom	1430 m S. H.,	300 m " "
V. Parsivaldom-Versturz	1425 m S. H.,	340 m " "
VI. Artusdom	1388 m S. H.,	435 m " "

sehr trockenen Luftmassen, die talwärts in die Höhle einfielen, lösten augenscheinlich eine starke Verdunstung aus, die zu einem — wenn auch nur vorübergehenden — Wärmeentzug führte.

Das zeigt, daß auch kräftige, kurzfristige sommerliche Wärmewellen die Temperatur der Höhle nicht nachteilig zu beeinflussen vermögen.

Zwischen dem 20. und 30. Juli tritt bei St. V und IV eine Temperaturregression bis auf $-0,8^{\circ}\text{C}$ ein, die augenscheinlich mit einem Temperaturrückgang am Tage zusammenhängt (Tagesmittel der St. I auf $10,0^{\circ}\text{C}$, Min. auf $6,0^{\circ}\text{C}$ absinkend). Der Beobachter verzeichnet eine Schlechtwetterperiode mit dauerndem Regen im Bereich der St. I. Es ist anzunehmen, daß diese Schlechtwetterperiode in 1700/1800 m S. H. von starkem Temperaturrückgang, möglicherweise bis zur $0,0^{\circ}\text{C}$ -Grenze (Schneefall) begleitet war, ohne daß bergwärtige Wetterinversion eintrat, weil im Bereich der unteren Höhleneingänge die Außentemperatur noch nicht dauernd unter $6,0^{\circ}\text{C}$ sank. Die Höhle stand daher weiter unter dem Einfluß nunmehr kalter talwärtiger Wetter, deren Quelle der Außenluftkörper über dem Plateau war. Ende Juli vollzieht sich bei den Höhlenstationen V, IV und III ein mäßiger Temperaturanstieg, der offensichtlich mit der sommerlichen Temperaturstabilisierung am Tage und der damit zusammenhängenden Aufheizung des ganzen Gebirgsstockes im Wege der Durchlüftung zusammenhängt. Die St. II (Eisabgrund und Eiskapelle) führt in gewissen Grenzen ein thermisches Eigenleben. Sie speichert als ausgesprochener Kältesack Kaltluft auf und zeigt sich gegen Erwärmung widerstandsfähiger als andere Teile der Evakuations.

August 1928.

Die Julitemperaturen aller Stationen bleiben stabil, bis zwischen dem 10. und 15. eine mehrtägige Wärmewelle am Tage, mit Tagesmitteln bis $20,0^{\circ}\text{C}$, eine Temperaturerhöhung um $0,5^{\circ}\text{C}$ auslöst. Dieser folgen kurz hintereinander um den 20. zwei kräftige Temperaturregressionen (mit Tagesminima bis $0,5^{\circ}\text{C}$ und Wetterinversion), die bei St. III und II die Temperaturen wieder um etwa $0,3^{\circ}\text{C}$ herabdrücken. Am 5. August wurde der Eispfropfen, der die Verbindung zwischen Eisabgrund und Eiskeller verschloß, durchstoßen¹⁾. St. II wird nun unmittelbar, insbesondere von den bergwärtigen Wetterstößen getroffen, was zu einem nervösen Schwanken der Temperatur daselbst führt. Zwischen 20. und 30. stabiles, warmes Sommerwetter mit Tagesmitteln um $14,0^{\circ}\text{C}$. In der Höhle tritt thermische Beruhigung ein. Nur St. II bleibt weiter nervös, da auch die talwärtigen

¹⁾ G. Kyrle: „Ein Rauch- und Heizversuch in der Dachstein-Rieseneishöhle.“ 1929/31.

Wetter nun durch den Eisabgrund und Eiskeller abziehen. Die St. V und VI werden von diesen thermischen Vorgängen nicht mehr berührt.

September 1928.

Die Großwetterlage hat sich geändert: Nach den ersten Monsunwellen, die Ende August eintraten, stabilisierte sich das Wetter wieder, zeigte jedoch bereits eine kräftige Tendenz zur Abkühlung. Bis zur Monatsmitte treten bei keiner Station auffallende Temperaturveränderungen ein. Ab Monatsmitte macht sich in der Höhle ein leichter Temperaturanstieg bemerkbar, dem gegen das Monatsende eine Temperaturregression folgt. Diese Schwankungen scheinen, etwas phasenverschoben (um etwa 8 bis 10 Tage) mit einer Wärmewelle am Tage, die zwischen dem 5. und 10. mit Tagesmitteln bis $17,0^{\circ}\text{C}$ (Max. $28,0^{\circ}\text{C}$) bei starken talwärtigen Wettern, auftrat, zusammenzuhängen. Es folgt ein Wärmenachschub zwischen 18. und 21., während die kurzen Kälteeinbrüche am 23. und 24. mit Tagesmitteln bis $-2,5$, und am 29. bis $-1,5^{\circ}\text{C}$ zwar bei den St. II und III, die unmittelbar von den invertierten Wettern getroffen wurden, kurzfristige synchrone Temperaturregressionen um $0,8$ und $0,5^{\circ}\text{C}$ herbeiführen, jedoch bei den St. V und VI kaum mehr in Erscheinung treten. Die Höhle wird bereits vom Eingang her gegen die Tiefe zu, durch diese zeitlich begrenzte Inversion kalter Wetter langsam abgekühlt; doch macht sich die Abkühlung vorerst nur bei den St. II und III fühlbar, während — wohl durch zeitweilige Wetterstockungen, als Übergang zu den Wetterinversionen begünstigt — bei den übrigen Stationen eher noch eine leichte Tendenz zu Temperatursteigerungen, infolge des, jahreszeitlich bedingten, stärker werdenden Einflusses der gegen die Konvakuationschale vorstoßenden Erdwärme festgestellt werden kann.

Oktober 1928.

Herbstwetter hat eingesetzt. Die Tagestemperaturen im Bereiche der Eingänge sind, namentlich unter Insolationseinfluß noch beachtlich warm, die Nächte schon recht kalt. Im allgemeinen ist eine Temperaturregression am Tage zwischen dem 1. und 15. mit Tagesmitteln zwischen $-1,0$ und $9,0^{\circ}\text{C}$ (Min. $-5,0^{\circ}\text{C}$) zu erkennen. Rascher Wetterrichtungswechsel ist, über kritische — bis zu Minustemperaturen — typisch. Er macht sich bereits von St. III bis V in einer ruckweisen Senkung der Temperaturen bemerkbar, die bei St. III $0,4$, bei St. IV $0,6$ und bei St. V $0,3^{\circ}\text{C}$ beträgt. St. VI bleibt von diesen Schwankungen noch unberührt. Da die Temperaturen der Außenluft in der ersten Monatshälfte zum Teil auch in der „kritischen“ Temperaturzone liegen, ergeben sich kurzfristige Temperatursteigerungen bei St. II und III, die sich jedoch nicht in die Tiefe der Höhle auswirken können. Eine auffallende Temperaturspitze am 17. und 18. bei St. II, bei einer Außentemperatur von $10,5^{\circ}\text{C}$, ist auf einen kurz-

fristigen Einbruch „kritischer“ Temperaturen zurückzuführen, da der Temperaturanstieg vom 16. ($-1,0^{\circ}\text{C}$) zum 18. ($10,3^{\circ}\text{C}$) zweifellos eine Phase „kritischer“ Temperaturen (von $0,0$ bis $6,0^{\circ}\text{C}$) durchlief. Der Beobachter vermerkt für diese Zeit „Föhn einbruch“.

Ab Monatsmitte tritt bei den St. III—V eine konstante Erwärmung unter dem Einfluß mehrerer föhnbedingter, mehrtägiger Wärmewellen am Tage (18.—20., 25.—28. und 31.—1. November) ein, von denen der Kältesack der St. II jedoch nicht betroffen wird. Im allgemeinen herrscht im Oktober bereits viel bergwärtiges Höhlenwetter bei „kritischen“ Temperaturen und großer Trockenheit (das Hyrogramm der St. I zeigt Werte zwischen 50 und 60 Prozent rel. Feuchtigkeit).

November 1928.

Mit Monatsbeginn setzt die erste kräftige Umstellung des Wettercharakters auf Winterwetter ein. Die Tagesmittel schwanken zwischen $6,0$ und $-3,0^{\circ}\text{C}$. Dem entsprechend pendelt auch die Richtung der Wetterständig zwischen ein- und auswärts hin und her.

Zwischen dem Richtungswechsel der Wetter, liegen wie immer, Wettercalmen als Übergangszustand. Niedrige Außentemperaturen, so am 8. (Min. $-3,0^{\circ}\text{C}$) bringen, bei eindeutig bergwärtiger Wetterbewegung, kurzfristige Temperaturabstiege bis zur Station V mit sich. Bis zum 20. befinden sich auch die Höhlentemperaturen in einem Zustand des Überganges und der Unruhe, als Folgeerscheinung des raschen Wechsels bergwärtiger kalter und warmer („kritischer“) Wetterwellen. Ab 20. setzt am Tage und in der Höhle starker kontinuierlicher Temperaturrückgang ein (erster Wintervorstoß), der sich bis zum Monatsende in folgenden Grenzen vollzieht.

Bei Station	I	von $1,5^{\circ}\text{C}$	auf $-5,0^{\circ}\text{C}$	(Tagesmittel)
Bei Station	II	von $1,2^{\circ}\text{C}$	auf $-3,8^{\circ}\text{C}$	(Tagesmittel)
Bei Station	III	von $1,2^{\circ}\text{C}$	auf $-3,1^{\circ}\text{C}$	(Tagesmittel)
Bei Station	IV	von $0,9^{\circ}\text{C}$	auf $-1,4^{\circ}\text{C}$	(Tagesmittel)
Bei Station	V	von $0,7^{\circ}\text{C}$	auf $-0,3^{\circ}\text{C}$	(Tagesmittel)
Bei Station	VI	von $1,0^{\circ}\text{C}$	auf $0,8^{\circ}\text{C}$	(Tagesmittel)

Das erste Mal wird auch die Temperatur der St. VI erkennbar in die beginnende Temperaturumbildung mit einbezogen. Die winterliche, bergwärtige Wetterbewegung stabilisiert sich; der ganze Bergleib wird bis in große Tiefe langsam abgekühlt: Wintereinbruch in die Höhle.

In diesem Zeitabschnitte ist jedoch vorerst nur das Höhlenwetter Träger der jeweils angetroffenen Temperaturen, die niedriger sind, als die der von ihm bestrichenen Konvakuationschale.

Im Artusdom beginnt das Auftriebsvermögen seiner, gegenüber dem Parsivaldom wärmeren Wetter, den, in dem immer kühler (schwerer) werdenden Wetter des Parsivaldomes, stärker auftretenden Gravitations-

kräften, zu unterliegen. Kalte Wetter fließen (statisch) aus dem Parsival in den Artusdom ab und bilden in seinen tiefsten Teilen einen Kältesee, dessen Niveau jedoch nur eine geringe Höhe erreicht, weil im Wege einer unmerklichen Konvektionsströmung eine rasche Erwärmung der kalten Luftmasse an dem warmen Gesteinsmantel eintritt.

Bis zum 20. November bewegen sich die Temperaturen aller Höhlenstationen noch konstant über $0,0^{\circ}\text{C}$, nach diesem Zeitpunkte fallen sie (mit Ausnahme der Station VI) ausnahmslos unter diese Grenze. Diese Tatsache ist für den Vergleich mit der Temperaturentwicklung im Jahre 1929 im Auge zu behalten.

Dezember 1928.

Das Höhlenwetter weht nunmehr konstant bergwärts. Die Außentemperaturen verharren mit wenig Ausnahmen unter der $0,0^{\circ}\text{C}$ -Grenze. Das ganze Höhlensystem steht unter dem dauernden Einfluß der mit großer Vehemenz eindringender Kaltluft. Bei Schneefall wird von den Wetterern Schnee in die Höhle bis zum Kreuzgang hineingetrifft. Der Temperaturgang der St. II—VI verläuft vollkommen gleichsinnig dem bei St. I und registriert alle ihre Kälte- und Wärmespitzen ohne Verzug. Doch tritt der Einfluß der Kältespitzen bei St. I am 5. und 17. mit Tagesmitteln von $-4,9$ und $-8,0^{\circ}\text{C}$ stärker in Erscheinung als der der Wärmespitzen am 8. und 29. mit Tagesmitteln von $0,6$, $0,7$ und $2,0^{\circ}\text{C}$, die die Temperaturen der St. II und III nicht einmal mehr auf $0,0^{\circ}\text{C}$ heben können. Die Kältespitzen bei den St. II und III erreichen fast die Werte der Außentemperatur und bleiben hinter dieser nur um einige Zehntel Grade zurück. Der Wärmeeinbruch zwischen dem 26. und 29. machte sich bei bergwärtigem (kritischem) Wetter, bei St. II und III durch starke Temperaturerhöhung bemerkbar. Die Temperaturen der St. IV und V zeigen \pm ein wellenförmiges Absinken, wobei Kälte- und Wärmespitzen am Tage sich jedoch nur mehr in abgestumpftem Maße erkennen lassen und eine geringe Phasenverzögerung feststellbar ist.

Jänner und Februar 1929.

Der Winter setzt mit voller Wucht ein und zeichnet sich bei allen Stationen klar durch kräftige Temperaturregressionen ab. Am augenfälligsten zeigt sich das während der Kältespitze zwischen 13. und 15. Februar bei den St. II—V.

Datum	Station I	II	III	IV	V	VI
13. Februar	-16,5	-13,5	-17,5	-9,6	-6,4	-2,4
14. Februar	-19,2	-19,4	-18,1	-9,8	-6,9	-2,6
15. Februar	-17,1	-15,4	-15,8	-8,7	-7,4	-2,3

Am 6. Jänner sinkt erstmalig die Temperatur bei St. VI unter $0,0^{\circ}\text{C}$ und überschreitet diesen Wert bis zu ihrer Auflassung am 11. März 1929 nach oben nicht mehr. Über den Hauptwetterweg saugt die Höhle sehr

kräftig große Mengen von Kaltluft ein (Wetterintensität bis 10 m/sec.). Durch den Keyeschluf sinken größere Mengen Kaltluft aus dem Parsivaldom in den Artusdom ab und füllen den Kältesee auf seinem Grund an, ohne jedoch seine Temperaturen länger als 2 Tage unter $-2,6^{\circ}\text{C}$ erniedrigen zu können. Dem Eis und Gestein werden bis zu beträchtlicher Tiefe große Wärmemengen entzogen. Ab Mitte Februar beginnen die Temperaturen aller Stationen konstant und ziemlich rasch, gleichzeitig mit der kräftigen Erwärmung am Tage anzusteigen. Doch bleiben die Höhlentemperaturen stark hinter denen der Außenluft zurück, die — zwar noch immer Minuswerte zeigend — an der schon kälteren Konvakuationschale rasch und energisch weiter abgekühlt wird. Der in der Höhle seit Mitte Dezember 1928 verlaufene thermische Prozeß kehrt sich um: hatte bisher die Konvakuationschale Wärme an die winterlichen Wetter abgegeben, so beginnen nun diese — auch im Minusbereich — jene wieder langsam durch Wärmeabgabe aufzuheizen. Bei St. I kommt die mittägliche Strahlungswärme bereits deutlich zum Ausdruck. Kaltluftmassen stoßen jedoch immer wieder, von kürzer- und längerfristigen Wärmewellen unterbrochen, in die Evakuation vor. Starke Schwankungen der Außentemperatur wirken sich, verflachend, bis St. V aus. Ausgesprochene Wärmewellen am 19. und 25. Februar mit „kritischen“ Temperaturspitzen von $3,0$ und $2,0^{\circ}\text{C}$ brechen jedoch bereits in den Bereich der St. III im Kältereservoir der Höhle zusammen und dringen nicht mehr bis zur St. VI vor. Die Speicherwirkung dieser „natürlichen Kältemaschine“, wie A. Roschkott (1921) die kalten Winterhöhlen nennt, tritt ab Mitte Februar das erste Mal in Erscheinung.

März 1929.

Die erste Pentade wird noch von Kälterückfällen beherrscht, die Tagesmittel der Außenluft bis $-10,0^{\circ}\text{C}$ zeigen. Dementsprechend reagieren die Temperaturen der St. II bis IV mit kurzfristigen Temperaturregressionen. Da jedoch die Intensität der Wetterbewegung nachzulassen beginnt, dringen die kalten Wetter nur mehr selten bis zum Versturz (St. V) vor. Die Temperatur der St. VI bleibt von ihnen nicht nur unberührt, sondern es setzt sich hier bereits klar und konstant die Mitte Februar begonnene endogene Temperatursteigerung fort:

Datum	Station I	II	III	IV	V	VI
1. März	-10,0	-10,0	-9,0	-5,9	-5,0	-1,8
2. März	-10,2	-10,0	-8,9	-6,0	-5,0	-1,7
3. März	-2,3	-8,3	-5,2	-6,0	-5,1	-1,7
4. März	-6,5	-8,0	-7,4	-6,9	-5,1	-1,6
5. März	-8,5	-8,8	-8,5	-7,5	-5,1	-1,6

Infolge der verminderten Differenz der Temperaturen der Luftkörper im Parsival- und Artusdom kommt das Abfließen kalter Luftmassen aus

ersterem in letzteren zum Stillstand. Am 10. verschließt sich die unterste engste Stelle des Keyeschlufes völlig mit einem Eispfropfen (Schneeschmelzwasser). Die Wetterbewegung vollzieht sich jedoch trotzdem, bis Ende September, als der Eispfropfen durchstoßen wurde, mit gleicher Intensität berg- und talwärts durch die oberen Eishallen und den Parsivaldomversturzt, ein untrüglicher Beweis dafür, daß die schon auf Grund der Beobachtungen der Jahre 1920/24 aufgestellte Annahme, das Artusdomsystem läge außerhalb der Hauptwetterstraße, zu Recht besteht.

April 1929.

Es herrscht typisches Aprilwetter mit Kälterückschlägen zwischen dem 3. und 7. ($-9,3^{\circ}\text{C}$) und dem 24./25. ($-4,4^{\circ}\text{C}$) und Wärmewellen am 11. ($6,4^{\circ}\text{C}$), am 20. ($6,6^{\circ}\text{C}$) und am 25. (bis $9,5^{\circ}\text{C}$). Die Höhle beginnt sich in ihrer ganzen Ausdehnung langsam zu erwärmen; die talwärtige Wetterbewegung fängt an sich zu stabilisieren und wird immer seltener von bergwärtiger unterbrochen. Die letzte Monatspentade zeigt folgendes Temperaturbild:

St. I.	II	III	IV	V	VI	
7,6	-2,2	-2,5	-2,9	-2,2 ⁰ C	-	(Pentadenmittel)

Die Temperaturen der St. II—V zeigen noch immer eine starke Abhängigkeit von den Schwankungen der Außentemperatur, doch beginnen ihre Amplituden sichtlich zu verflachen. Der Beobachter vermerkte „starke Raureifbildung“. Sie setzt mit dem Eindringen der mit Wasserdampf gesättigten Wetter aus dem Bergleib in die kalten Höhlenräume durch die Versturzzonen ein, wo sogleich der Taupunkt erreicht wird und Sublimation an den kalten, luvwärtigen Gesteins- und Eisflächen erfolgt. Die Vermehrung und Verstärkung der Sickerwassereintritte (infolge Schneeschmelze auf der Erdoberfläche) führt zu einer explosiven Regeneration des Höhleneises. Zahlreiche junge Neueisbildungen entstehen; Decken- und Bodenzapfen, Vorhänge und Eissäulen wachsen in kurzer Zeit zu erstaunlicher Größe an. Alle Höhlenstationen zeigen noch Temperaturen unter $-2,0^{\circ}\text{C}$.

Mai 1929.

Am Tage tritt Stabilisierung der Temperatur über $0,0^{\circ}\text{C}$ ein. Die Tagesmittel schwanken zwischen $0,6$ und $12,8^{\circ}\text{C}$. Es kommt noch immer zeitweilig zu Wetterinversionen, die jedoch alle im Bereiche der „kritischen“ Temperaturen liegen und keine Kältezufuhr mehr in die Höhle bewirken. Doch ist sie noch kalt genug, daß sich auch „kritische“ Temperatureinbrüche, die im übrigen immer seltener werden, höchstens bei den St. II und III, und auch hier nur in geringem Maße, fühlbar machen. Alle Höhlentemperaturen zeigen Tendenz zur Stabilisierung innerhalb eines

Temperaturbereiches von $-2,0$ bis $-1,0^{\circ}$ C. In der Eiskapelle (St. II) ist eine starke, vorübergehende Temperaturerhöhung feststellbar (Monatsmittel April $-3,1$, Mai $-1,6^{\circ}$ C), deren Ursache der Einbruch warmer Sicker- (Schmelz-) Wässer ist, die nicht mehr zum Gefrieren gebracht werden können. Im Sturze zerstäubend, geben sie ihre Wärme rasch an den Luftkörper ab. Ablation und Korrosion führen hier bereits zu lokalen Degenerationserscheinungen an den Jungeisformen.

Juni 1929.

Die Temperaturen am Tage nehmen, mit etwa fünftägigen Monsunwellen, sommerlichen Charakter an. Die Tagesmittel schwanken zwischen $10,0$ und $15,0^{\circ}$ C. Kurze Temperaturrückschläge zu Beginn der ersten und am Ende der letzten Dekade machen sich nur mehr bei den St. II und III bemerkbar, während die Temperaturen der St. IV und V außerordentlich stabil bleiben. Sie werden hier nur mehr von der Temperatur der Konvakuationschale und sichtlich nicht mehr von denen der Außenluft bestimmt. Die Tagesmittel der St. II, IV und V verharren noch unter $0,0^{\circ}$ C, nähern sich jedoch gegen Monatsende bei St. III merklich dieser Grenze. Der Beobachter stellte eine Degeneration des Höhleneises im ganzen Bereich der St. II und III fest, während in dem der St. IV und V die Regeneration noch anhält.

Juli 1929.

Es herrscht kontinentales Sommerwetter mit zwei kräftigen Wärmewellen um den 5. und zwischen dem 18. und 25. Talwärtige Wetterbewegung beherrscht das ganze System im Bereiche des Hauptwetterweges. Die Höhlentemperaturen zeigen außerordentliche Widerstandsfähigkeit. Ihre Schwankungen betragen kaum mehr $0,5^{\circ}$ C. Die Temperaturen der St. II und III erreichen zeitweilig schon die $0,0^{\circ}$ -C-Grenze. Der Kältevorrat der Konvakuationschale wird langsam aufgezehrt; die talwärtigen Wetter, die noch mit einer Temperatur bis $-1,3^{\circ}$ C durch den E.-Versturz in den Parsivaldom eindringen, beginnen sich auf dem Wege durch die Höhle zum Eingang langsam zu erwärmen. Im allgemeinen herrscht thermischer Ruhezustand im ganzen System.

August 1929.

Auch die beiden ersten Augustpentaden stehen noch deutlich im Zeichen kontinentalen Sommerwetters mit Wärmewellen von rund je 8 Tagen. Die Stabilität der Höhlentemperaturen erhält sich auf einem etwas höheren Niveau. Bei St. III steigt die Temperatur bereits zeitweilig über $0,0^{\circ}$ C; bei den St. IV und V hält sie sich beharrlich um $-0,5^{\circ}$ C. Ein Einbruch „kritischer“ Luftmassen um den 22. mit $5,0^{\circ}$ C führt bei St. III unter

dem Einfluß inverser Wetterbewegung zu einer Temperatursteigerung bis $0,2^{\circ}\text{C}$, die jedoch noch rasch vorübergeht. *D e g e n e r a t i v e* Erscheinungen an allen Eisfiguren!

S e p t e m b e r 1 9 2 9 .

Nach einer Wärmewelle (Altweibersommer) mit Temperaturen bis Max. $30,0^{\circ}\text{C}$ (!) zu Beginn der ersten Pentade folgt am 8. ein Kältevorstoß mit Temperaturen von $8,0^{\circ}\text{C}$, der wieder von einer Wärmewelle mit Tagesmitteln bis $20,0^{\circ}\text{C}$ abgelöst wird. Vom 10. sinken die Temperaturen ständig weiter; am 20. folgt ein energischer Kältevorstoß mit Temperaturen bis (Min.) $-1,8^{\circ}\text{C}$. Die herbstliche Wetterumgestaltung beginnt sich durchzusetzen und führt bereits wieder zu immer häufigeren Wetterinversionen mit bergwärtigen, anfangs noch warmen, „kritischen“ Wettern, die vorerst vorübergehende Temperatursteigerungen bei St. III (bis Max. $0,5^{\circ}\text{C}$) auslösen, schließlich jedoch schon so kalt werden, daß unter ihrem Einfluß auch bei den St. IV und V eine Temperaturerniedrigung bis $-0,8$ bzw. $-0,9^{\circ}\text{C}$ eintritt. Damit wird die bis zum Monatsanfang reichende sommerliche Degenerationsphase abgestoppt. Zu einer Eisregeneration kann es jedoch mangels Sickerwassers noch nicht kommen.

Dieser kurz skizzierte Temperaturgang am Tage und in der Höhle während einer 15monatigen Beobachtung, stimmt im großen und ganzen mit dem der Perioden 1920—1924 und 1953/54 überein und kann als *t y p i s c h* bezeichnet werden.

Das Auffallendste an den Thermogrammen 1928/29. ist zweifellos, daß die Temperaturen der St. II bis VI im Juli, August und September 1928 um mehr als $1,5^{\circ}\text{C}$ höher liegen als in den gleichen Monaten des Jahres 1929. Diese Erscheinung steht mit der Beharrungstendenz der Höhlentemperaturen im Widerspruch. Es handelt sich dabei augenscheinlich um eine relativ längerfristige „Klimaänderung“ in der Höhle, die sich ohne Einfluß des *s y n c h r o n* verlaufenden Außenklimas entwickelte. Denn die Temperaturen der Außenluft der Monate Juli bis September 1928 und 1929 würden, wie folgende Gegenüberstellung zeigt, gerade das Gegenteil erwarten lassen.

Mittel der Temperaturen der Station I		
für Juli	August	September
	1928	$11,8^{\circ}\text{C}$
	1929	$13,1^{\circ}\text{C}$

Die für die Höhle beträchtliche Temperaturdifferenz von mehr als $1,5^{\circ}\text{C}$ muß daher auf andere Ursachen als auf die in den *V e r g l e i c h s m o n a t e n* herrschenden Außentemperaturen zurückgeführt werden. L. H a n d l (Manuskript) führte sie auf die, durch die im August

1928 erfolgte Öffnung des Eisverschlusses zwischen Eiskeller und Eisabgrund erzeugte, angeblich kräftigere winterliche Bewetterung der Höhle zurück. Bei genauer Untersuchung der in den verschiedenen Windprofilen gemessenen Wetterintensität erwies sich diese Annahme als unrichtig. Das durch die Höhle getriftete Luftquantum wurde durch die Verdoppelung des Eingangsprofils nicht vermehrt, sondern lediglich auf zwei gesonderte Windprofile verteilt, was zur Folge hatte, daß im alten Eingangsstollen die Wetterintensität gegenüber 1920/24 beträchtlich sank. Eine Untersuchung der Jahresmittel einer Anzahl von meteorologischen Stationen ergab vielmehr folgendes Bild:

Ort	S. H.	1926	1927	1928	1929	Differenz
Alt-Aussee	950 m	—	—	7,1	6,5	— 0,6 ¹⁾
Strobl	560 m	7,9	7,4	—	6,6	— 1,3
Ischl	473 m	8,8	8,3	9,0	8,1	— 0,7
Irdning	680 m	7,4	6,9	—	—	— 0,5 ²⁾
Präbichl II	1230 m	4,8	4,5	4,7	4,0	— 0,8
Leoben	548 m	8,9	8,6	8,7	7,9	— 1,0
Ramsau	1100 m	5,7	5,2	5,3	4,6	— 1,1

Die Tabelle zeigt eine Temperaturabnahme von 1926 bis 1929 in Seehöhen von 437 bis 1230 m im Durchschnitt um 0,8° C. Der stärkste Temperaturrückgang erfolgte von 1928 auf 1929.

Noch aufschlußreicher wird das Bild, wenn man weiter analysiert und die Temperaturentwicklung dieser Stationen in den Sommer- und Winterhalbjahren gesondert untersucht.

Temperaturmittel der Sommerhalbjahre 1927 bis 1929:

Station	1927	1928	1929	Differenz	
				1928/29	1927/29
Strobl	13,0	13,2	13,2	0,0	0,2
Ischl	14,4	14,7	14,5	— 0,2	0,1
Irdning	13,0	14,9	14,6	— 0,3	1,6
Ramsau	10,9	10,9	11,0	0,1	0,1
Alt-Aussee	—	12,8	12,9	0,1	—
Präbichl II	10,0	10,3	10,1	— 0,2	0,1
Leoben	15,0	14,9	15,0	0,1	0,0

Temperaturmittel der Winterhalbjahre 1926/27 bis 1928/29:

Station	1926/27	1927/28	1928/29	Differenz	
				1927/28—1928/29	1926/27—1928/29
Strobl	2,4	2,0	— 0,6	— 2,6	— 3,0
Ischl	3,1	2,8	0,1	— 2,9	— 3,2
Irdning	1,6	0,9	— 1,6	— 2,5	— 3,2
Ramsau	0,4	— 0,4	— 2,5	— 2,1	— 2,9
Alt-Aussee	—	1,4	— 0,8	— 2,2	—
Präbichl II	0,0	— 1,2	— 2,7	— 1,5	— 2,7
Leoben	3,4	2,3	0,3	— 2,0	— 3,1

¹⁾ Differenz nur von 1928 und 1929.

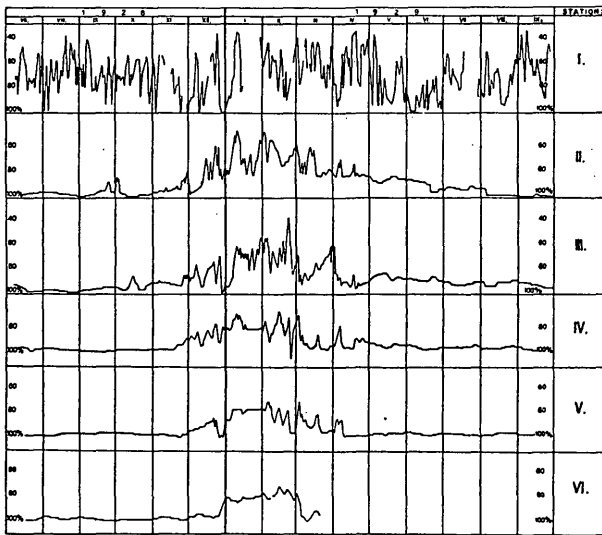
²⁾ Differenz nur von 1926 auf 1927 sonst von 1926 auf 1929.

Dabei ergibt sich, daß die Sommermonate von 1926 bis 1929 keine für die festgestellte Erniedrigung der Höhlentemperaturen maßgeblichen Temperaturveränderungen aufweisen, daß hingegen die Temperaturen der Wintermonate in der gleichen Zeit einen Rückgang bis $-3,1^{\circ}\text{C}$ (im Mittel) zeigen.

Es kann daher nur der in den Wintermonaten quantitativ gesteigerte Wärmeentzug aus der Konvakuationschale in der Höhle zu jener vermehrten Kältespeicherung geführt haben, die noch im Sommer 1929, dessen Außentemperaturen denen von 1928 fast gleichen, die Temperaturen der St. II bis V fast um $1,5^{\circ}\text{C}$ gegenüber dem Vorjahre herabzudrücken vermochte. Die gleiche Erscheinung wurde auch nach dem kalten Winter 1921/22 beobachtet.

Feuchtigkeit der Höhlenwetter.

Die synoptische Kurventafel (Abb. 5) der Hygrogramme der Stationen I — VI gibt Aufschluß über den Unterschied des Sättigungsgrades der Höhlenwetter in der Beobachtungsperiode 1928/29.



Entwurf: R. Saar

Abb. 5. Synoptische Darstellung des synchronen Ganges der rel. Luftfeuchte (%) bei den Stationen I bis VI, von Juli 1928 bis September 1929, in Tagesmitteln aus vier Kurvenwerten (2, 7, 14, 21 Uhr); siehe Legende bei Abb. 4.

Die Hygrokurve der St. I zeigt den normalen Verlauf einer Freilandstation mit den typischen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit; dagegen zeigen die Hygrokurven der St. II — VI einen grundlegend anderen Ablauf der Feuchtigkeitswerte im Jahreszyklus, wie sich auf den ersten Blick erkennen läßt, und zwar:

a) solange die Außentemperaturen höher sind als die Höhlentemperaturen (Mai bis Oktober), d. ist in der Sommerphase, herrscht bei talwärtiger Wetterbewegung in der ganzen Höhle — mit zeitlich kurz begrenzten Ausnahmen — Sättigungsdruck;

b) sinken die Außentemperaturen unter die Höhlentemperatur (November bis April), d. i. in der Winterphase, sinkt bei bergwärtiger Wetterbewegung auch die relative Feuchtigkeit der Höhlenwetter, und zwar um so mehr, je näher der Beobachtungsstandpunkt dem Eingange liegt.

c) Schwankungen im Feuchtigkeitsgehalt der Höhlenwetter werden zum Teil — insbesondere in der Winterphase — von dem Feuchtigkeitsgehalt der Außenluft, von der Intensität der Wetterbewegung und vom Einbruch von Sickerwasser ausgelöst.

Aus diesen Feststellungen ergibt sich folgendes Schema:

a) bei normaler sommerlicher (talwärtiger) Bewetterung herrscht in der Höhle Sättigungsdruck; der Taupunkt wird erreicht und überschritten; es kommt zu reichlicher Taubildung, die, solange die Konvakuationschale noch kalt genug ist, zu Sublimation in Form von Rauhreif, Anraim oder Glatteis führt; sonst ist die Höhle in ihrer ganzen Ausdehnung naß;

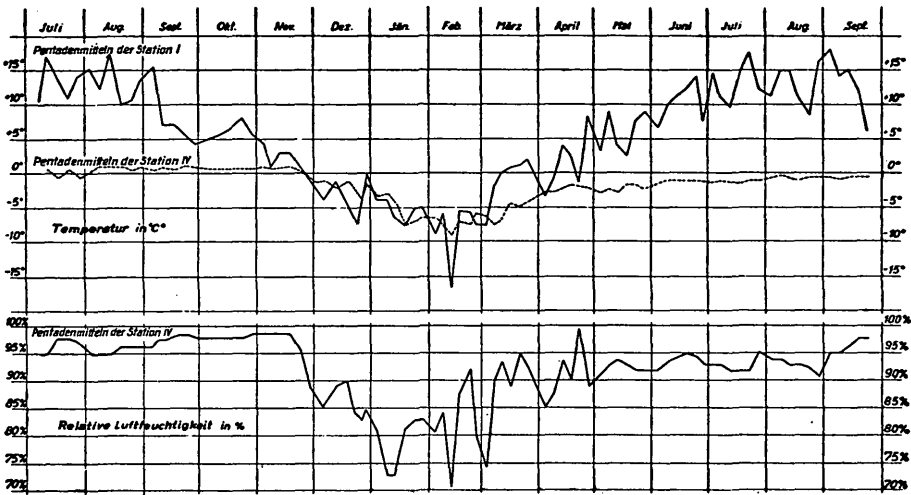
b) bei normaler winterlicher (bergwärtiger) Bewetterung ist die ganze Höhle trocken; in den Wettern herrscht Sättigungsdefizit; es tritt starke Verdunstung und Eisverdampfung ein, die bis zu degenerativen Erscheinungen an Eisformen führen kann;

c) bei anormaler bergwärtiger Bewetterung, d. i. bei „kritischen“ Außentemperaturen zwischen $0,0$ und $6,0^{\circ}$ C, tritt regelmäßig Sättigungsdruck mit abundanter Taubildung ein.

Psychrometermessungen in der Höhle ergaben im Durchschnitt in der Sommerphase einen Dampfdruck von 4,8, in der Winterphase von 2,6 g, in der Sommerphase fast immer 100 Prozent relative Feuchtigkeit, so daß angenommen werden muß, daß die Hygrographen diesen hohen Feuchtigkeitsgehalt auf die Dauer nicht mehr registrierten.

Die Beziehung zwischen Außen-Innentemperatur und relativer Feuchtigkeit der Höhlenwetter stellt das Diagramm (Abb. 6) der thermisch stabilsten St. IV (Parsivaldom) dar. Vom Juli bis September 1928 und vom März bis September 1929 zeigt das Hygrogramm dieser Station relative Feuchtigkeitswerte zwischen 90 und 100 Prozent an. In den Monaten Dezember bis Februar 1928/29 (engste Winterphase) sinkt die relative Feuchtigkeit der Wetter bemerkenswert tief unter 70 Prozent.

Diese Wechselwirkung zwischen Außen-Innentemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit entspricht nicht nur den Beobachtungen der Periode 1920/24, sondern auch den Feststellungen L. Steiners in der statisch bewetterten Eishöhle von Dobsina (1922). Nur vollzieht sich der



Entwurf: R. Saar

Abb. 6. Darstellung der Abhängigkeit der rel. Feuchte der Höhlenwetter (St. IV) von der Außentemperatur, der winterlichen (bergwärtigen) bzw. sommerlichen (talwärtigen) Wetterbewegung. — In der Winterphase, November - April, sinkt bei bergwärtiger, in der Sommerphase, Mai - Oktober, steigt bei talwärtiger Wetterbewegung die rel. Feuchte der Höhlenwetter.

geschilderte Vorgang viel rascher und konvulsivischer in dynamischen als in statischen Wetterhöhlen, als Folge der in ersteren kräftigeren und oft stürmisch von sich gehenden Wetterbewegung, die stets neue Luftmassen durch das Höhlensystem treibt.

Die Originaldiagramme der Hygrographen zeigen besonders schön den Unterschied im Feuchtigkeitsgehalt der Höhlenwetter in einer typischen Sommer- (8. bis 18. Juli 1928) und Winterphase (4. bis 16. Jänner 1929).

Während in der Sommerphase die Feuchtigkeitskurve der Außenluft stark bewegt ist und im großen Amplituden den täglichen Temperaturschwankungen folgt, zeigen die Hygrogramme aller Höhlenstationen einen praktisch geradlinigen und völlig stabilen Verlauf.

Während der Winterphase zeigt sich die Feuchtigkeit der Außenluft \pm unabhängig von der Tagestemperatur. Die Veränderung des Feuchtigkeitsgehaltes der Außenluft kommt jedoch deutlich in den Hygrogrammen aller Höhlenstationen zum Ausdruck, wo sie gleichsinnig mit der der St. I verläuft.

Fels- und Eistemperaturen.

Aufschlußreiche Ergebnisse erbrachten die Messungen der Fels- und Eistemperaturen in verschiedenen Tiefen.

Es wurden zwar schon gelegentlich Messungen von Eis-Sediment — und Gesteinstemperaturen von E. F u g g e r (1876/77) in der Kolowrat-höhle und von E. H a u s e r und R. O e d l in der Eisriesenwelt (1921 bis 1923) vorgenommen. Doch war einerseits die Tauchtiefe der Thermometer dabei meist zu gering, andererseits wurden die Messungen meist in natürlichen Klüften und Hohlräumen vorgenommen, die in offener Verbindung mit dem Konvakuationsraume stehend, den jeweiligen Wettern zugänglich waren, und daher wahrscheinlich eher die Temperatur dieser, als die der umgebenden Materie wiedergaben. Messungen von Eis- und Felstemperaturen in Höhlen auf die Art, daß die Instrumente in, gegen die Höhlenwetter abgeschlossene, Bohrlöcher versenkt wurden, wurden unserem Wissen nach bis 1928/29 nicht durchgeführt.

a) Felstemperaturen.

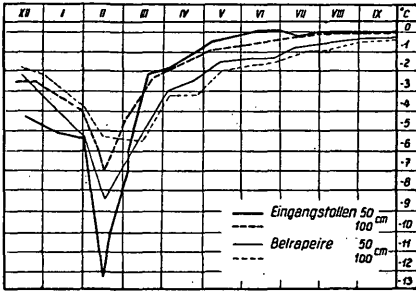
Diese wurden an zwei Stellen gemessen und zwar im Eingangsstollen, in zwei Bohrlöchern mit 50 und 100 cm Tiefe und auf Belrapeire, 200 m vom Eingang entfernt, wo die Tauchtiefe der Bohrlöcher 50, 100, 150 cm Tiefe betrug. (Felsstationen 2 und 3.)

Abb. 7 zeigt das Diagramm der in den beiden Felsstationen in 14-tägigen Intervallen registrierten Temperaturen.

Bei Felsstation 1 ist bereits im Dezember 1928 bei einer Außentemperatur von $-3,4^{\circ}\text{C}$ Monatsmittel (Min. $-11,0^{\circ}\text{C}$) das Gestein in 50 cm Tiefe auf $-4,3$ und 100 cm Tiefe auf $-2,0^{\circ}\text{C}$ abgekühlt. Im Jänner und Februar sinkt bis Monatsmitte die Temperatur weiter und zwar in 50 cm Tiefe auf $-12,0^{\circ}\text{C}$, in 100 cm Tiefe auf $-7,0^{\circ}\text{C}$. Die stärkste Abkühlung erreicht das Gestein in 50 cm Tiefe am 14. Februar mit $-12,5^{\circ}\text{C}$, bei gleichzeitigem Tagesaußenmittel von $-19,2^{\circ}\text{C}$. Ab Mitte Februar steigen die Felstemperaturen wieder kontinuierlich an. Sie erreichen Mitte März in 50 cm Tiefe bereits $-2,0$, in 100 cm Tiefe $-2,5^{\circ}\text{C}$. Der Wärmeentzug ist Mitte Februar beendet, die Kälteabgabe an die durchstreichenden Wetter Mitte März bereits im vollen Gange. Im Juni erreicht die Gesteinstemperatur in 50 cm Tiefe bereits die $0,0^{\circ}\text{C}$ -Isotherme und verharrt bis Ende September fast konstant auf dieser Höhe, während sie sich in 100 cm Tiefe bis Ende Juni noch bei etwa $-0,3$ bis $-0,4^{\circ}\text{C}$ und von da ab bis Mitte September noch bei etwa $-0,2$ bis $-0,1^{\circ}\text{C}$ erhält. Ende September fallen die Temperaturen in 50 und 100 cm Tiefe bei $0,0^{\circ}\text{C}$ zusammen. Der Kältevorrat der Konvakuationschale ist bis in diese Tiefe verbraucht, das Vordringen der Erdwärme scheint sich hier, da der Eingangsstollen noch in der wärmeunstetigen Gesteinsschichte liegt, bemerkbar zu machen.

Bei der Felsstation 3 auf Belrapeire reichen die Messungen bis 150 cm Tiefe. Auch hier, wo die Wetter schon viel von ihrer Kälte abgegeben

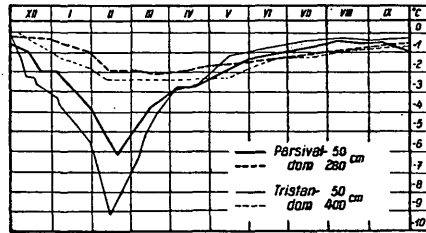
haben, zeigt sich das analoge Bild, wie im Eingangsstollen, nur in etwas abgeschwächtem Ausmaße und zwar: Wärmeentzug ab Dezember bis Mitte Februar, in allen drei Tiefenstufen, auf $-9,5$, $-5,8$ und $-5,3^{\circ}\text{C}$. Ab Mitte Februar rasche Kälteabgabe bis Anfang April, bis in eine Tiefe von 150 cm auf $-3,0^{\circ}\text{C}$; stabiles Verharren der Temperaturen in 100 und 150 cm Tiefe bei $-3,0^{\circ}\text{C}$. Die Kälteabgabe aus dem Gestein erfolgt augenscheinlich noch nicht aus der Tiefe von 100 cm. Ab April bis September zeigt sich in allen drei Tiefenstufen ein gleichmäßiges Ansteigen der Temperatur mit nur ganz geringen Unterschieden, bis auf $-0,5^{\circ}\text{C}$ in 50 und 100 cm und $-0,6^{\circ}\text{C}$ in 150 cm Tiefe. Es dringt demnach hier noch im September Kälte aus dem Gesteinskörper in die Gesteinshaut empor und wird zur Abkühlung der vorbeistreichenden sommerlichen Wetter verwendet (fast das ganze Jahr Sublimationserscheinungen: Rau-reif).



Entwurf: R. Saar

Abb. 7.

Felstemperatur-Diagramm Dezember 1928 bis September 1929; Messungen in Bohrlöchern von 50 bis 150 cm Tiefe.



Entwurf: R. Saar

Abb. 8.

Eistemperatur-Diagramm Dezember 1928 bis September 1929; Messungen in Bohrlöchern von 50 bis 400 cm Tiefe.

b) Eistemperaturen.

Die Meßpunkte für die Eistemperaturen lagen unmittelbar im engsten Bereich der St. II, III, IV. Die Tauchtiefe der Instrumente reichte bis 400 cm. Doch wurde nirgends mit Sicherheit das Liegende des Gesteinsuntergrundes erreicht. Dies wäre insofern von Interesse gewesen, weil dadurch der Beantwortung der Frage, ob ein basales Abschmelzen des Bodeneises (ähnlich dem bei den Gletschern der Erdoberfläche) stattfindet, näher gekommen wäre.

Nach dem Diagramm (Abb. 8) vollzieht sich der Temperaturgang in den Eiskörpern nach denselben Grundsätzen, wie in dem Gesteinskörper und zwar:

Wärmeentzug (= Kältespeicherung) in der Winterphase bis Mitte Februar, Kälteabgabe im raschen Tempo während der Umgestaltung der

Winter- in die Sommerphase und weiter mäßige, jedoch konstante Kälteabgabe in der Sommerphase. In der hochsommerlichen Wärmeperiode tritt (Juli und August) eine Temperaturumkehr in dem Eiskörper insofern ein, als seine Temperatur mit zunehmender Tiefe des Meßpunktes a b n i m m t :

Tauchtiefe	St. II/2		St. III/3		St. IV/4	
	Februar (Max.)	Juli-August	Februar (Max.)	Juli-August	Februar (Max.)	Juli-August
50 cm	— 8,1	— 0,5	— 9,2	— 0,5	— 9,2	— 0,7
100 cm	— 5,5	— 0,8	— 5,8	— 0,7	— 4,5	— 0,8
150 cm	— 4,3	— 0,9	— 4,0	— 0,9	— 3,4	— 0,9
200 cm	—	—	— 4,2	— 0,9	— 2,8	— 0,9
300 cm	—	—	— 3,3	— 1,2	— 1,0	— 1,1
400 cm	—	—	— 2,5	— 1,3	—	—

Die Erwärmung des Eiskörpers erfolgt von der Oberfläche her, wobei wahrscheinlich der degenerative Zerfall des Eises in *W a b e n e i s k ö r p e r* in der vorgerückten Sommerphase ein Eindringen warmer Schmelzwässer in die zwischen diesen Körpern entstehenden kapillaren Fugen ermöglicht¹⁾.

Die Temperaturen der Eiskörper bleiben in der Winterphase hinter denen des Gesteins etwas zurück, sind also höher als diese; dies zeigt sich deutlich bei der Gegenüberstellung der *T e m p e r a t u r m i n i m a* dieser Stationen im Monat Februar 1929:

Tauchtiefe	Felsst. 1	Felsst. 3	Eisst. II/2	Eisst. III/3	Eisst. IV/4
50 cm	— 12,5	— 9,5	— 8,1	— 9,1	— 6,2
100 cm	— 7,5	— 5,9	— 5,4	— 5,8	— 4,5

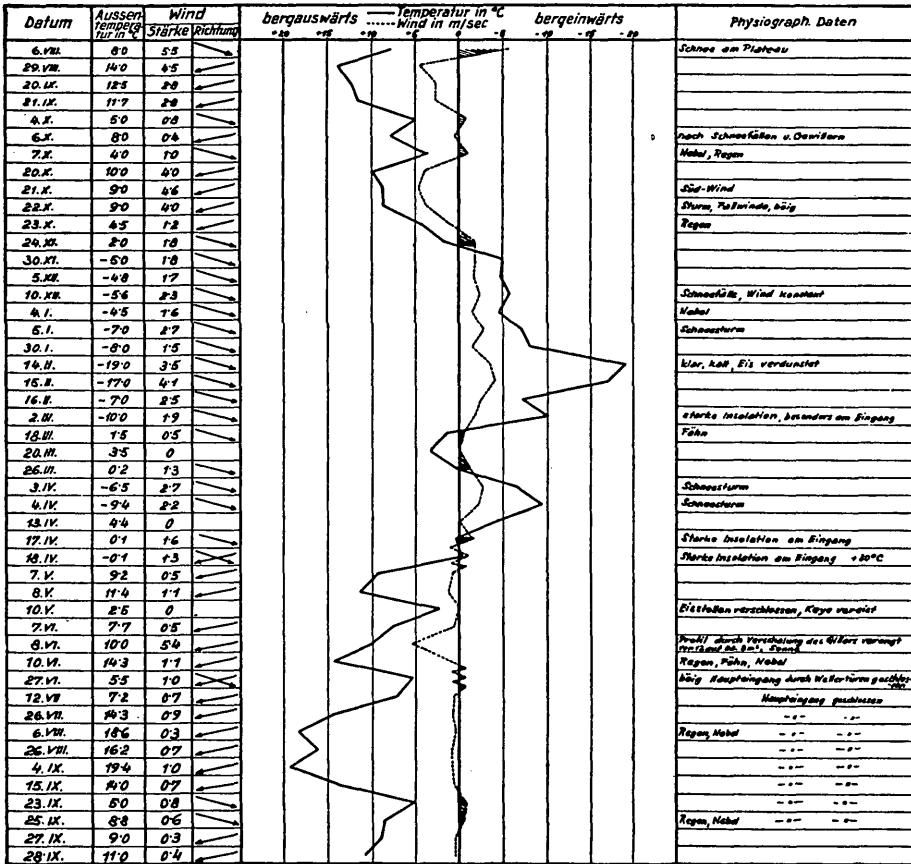
Wetterbewegung und Wetterintensität.

Auch in der Beobachtungsperiode 1928/29 zeigt sich dasselbe Bild der Wetterbewegung- und Intensität, wie in den Jahren 1920/24.

Zuverlässigere Resultate ergaben sich daraus, daß geometrisch einfache und berechnete Windprofile als Meßpunkte verwendet wurden. In ihnen wurden nach Angaben K. Wolfs mindestens an drei verschiedenen Punkten Windmessungen vorgenommen, um unter Berücksichtigung des Reibungswiderstandes an der Umrahmung der Profile Mittelwerte zu erhalten. Die Windmessungen wurden anlässlich der XXX Kontrollgänge mit einem Füßschen Hand-Flügel-Anemometer (ganz im Anfang versuchsweise mit einer Wildschen Windtafel) durchgeführt. Die Beobachtung ergab, daß die Richtung der Wetterbewegung in allen Windprofilen fast ausnahmslos gleichsinnig vor sich ging. Selten auftretende gegensinnige Wetterbewegungen in verschiedenen Windprofilen, wie z. B. am 4. Oktober 1928 (Eingang / Windprofil 1 / b e r g w ä r t s, Versturz und Keyeschluf / Windprofil 4 und 5 / t a l w ä r t s) oder am 18. und 20. März 1929 (Eingang — Parsivaldomversturz — Keye-

¹⁾ L o h m a n n : Das Höhleneis, Dresden 1886.

schlug bergwärts, Eiskeller / Windprofil 1 b / talwärts) besagen nichts Eindeutiges. Bei den damals herrschenden niedrigen Plus-Temperaturen der St. I (4. Oktober 1928 5,0, 18. März 1929 1,5, 20. März 1929 3,5 °C, Mittel) lag eine thermische Situation vor, die begleitet von Wetterstockungen eine Wetterinversion einleitete oder abschloß, wobei stets lokale Wetterbewegungen in einzelnen Höhlenteilen vorübergehend ausgelöst



Entwurf: R. Saar

Abb. 9. Wetterdiagramm 1928/29. Außentemperaturen, Windrichtung und Windgeschwindigkeit im Eingangstollen nach Messungen anlässlich von 30 Kontrollgängen in Intervallen von 14 Tagen. Dicke Linie: Außentemperatur; punktierte Linie: Windgeschwindigkeit. Rechts der 0,0 °C-Linie sind die Minustemperaturen und die bergwärtige Wetterbewegung, links die Plus temperaturen und die talwärtige Wetterbewegung gezeichnet. Schraffierte Stellen: Kritische Temperaturen. Jedem °C entspricht eine Windgeschwindigkeit von 1 m/sec. Ab 10. VI. erkennt man deutlich das fast vollständige Abklingen der Wetterbewegung nach Verschluss der Eingänge durch Wettertüren.

werden, die schließlich wieder zu einer durchgehenden Richtungsvereinheitlichung hinüberführen. Da eingehende Untersuchungen ergaben, daß für die Bewetterung der Höhle nur die Wetterführung im Eingangsstollenbereich maßgebend ist¹⁾, werden auch nur die in diesem Profile gemachten Beobachtungen wiedergegeben.

Ebenso wie in der Beobachtungsperiode 1920/24 ergaben auch die Messungen 1928/29 im Eingangsstollenprofile Windgeschwindigkeiten von 0 bis etwa 7 m/sec.²⁾. Ganz eindeutig zeigte sich auch die Abhängigkeit der Wetterintensität von der Größe des Temperaturgradienten Außen-Innenluft, der Wetterrichtung von der Außentemperatur (bis 6,0 ° C bergwärts, sonst talwärts), außerdem aber auch, nach Angabe der Beobachter, der Einfluß heftiger Luftströmungen auf der Erdoberfläche (Föhn, Sturm, Fallböen) auf die gesamte Wetterführung in der Höhle. Leider sind die diesbezüglichen Vermerke und Beobachtungen noch nicht ausreichend, um den Einfluß dieser Komponenten quantitativ und qualitativ feststellen zu können.

Von besonderem Interesse ist jedoch die, bereits erstmalig 1920/24 gemachte, nunmehr bestätigte Feststellung, daß zwar die Intensität der Wetterbewegung mit zu- und abnehmendem Temperaturgradienten Außen-Innenluft gleichsinnig steigt und fällt, jedoch ein **M a x i m u m** von etwa 7 m/sec. — mit Ausnahme ganz kurzfristiger Böenstöße — **n i c h t** übersteigt, auch wenn der Temperaturgradient weiter anwächst. Es scheint demnach, daß bei Erreichen einer maximalen Windgeschwindigkeit, der sich längst des Hauptwetterweges im Evakuations Schlauch geltend machende Reibungswiderstand ein solches Ausmaß erreicht, daß er nicht mehr nur bremsend, sondern **v e r n i c h t e n d** auf die Kräfte wirkt, die die Wetterbewegung noch über dieses Maximum **h i n a u s** zu beschleunigen trachten.

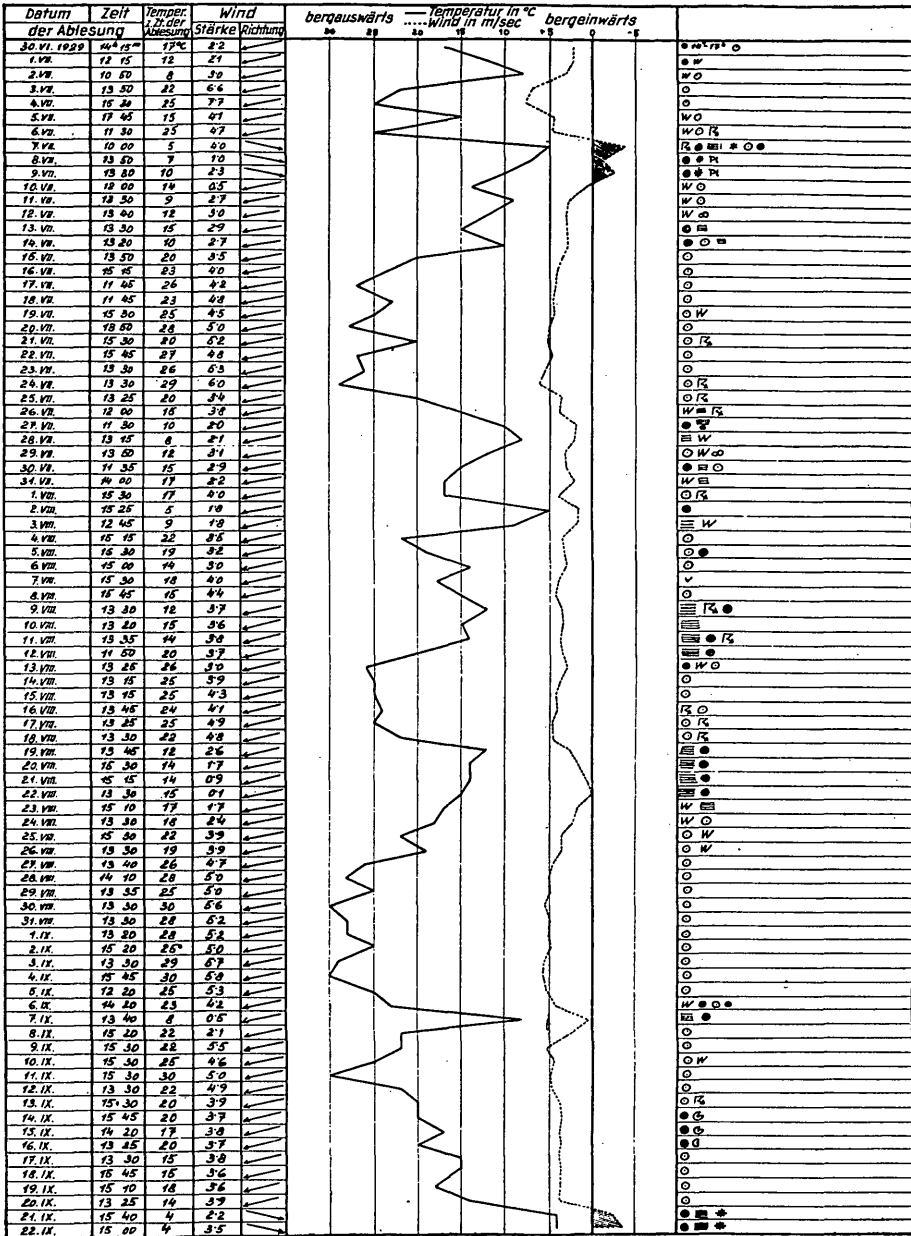
Um diese auffallende, in Abb. 9 dargestellte, Beziehung zwischen Temperaturgradienten, Wetterintensität und -Richtung zu überprüfen, wurden noch tägliche Beobachtungen in der Zeit vom 30. Juni bis 22. September 1929 herangezogen, bei denen nicht, wie bisher, den Wetterwerten die **m i t t l e r e n** Tagestemperaturen, sondern die bei der Wettermessung **t a t s ä c h l i c h** herrschenden Außentemperaturen gegenübergestellt wurden.

Daraus ergab sich das Wetterdiagramm, Abb. 10, das die geschilderten

¹⁾ Auf die Analyse und Gegenüberstellung der Windmessungen und Wetterbewegung in den fünf Windprofilen muß im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden.

²⁾ Die 1928/29 ermittelten Windgeschwindigkeiten sind etwas niedriger als die aus 1920/24, da sie in dieser Periode nur im Zentrum des Windprofils gemessen wurden, daher die höchsten Werte wiedergeben, während 1928/29 die Mittelwerte aus drei bis vier Messungen im Windprofil errechnet wurden.

Die Dachstein-Rieseneishöhle nächst Obertraun.



Entwurf: R. Saar

Abb. 10. Wetterdiagramm vom 30. VI. bis 22. IX. 1929. Tägliche Beobachtungen, wobei nicht die mittlere Tages-, sondern die bei der Windmessung tatsächlich gemessene Temperatur der Windgeschwindigkeit gegenübergestellt wurde. Darstellung wie in Abb. 9; rechts Symbole des jeweiligen Wettercharakters; auch hier zeigt sich die beschriebene Abhängigkeit der Windrichtung und Intensität von der Außentemperatur.

Beziehungen, insbesondere die Blockierung der Wetterbewegung bei etwa 6—7 m/sec. überzeugend zum Ausdruck bringt¹⁾).

Evaporimetermessungen.

In Verwendung standen 2 Wildsche Verdunstungsmesser, von denen der eine im Parsival- der andere im Artusdom aufgestellt war. Die Evaporimetermessungen sind sehr dürftig. Immerhin bestätigten sie die Feststellung, daß in der Sommerphase keine, in der Winterphase reichliche Verdunstung in der Höhle herrschte. Für eine quantitative Analyse reichen die Evaporimetermessungen nicht aus.

Extremtemperaturen.

Extremtemperaturen wurden fallweise gemessen. Von Interesse sind jene Ablesungen, die von Thermometerstandorten stammen, die abseits der Autographenstationen lagen: Plimisoel (St. 6), Joflans (St. 7) und Belrapeire (St. 3). Sie ergaben folgende Werte:

Datum	Plimisoel (St. 6)		Joflans (St. 7)		Belrapeire (St. 3)	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
23. November 1928	2,9	2,9	3,7	3,2	0,0	0,0
5. Dezember 1928	3,0	2,8	3,7	3,0	— 2,8	— 4,0
18. Dezember 1928	2,9	2,9	—	—	— 1,1	— 4,6
14. Februar 1929	3,0	3,0	3,0	3,0	— 3,0	— 5,3
26. März 1929	3,0	2,8	3,1	3,0	— 1,9	— 2,6

Bemerkenswert an diesen Ablesungen sind die hohen Maxima- und Minima auf Plimisoel und Joflans, selbst in der Winterphase, in der auf Belrapeire tiefe Minustemperaturen herrschen. Sie bestätigen die Richtigkeit der fast vollständigen Unempfindlichkeit dieser Höhlenteile gegenüber der winterlichen Bewetterung längs der Hauptachse.

Eispegel.

Der am Monte-Cristallo-Gletscher zum Zwecke der Registrierung einer etwaigen Fließbewegung der Bodeneismassen aufgestellte Pegel blieb vollkommen stationär. Auch auf stark geneigtem Untergrunde aufliegendes Bodeneis befindet sich in einem absoluten Ruhezustand.

Das Eispegeldiagramm (Abb. 11) zeigt anfangs November, bei beginnendem Kälteeinbruch, mit Ausnahme im Eisabgrund, überall eine kurzfristige Eisregeneration. Sickerwässer dringen noch in die Höhle ein, und werden von den bergwärtigen Winterwettern schon zum Gefrieren gebracht. Das Maximum des Eiswachstums beträgt 6 cm im Tristandom. Die winterliche Trockenheit bereitet Mitte November dem Wasserzufluß

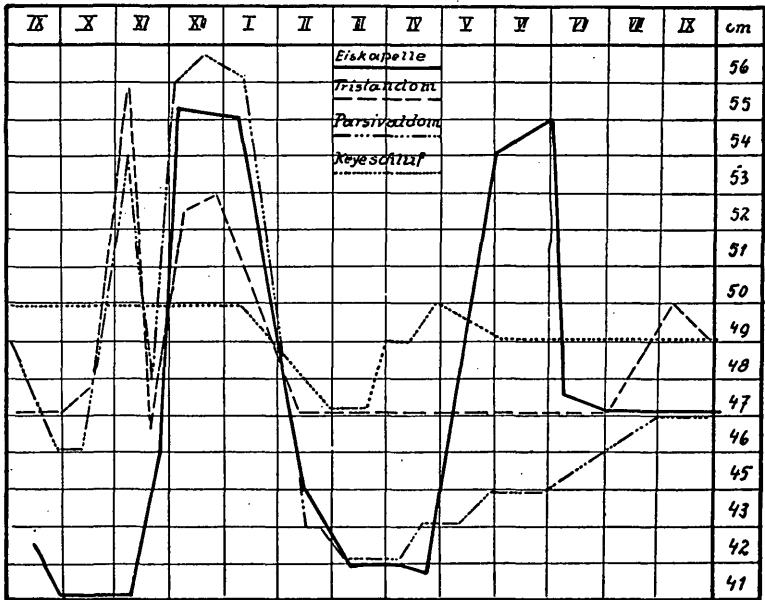
¹⁾ Rechts der 0,0°C-Linie liegen die Minustemperaturen und die bergwärtige Wetterbewegung, links die Plustemperaturen und die talwärtige Wetterbewegung. Jedem °C entspricht 1 m/sec.; ganz rechts die Symbole für den jeweiligen Wettercharakter. Eine eingehende Analyse dieser und anderer Wetterdiagramme muß einer gesonderten Behandlung vorbehalten werden.

ein Ende und unter dem Einfluß trockener, in die Evakuation einströmender Außenluft kommt es, kurzfristig, zu Eisverdampfung, die sich an allen Pegelstationen in einem Eisschwund von ca. 2 cm bemerkbar macht. Im Dezember kommt es, infolge vermehrten Sickerwassernachschubes in die schon kaltgewordene Höhle zu einer kräftigen Eisregeneration an allen Pegelstationen, die bis Anfang Jänner anhält und zu Eiszuwachs bis 10 cm. Dann setzt, bei kräftigen, kalten und trockenen Winterwettern eine rapide Eisdegeneration durch Verdampfung ein, die sich an den verschiedenen Pegelstationen verschieden stark auswirkt und einen Eisschwund bis zu 13 cm verursacht. Mit kleinen Schwankungen hält dieser Zustand bei allen Pegelstationen bis etwa Ende April, Anfang Mai 1929 an. Dann setzt ein explosiver Eiszuwachs ein, der durch vermehrte Zufuhr von Schneeschmelzwässern in die sehr kalte Evakuation ausgelöst wird. Es ist dies die Zeit der prächtigsten Eisformenentfaltung (Abb. 1 c).

Der weitere Verlauf der Eisstände ist unter dem Einfluß lokaler Sickerwassereinbrüche, warmer Luftströmungen und der noch an einzelnen Teilen der Evakuation zur Verfügung stehenden Kältereserven völlig ungleich. Nur im Parsivaldom kommt es noch zu einer langsamen Eisaneicherung (infolge Sublimation des Wasserdampfes der warmen Sommerwetter); im Eisabgrund und Tristandom setzt unter dem Einfluß warmer sommerlicher Sickerwässer bereits Ende Juni eine starke Degeneration ein, die bis in den Herbst hinein anhält, wo im Oktober ein langsames Anwachsen des Eiskörpers bei allen Pegelstationen zu erkennen ist. Die 1928/29 beobachtete Eisoszillation kann, naturgemäß, den meteorologischen Verhältnissen am Tage entsprechend, variieren. Doch ist für das Normaljahr der Ablauf: frühwinterliche Regeneration, hochwinterliche Degeneration, frühjährliche Hochregeneration, sommerlich fortschreitende Degeneration typisch.

Doch sei darauf hingewiesen, daß z. B. schneearme, kalte Winter trockener Jahre in der Jahresbilanz des Eishaushaltes der Höhle, trotz günstiger Temperaturentwicklung in ihr, ein Eisdefizit erzeugen können, da die Sickerwasserspendsen zu geringe sind; oder, daß trotz einem kalten, schneereichen Winter und niederschlagsreichen Frühjahr der erhoffte Eiszuwachs ausbleibt, weil die Menge der in die Höhle einbrechenden Schmelz- und Sickerwässer nicht mehr zu Eis aufgearbeitet werden kann und durch Korrosion selbst ältere Großeisformen zerstört.

Der immerhin strenge Winter 1953/54 mit zwei Wärmewellen und Tauperioden Mitte Dezember und Februar zeigte dies deutlich, da die dadurch zu früh angefallenen, reichlichen Schmelzwässer, in der noch nicht genügend abgekühlten Höhle, nur zu geringem Teil in Eis umgewandelt werden konnten und so den normalen jährlichen Eisaufbau verhinderten.



Entwurf: R. Saar

Abb. 11. Darstellung der Eisoscillation (Regeneration und Degeneration) nach Eispegelmessungen von September 1928 bis September 1929, an verschiedenen Punkten des Konvakuationsraumes. — Deutlich ist die frühwinterliche und fröhsommerliche Regenerationsphase, unterbrochen durch die hochwinterliche Degenerationsphase infolge Eisverdampfung, zu erkennen.

5. Beobachtungen und Messungen 1954.

Im Jahre 1954 konnten die synchronen Aufzeichnungen der Temperaturen und Feuchtigkeitsverhältnisse der D. R. E. mit 2 Autographenstationen (je einer Freiland- und Höhlenstation) wieder aufgenommen werden. Sie werden ergänzt durch Ablesungen von, an markanten Stellen der Höhle fix angebrachten, absoluten Instrumenten (Stationsthermometer). Zur Kontrolle der Temperaturverhältnisse in der Höhle genügt eine Autographenstation in ihrem thermisch stabilsten kalten Teile (Parsivaldom). Aus den Autogrammen im Zusammenhalt mit den Ablesungen der Stationsthermometer kann, bei dem nun schon bekannten Verlauf der Höhlentemperaturen, das Temperaturbild der ganzen Höhle konstruiert werden. Im übrigen wird das Schwergewicht der Beobachtungen auf den kalten Teil der Höhle konzentriert, da nur hier der Effekt der dynamischen Bewetterung in Erscheinung tritt und eine Änderung der Temperaturverhältnisse den Charakter der Höhle, als Eishöhle, umzugestalten vermag. Infolge des zwischen den Temperaturen der Außenluft und des Parsivaldomes linear verlaufenden Temperaturganges, kann auch die Temperatur

Stationen	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahres- mittel	
Normalwerte 1450 m SH	12.3	12.0	9.0	4.9	-0.2	-3.6	-4.2	-3.5	-1.0	2.8	7.5	9.8	12.3	12.0	9.0	4.9	-0.2	-3.6	3.7°C	
Mittlere Außentempe- ratur 1450 m	1928/29	13.9	13.4	8.1	6.1	2.0	-3.4	-5.5	-8.2	-1.1	1.4	5.9	9.8	13.3	12.8	13.2	—	—	3.8 ¹⁾	
	1953/54	13.3	10.6	8.4	7.6	2.3	1.6	-8.9	-7.2	-0.7	4.8	10.0	8.0	10.9	9.6	5.1	0.4	-1.0	3.0	
Normalwerte 500 m		17.7	16.7	13.2	8.1	2.3	-1.4	-3.0	-1.2	3.3	7.7	12.8	15.8	17.7	16.7	13.2	8.1	2.3	-1.4	7.5
Hallstatt 524 m	1953/54	17.7	16.1	14.9	11.8	3.1	1.4	-3.9	-2.8	4.9	6.4	11.2	15.4	13.8	15.8	14.3	7.8	2.6	2.2	7.3
Normalwerte 1000 m		14.8	14.1	11.0	6.3	0.6	-2.8	-3.9	-2.6	0.8	4.8	9.8	12.7	14.8	14.1	11.0	6.3	0.6	-2.8	5.7
Alt-Aussee 950 m	1928/29	19.7	15.8	11.7	7.6	4.2	-3.5	-6.3	-8.5	1.7	3.1	12.9	14.6	17.2	16.2	13.8	8.4	3.7	0.9	6.5
	1953/54	16.4	14.4	12.5	9.7	2.5	0.9	-6.5	-3.5	3.2	3.5	8.6	13.6	11.9	14.8	11.9	6.0	1.0	0.4	5.4
Normalwerte 1300 m		13.0	12.6	9.5	5.4	0.1	-3.2	-4.0	-3.4	-0.5	3.1	8.0	10.7	13.0	12.6	9.5	5.4	-0.1	-3.2	4.5
Ramsau 1280 m	1928/29	16.8	14.9	9.9	6.4	2.0	-5.2	-8.0	-9.5	0.2	2.1	10.1	12.7	15.0	14.3	12.3	6.5	1.2	-1.6	4.6
	1953/54	14.2	12.8	11.3	7.8	2.4	-0.2	-8.0	-5.7	1.8	1.4	6.7	12.2	10.3	12.5	11.0	5.5	0.5	-0.4	4.0
Normalwerte 1500 m		11.8	11.5	8.4	4.6	-0.4	-0.3	-4.5	-4.2	-1.4	1.9	6.6	9.4	11.8	11.5	8.4	4.6	-0.4	-3.4	3.4
Feuertogel 1594 m	1953/54	12.2	10.7	10.0	7.7	3.4	1.1	-8.9	-5.8	0.2	-1.2	4.8	10.1	8.2	10.5	9.1	4.3	0.7	-2.1	2.5
Parsivaldom 1430 m SH. 300 m Tiefe	1920/24	0.0	1.5	1.1	1.3	-1.3	-1.5	-3.4	-3.7	-2.3	-1.5	-1.0	0.7	0.0	1.5	1.1	1.3	-1.3	-1.5	-0.9
	1928/29	0.0	0.7	0.7	0.6	0.4	-2.1	-5.4	-7.1	-5.7	-2.7	-2.4	-1.3	-1.1	-0.5	-0.6	—	—	—	-2.3 ¹⁾
	1953/54	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-3.3	-3.8	-2.8	-2.4	-1.09	-0.96	-0.8	-0.3	-0.3	-0.3	-0.45	-1.4	-1.5

Abb. 12

1) Zwölf Monatsmittel (Oktober—September)

jedes, zwischen diesen beiden Meßpunkten gelegenen, Höhlenteiles rechnerisch ermittelt werden.

Die Beobachtungen des Jahres 1954 waren besonders aufschlußreich und ihre Ergebnisse zum Teil sogar unerwartet. Der Winter 1953/54 war, wie noch in Erinnerung sein dürfte, subjektiv empfunden, namentlich im Bereich des Jahres 1954, lang und streng. Statistisch gesehen rangiert er bei einem Vergleich der Temperaturanomalien seit 1850 mit $-9,1^{\circ}\text{C}$ jedoch erst an 6. Stelle, wobei der März sogar übernormal warm war (F. Steinhäuser 1954). Immerhin war zu erwarten, daß 1954 der Eiszuwachs in der Höhle zumindestens das normale jährliche Ausmaß erreichen würde. Dagegen kam der, schon schwächlich einsetzende, frühwinterliche Regenerationsprozeß, nach schleppender Entwicklung, bald zum Stillstand, so daß die Höhle dem sommerlichen Degenerationsprozeß nur ein sehr geringes, als „Puffer“ dienendes Neueismaterial entgegenzustellen hatte. Die Folge davon war eine auffallend starke Dezimierung des Eisformenschatzes der Höhle, die im Laufe des Sommers zum Teil auch auf die Bodeneismassen und Eisgroßformen übergriff.

Wie kam es nun zu dieser überraschenden Entwicklung? Betrachtet man die Tabelle Abb. 12, so zeigt sich folgendes: In ihr sind die Normalwerte in 500, 1000, 1300, 1450 und 1500 m S. H. den Monatsmitteln annähernd gleich hoch gelegener meteorologischer Stationen (Hallstatt 524, Alt-Aussee 950, Ramsau 1280, Schönbergalpe-D. R. E. 1450, Feuerkogel 1594 m S. H.) in den Jahren 1928/29 bzw. 1953/54 gegenübergestellt. Die Vergleichsstationen wurden zwecks Kontrolle der Temperaturentwicklung der maßgeblichen Station Schönbergalpe-D. R. E. herangezogen. Die Monatsmittel Juli-September entsprechen in den Vergleichsjahren den Normalwerten ziemlich bzw. annähernd gut; vom Oktober bis Dezember 1953 zeigt sie jedoch bei allen Stationen eine beträchtliche Steigerung, die für die Station Schönbergalpe-D. R. E., gegenüber den Normalwerten $+2,7$ für Oktober, $+2,5$ für November und $+5,2^{\circ}\text{C}$ für Dezember beträgt. Diese Monate waren demnach auch im Bereich der D. R. E. abnormal warm.

Das führte dazu, daß in dieser Periode auch im Höhlenbereich die Niederschläge entweder noch als Regen fielen, oder — fielen sie als Schneeschmelzen, so daß der Evakuationsperiode entsprechend, bei etwa $-0,2^{\circ}\text{C}$ lag, immer wieder warmes Sickerwasser zugeführt wurde, das noch nicht zum Gefrieren gebracht werden konnte; denn, da die Außentemperatur meist im Bereiche des „kritischen“ Temperaturbandes lag, wurde dem Basalaste der Evakuationsperiode bei bergwärtiger Wetterbewegung, fast ausschließlich nur Wärme zugeführt.

Das Pentadendiagramm, Abb. 13, zeigt, daß 1928 schon Ende No-

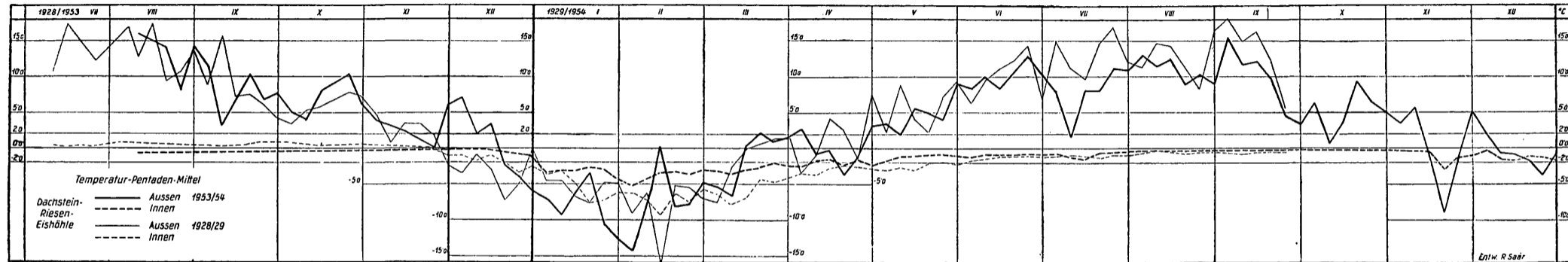


Abb. 13. Die synoptische Darstellung der beiden zeitlich etwa 25 Jahre auseinanderliegenden Diagramme zeigt, namentlich in den Wintermonaten, deutlich das Zurückbleiben der Höhlentemperatur im Jahre 1953/54 gegenüber 1928/29 infolge der kräftigen, wiederholten Einbrüche warmer ozeanischer Luftmassen im Dezember, Jänner und Februar.

vember die Außentemperatur auf $-3,0^{\circ}\text{C}$ sank und die bis dahin über $0,0^{\circ}\text{C}$ gestandene Höhlentemperatur (St. IV) auf $-1,0^{\circ}\text{C}$ herabdrückte. Weiters, daß erstere trotz zweier Wärmewellen, um den 10. und 30. Dezember im Durchschnitt tiefe Minuswerte beibehielt und letztere bis auf $-3,4^{\circ}\text{C}$ erniedrigte. Dagegen zeigt die Außentemperatur Ende November 1953 noch sehr hohe (bis $8,0^{\circ}\text{C}$ ansteigende) und erst ab 20. Dezember unter $0,0^{\circ}\text{C}$ absinkende Werte. Da sie auch in dieser Zeit meist im „kritischen“ Temperaturbereiche lag, stieg die Temperatur der Höhle noch über $-0,2^{\circ}\text{C}$ an und senkte sich erst gegen Ende Dezember langsam auf $-1,0^{\circ}\text{C}$. Gegenüber 1928 bestand daher Ende 1953 bereits ein Defizit von $2,0^{\circ}\text{C}$ im Evakuationsraum.

Während nun, 1929 nach einer Wärmespitze um die Jahreswende mit $0,0^{\circ}\text{C}$, die Außentemperatur nur mit geringen Schwankungen bis zu einem Minimum von $-23,0^{\circ}\text{C}$ ($-19,2^{\circ}\text{C}$ Tagesmittel) gegen Mitte Februar konstant absank und die Höhlentemperatur bis unter $-9,0^{\circ}\text{C}$ mitriß, stieg erstere 1954 Mitte Jänner bis $0,5^{\circ}\text{C}$ (Tagesmax. am 16. $3,0^{\circ}\text{C}$) an und hob gleichzeitig letztere wieder um ein Beträchtliches, so daß sie dem darauf, anfang Februar, folgenden Temperaturabstieg der Außenluft auf ein Minimum von $-19,2^{\circ}\text{C}$ ($-14,0^{\circ}\text{C}$ Tagesmittel) nur mehr sehr schleppend und zögernd folgte. Hierauf vollzog sich jedoch am Tage ein unerwarteter Temperaturanstieg um die Monatsmitte mit Tagesmitteln bis $2,9^{\circ}\text{C}$ (Maximum $4,8^{\circ}\text{C}$), der nunmehr die Abwärtsbewegung der Höhlentemperatur endgültig abstoppte.

Die anomalen Wärmewellen im Dezember 1953 und Februar 1954 mit „kritischen“ Temperaturen und kräftigen Schmelzwassereinbrüchen hemmten nicht nur die normale jährliche Regeneration des Höhleneises, sondern verminderten auch die normale winterliche Kältespeicherung in der Konvakuationschale, so daß die sommerliche Höhlentemperatur 1954 zeitweilig bis fast $0,0^{\circ}\text{C}$ (gegenüber $-0,5^{\circ}\text{C}$ 1929) ansteigen konnte.

Es scheint im übrigen auch noch ein anderer Umstand für die geringe winterliche Kältespeicherung in der Konvakuationschale verantwortlich gewesen zu sein: nämlich ein starkes Absinken der Wetterbewegung in der entscheidenden Winterphase. Dieses mag durch folgende Vorgänge veranlaßt worden sein: Die beiden Wärmeperioden im Dezember 1953 und Februar 1954 haben augenscheinlich zu einem raschen und weitgehenden Abschmelzen der bereits vorhandenen Schneedecke auf der Erdoberfläche über dem Evakuationsystem geführt. Da diese Tauperioden unmittelbar von kräftigem Frost abgelöst wurden, ist nicht von der Hand zu weisen, daß sich der Boden oberhalb des Evakuationsystems mit einer glasigen Schnee-Eisschicht überzog, die auch die zahllosen hier an den Tag austretenden Klüfte und Spalten plombierte, die mit dem Evakuationsystem kommunizieren. Da es nach der Terrainbeschaffenheit wahrscheinlicher ist,

daß sich die Wetterbewegung durch ein solches Spaltennetz und nicht durch großlumige Röhren vollzieht, dürften durch diesen Vorgang die Wetterwege des Evakuationsystems zum größten Teil inaktiviert und dadurch die Wetterbewegung in der entscheidenden Winterphase stark gedrosselt worden zu sein.

Auch der kühle Sommer 1954, insbesondere mit seinen anomalen Julitemperaturen, verstärkte mit der quantitativen Vermehrung der „kritischen“ Außentemperaturen fortlaufend die Anstiegstendenz der Höhlentemperatur. Erst im November 1954 brachte eine — zeitlich begrenzte — Kältewelle die Höhlentemperatur wieder etwas zum Absinken, die aber schon um den 20. herum von einem föhnigen, länger andauernden Wärmeinbruch abgelöst wurde. Der Vergleich der beiden 25 Jahre auseinanderliegenden Diagramme demonstriert sehr eindrucksvoll das Verhalten der Höhlentemperaturen in zwei thermisch unterschiedlichen Jahreszyklen, läßt aber auch überzeugend die kräftige Resistenz der Höhlentemperatur im Sommer, gegenüber nicht unbeträchtlichen klimatischen Anomalien, erkennen. Das Diagramm aus 1954 zeigt auch besonders gut die Phasenverschiebung des Temperaturganges am Tage und in der Höhle in verschiedenen Monaten.

In allen sonstigen Belangen decken sich die Beobachtungsergebnisse und Messungen 1953/54 völlig mit den bisherigen und schon eingehend beschriebenen Feststellungen über Wetterbewegung, Wetterinversion, kritische Temperaturen usw. Sie dürfen daher als verifiziert betrachtet werden. So konnten, um nur ein Beispiel anzuführen, folgende Feuchtigkeits-(Dampfdruck-) Werte der Außenluft und Höhlenwettersäule auf Grund von Messungen mit dem Assmannschen Aspirations-Psychrometer festgestellt werden.

Relative Luftfeuchtigkeit (%) und Dampfdruck (g)

Zeit 1954	St. I (außen)			St. IV (Parsivaldom)		
	T ° C	rel. L. F. %	Dampfdruck g	T ° C	rel. L. F. %	Dampfdruck g
23. März	6,4	45	3,4	— 1,6	99	4,0
24. März	—	—	—	— 1,7	99	4,1
25. Mai	—	—	—	— 0,6	100	4,4
18. August	13,2	77	8,7	— 0,2	100	4,5
21. August	18,0	28	4,3	— 0,2	100	4,5
24. August	7,3	93	7,2	— 0,1	100	4,5
9. September, 9 Uhr	6,8	93	7,0	0,1	100	4,6
9. September, 9.30 Uhr	6,8	70	5,3	0,1	100	4,6
9. September, 10 Uhr	6,8	58	4,3	0,1	100	4,6

Über die Felstemperaturen im Jahre 1954 kann derzeit nur soviel ausgesagt werden, daß sie scheinbar auch um etwa 0,5 ° C höher lagen als 1929; da im Sommer 1954 neue Meßstellen für Felstemperaturen (bis

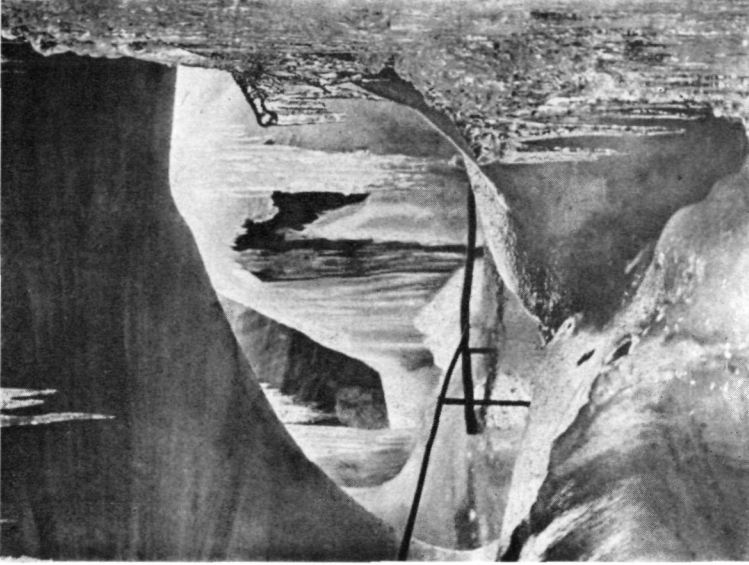


Foto: R. Pilz
Abb. 1 c. Eiskapelle im Zustand höchster Eisregeneration; rechts im Bilde Baumeis.

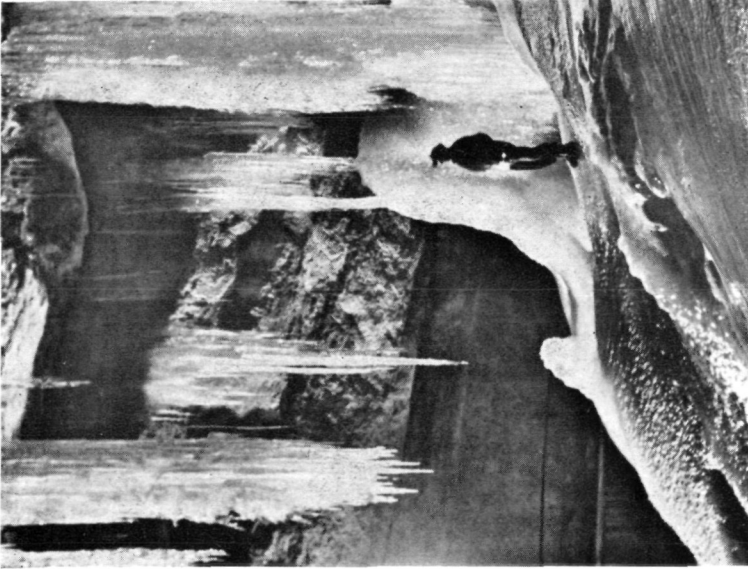


Foto: R. Pilz
Abb. 1 a. Tristandom im Zustand der Regeneration; am Rande des 18 m tiefen Eisabgrundes, Rückwärts unten ist die Galerie zu sehen, die über den Eisabgrund führt.

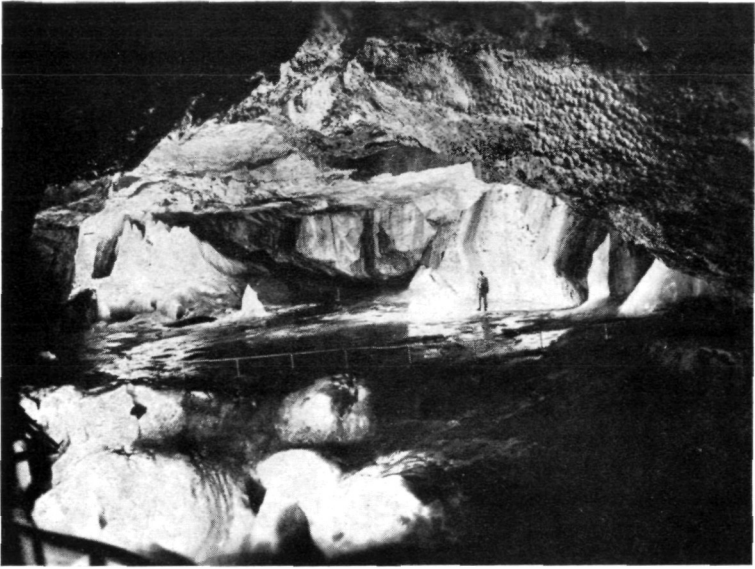


Foto: F. Walden

Abb. 1 b. Tristandome im Zustande höchster Eisdegeneration (1920); Blick vom Eingangsstollen über den Eisabgrund auf die Oberfläche der hier 15—18 m dicken Bodeneismasse; sämtliche Decken- und Bodeneiszapfen sind verschwunden; erhalten haben sich lediglich die Großeisformen.



Foto: F. Bauer

Abb. 1 d. Blick vom Versturz in den Parsivaldome; am Fuß des Montsalvatsch-Gletschers ein Gletschersee mit Spiegelung der Eisfiguren, entstanden durch aus dem Versturze einströmende warme Sommerwetter.

4 m Tiefe) gebohrt und mit nach außen isolierten Thermometern versehen wurden, muß das richtige Funktionieren dieser Instrumente erst durch längere Prüfung sichergestellt werden. Der unzureichenden Abkühlung der Konvakuationschale im Winter 1953/54 würde die Temperatursteigerung in ihr entsprechen. Die bisherigen Beobachtungen und Reihenmessungen zeigen, wie sich aus folgender Tabelle ergibt, daß sich die thermischen Verhältnisse der Höhle seit ihrer Entdeckung im Jahre 1910 bis etwa 1953 durch Absinken der Temperaturen um mehr als $2,0^{\circ}\text{C}$ in den eisführenden Räumen verbesserten, jedoch 1954 durch Ansteigen um mehr als 1°C wesentlich verschlechterten, wobei allerdings der thermische Tiefstand vom Herbst 1910 noch nicht erreicht wurde.

Zeit	St. I	St. II	St. III	St. IV	St. VI	6. u. 8
14. September 1910	12,5	—	1,0	0,0	2,0	3,5 ¹⁾
1920/24	2,6	— 2,4	— 1,7	— 0,9	1,6	2,8 ²⁾
1928/29	3,8	— 2,3	— 2,1	— 2,3	0,3	3,0 ³⁾
1954	3,0	— 1,2	— 0,6	— 1,5	0,4	1,8 ⁴⁾

Dabei ist zweierlei auffallend: Das niedere Jahresmittel der Außentemperatur 1954 konnte die Höhlentemperatur bei Station II und III nicht auf bisher schon erreichte Werte herabdrücken, da es sich auf lange Perioden „kritischer“ Temperaturen aufbaute, die sich auf die dem Eingang zunächst gelegenen Höhlenteile ungünstig auswirken mußten; die auffallend tiefen Temperaturen der St. VI und 6/8 sind noch auf die Öffnung des Korsaeinganges in den Wintern 1952/53/54, zurückzuführen, die vorübergehend das Artusdomsystem unter das Regime der kalten Winterwetter stellte. Die dadurch erzielte Abkühlung dieses Höhlenteiles wirkte sich noch im Jahre 1954 aus, wird aber voraussichtlich bald verschwinden, da ab Winter 1954/55 die Wetterschleuse im Korsaeingang auch im Winter verschlossen bleibt, um den Wetterstrom mit seiner vollen Intensität und ganzen Masse durch die Eishallen zu leiten. Sämtliche bisher registrierten Veränderungen im Temperaturhaushalte der Höhle hingen nachweislich und ausschließlich nur mit klimatischen Schwankungen auf der Erdoberfläche zusammen.

In diesem Zusammenhang ist die Tabelle, Abb. 12, auch insoferne aufschlußreich, als sie für vier Vergleichsstationen, Hallstatt, Altaussee (Salzberg), Ramsau und Feuerkogel, im Jahre 1954 ein Absinken des Jahresmittels gegenüber den Normalwerten im Ausmaße von $0,2$ bis $0,9^{\circ}\text{C}$, also ein Kälterwerden, erkennen läßt, das auch im Bereich der D. R. E. mit $0,7^{\circ}\text{C}$ festgestellt wurde. T r o t z d e m hat sich der Tempe-

¹⁾ Einzelmessung

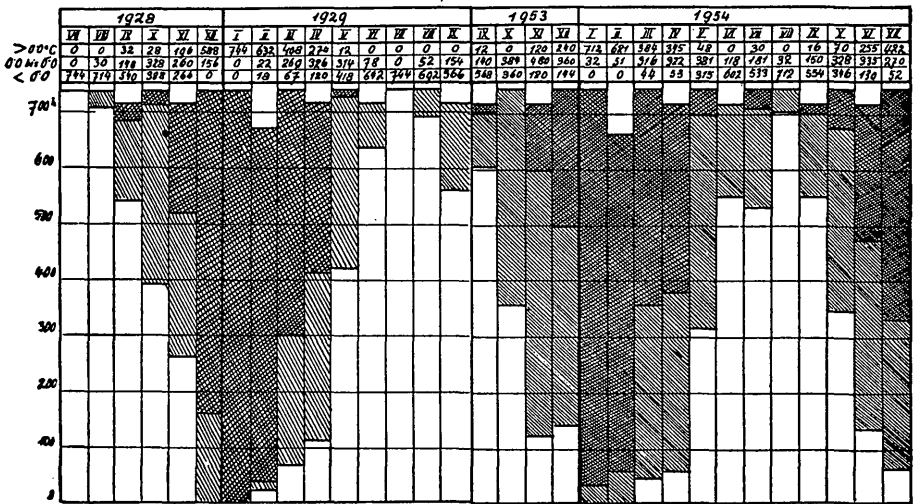
²⁾ Mittel aus 125 Messungen.

³⁾ Zwölf Monatsmittel (Oktober-September).

⁴⁾ Jahresmittel 1954.

ratur- und Eishaushalt der Höhle 1954 wesentlich verschlechtert, wozu insbesondere die hohen Temperaturen des Novembers und Dezembers 1953 beitrugen, die im Höhlenbereiche (St. I) um 2,5 (November) und 5,2⁰ C (Dezember) höher lagen als die korrespondierenden Normalwerte in 1450 m S. H.

Dieser Prozeß zeigt den ungünstigen Einfluß der ozeanisch-feuchtlauen Wettertönung, die 1954 für Mitteleuropa und die Alpenländer charakteristisch war und auch noch im Jänner 1955, bei Abschluß dieser Arbeit, klimatisch bestimmend ist.



Entwurf: R. Saar

Abb. 14. u. 15. Stundenweise Aufteilung der Temperaturen > 0,0, zwischen 0,0 und 6,0, < 6,0 °C in den Zwölf-Monats-Zyklen Oktober - September 1928/29 und Jänner - Dezember 1954; weiß = T > 0,0, einfach gestrichelt = T 0,0 bis 6,0, doppelt gestrichelt = T < 6,0 °C.

Die Abb. 14 und 15 veranschaulichen den Unterschied in der Aufteilung der Temperatur unter 0,0, zwischen 0,0 und 6,0 und über 6,0 ° C, der in dem Jahreszyklus 1928/29 (Oktober-September) für den wirksamen Bereich der D. R. E.:

- 2882 Stunden mit Temperaturen unter 0,0⁰ C,
- 1959 Stunden mit Temperaturen zwischen 0,0 und 6,0⁰ C,
- 3919 Stunden mit Temperaturen über 0,0⁰ C:

im Kalenderjahr 1954 dagegen

- 2903 Stunden mit Temperaturen unter 0,0⁰ C,
- 2516 (!) Stunden mit Temperaturen zwischen 0,0 und 6,0⁰ C,
- 3341 Stunden mit Temperaturen über 6,0⁰ C betrug.

Daraus ergibt sich für das Kalenderjahr 1954 gegenüber dem Zyklus Oktober-September 1928/29 eine Stundendifferenz von:

- + 121^h mit Temperaturen unter 0,0 °C = + 4,2 % oder 5^d 1^h.
- + 557^h mit Temperaturen von 0,0—6,0 °C = + 22,2 % oder 23^d 5^h.
- 568^h mit Temperaturen über 6,0 °C = — 14,5 % oder 23^d 16^h.

Es waren zwar die Temperaturen der bergwärtigen Winterwetter in beiden Zyklen (Dezember—März 1928/29 und Jänner—März und Dezember 1954) im Mittel gleich, nämlich — 4,5 °C; es war zwar im Jahre 1954 der sommerliche Wetterstrom mit + 0,5 °C vom Versturz her um 23 Tage und 16 Stunden kürzer als im Zyklus 1928/29; dafür war jedoch 1954 der zerstörende Einfluß der bergwärtigen warmen, kritischen Wetter um 23 Tage länger wirksam als im Zyklus 1928/29. Und darauf kommt es eben an! Das Mittel der „kritischen“ Wetter lag 1954 etwa bei + 3,5 °C, da sie meistens in die feuchtkühle Sommerphase fielen.

Es zeigt sich somit deutlich, daß bei gleichbleibenden Wintertemperaturen das Absinken der Sommertemperaturen in den Bereich der „kritischen“ Temperaturzone (ozeanische Klimatönung) weit unvorteilhafter für das thermische Regime der Höhle ist als ein heißer Sommer mit hohen Plustemperaturen (kontinentale Klimatönung). Es ist daher bei Fortbestand des derzeit herrschenden ozeanisch betonten Klimacharakters kaum zu erwarten, daß im Jahre 1955 die Höhlentemperatur wieder einen für das Objekt optimalen Tiefstand erreichen wird; es ist im Gegenteil mit einer weiteren Erhöhung derselben, mit starken Schmelz- und Sickerwasser-einbrüchen und damit auch mit einer bedenklichen Schädigung des Eis-haushaltes der Höhle zu rechnen. Diesem Prozeß kann erst wieder der Eintritt einer ausgesprochen kontinentalen Tönung des mitteleuropäischen Klimas Einhalt gebieten, und es ist nur zu hoffen, daß sich dieser Umschwung noch in einer Zeit vollziehen wird, bevor der Eisformenschatz der Höhle ein schwer wieder aufzuholendes Degenerationsstadium erreicht haben wird.

6. Spezielle Untersuchungen.

Die bisherigen Beobachtungen haben einwandfrei ergeben, daß sich extrem niedere Temperaturen nur längs des Hauptwetterweges der D. R. E.: Alter Eingang — Parsivaldomversturz entwickeln.

Die thermischen Verhältnisse dieses Höhlenteiles werden primär von exogenen (meteorologische Elemente der Außenwelt), sekundär von endogenen (Erdwärme, Verdunstung, Kondensation in der Höhle), die des Artusdomkomplexes fast ausschließlich nur von endogenen Faktoren bestimmt. Die Temperatur von tektonisch stark zerrütteten und hydrisch drainierten Gebirgsstöcken unterliegt infolge einer steten Durch-

lüftung bis in große Tiefen, wenn auch in geringem Ausmaße, dem jährlichen Temperaturgang am Tage. Daher vergrößert sich in verkarsteten Gebirgen das Ausmaß nicht nur der wärme u n stetigen Zone, sondern auch das der geothermischen Tiefenstufe ganz beträchtlich (Stini J., 1950). Da die Temperaturen im Artusdombereich, insbesondere in den aufsteigenden Luftsäcken des Plimisöel (bis $3,0^{\circ}\text{C}$) und der Iwanhalle (bis $4,0^{\circ}\text{C}$), eine auffallend stabile, auch im Winter anhaltende Annäherung an das Jahresmittel der Außentemperatur ($3,7$ bzw. $4,0^{\circ}\text{C}$) zeigen, scheinen sie, ohne Bewetterung von außen, bereits im Bereich der wärmestetigen Schicht zu liegen; die wärme u n stetige Erdkruste hätte somit im Höhlenbereich eine Dicke von etwa 80 bis 100 m, jenseits der ein langsames Ansteigen der Gesteinstemperatur zu erwarten wäre.

Völlig anders liegen die Verhältnisse im vereisten Teil der Höhle und ihren heute noch unbekanntem Fortsetzungen jenseits des Parsivaldomversturzes. Diese müssen, dem unbestrittenen Bauplan einer dynamischen Wetterhöhle entsprechend, in ihrem weiteren Verlaufe, sei es durch tektonisch geöffnete (Klüfte, Spalten, Fugen) oder hydrisch ausgearbeitete Kommunikationen (Schächte, Kamine, ansteigende Tunnels) mit der Erdoberfläche zwischen 1600 und 1900 m S. H. (Terrainaufnahme) in Verbindung stehen.

Durch dieses Evakuationsystem, das in sich geschlossen oder in ein unkontrollierbares Netzwerk („reséau“, F. Trombe, 1947) aufgelöst, den Berg durchörtert, vollzieht sich gemäß dem Grundsatz: „daß Temperaturunterschiede zwischen benachbarten Luftmassen die erste Ursache fast aller Luftbewegungen sind“ (Süring 1937), die bekannte und oft beschriebene dynamische Wetterbewegung nach der Faustregel:

a) t a l w ä r t s, wenn die Höhle kälter als die Außenluft ist, wobei die dieser gegenüber spezifisch s c h w e r e r e n Höhlenwetter, den Gravitationskräften folgend, durch die unteren Öffnungen abfließen und das Evakuationsystem durch alle höher gelegenen w a r m e Außenluft inhaliert;

b) b e r g w ä r t s, wenn die Höhle w ä r m e r ist als die Außenluft, wobei die dieser gegenüber spezifisch l e i c h t e r e n Höhlenwetter infolge der in ihnen entstehenden Auftriebstendenz (Kamineffekt) durch alle höher gelegenen Öffnungen ausströmen und das Evakuationsystem durch die am tiefsten gelegenen kalte Außenluft inhaliert;

c) b e r g w ä r t s, wenn der zugängliche Teil der Höhle zwar kälter als die Außenluft ist, die Außentemperaturen jedoch zwischen $0,0$ und $6,0^{\circ}\text{C}$ liegen („kritische“ Temperaturen), wobei die Evakuation durch die unteren Öffnungen relativ w a r m e Luft inhaliert, die unmittelbar den Höhleneiskörper trifft.

Da dieses Spiel der Wetterbewegung aus dem durch Temperaturunterschiede gestörten Gleichgewichtszustand in den, einem kommunizierenden System ähnlichen, im Basalaste der Höhle sich berührenden Außenluft- und Höhlenwettersäulen entsteht, wir von letzterer jedoch nur einen kleinen Teil kennen und beobachten können, darf angenommen werden, daß der Fall c) nur dann eintreten kann, wenn das Temperaturmittel der Wettersäule des ganzen Evakuationssschlauches höher als daß der korrespondierenden Außenluftsäule ($0,0$ bis $0,6^{\circ}\text{C}$) ist, damit in jenem Schenkel die zu einer bergwärtigen Wetterbewegung nötige Gewichtsabnahme (und Auftriebskraft) trotz der hohen Außentemperaturen entsteht.

Dazu müßten jedoch große Teile der Höhlenwettersäule im Bergleib mindestens bis auf $6,0^{\circ}\text{C}$ erwärmt werden, was nur dadurch erreicht werden kann, daß das Evakuationsssystem in seinem weiteren, unbekanntem Verlaufe Zonen der Erdwärme durchfährt, deren Temperatur bereits höher als das Jahresaußenmittel ist ($3,7$ bzw. $4,0^{\circ}\text{C}$), dessen thermischer Einfluß bei der wärmestetigen Schicht endet, ohne die geforderten hohen Wärmegrade liefern zu können.

Diese sich im Evakuationssschlauch fast ununterbrochen — mit Ausnahme kurzfristiger Wetterstockungen, als Übergangsstadien der Wetterinversionen — vollziehende heftige Luftbewegung macht die Wetter zu dem Medium, das primär den Wärme- und Kältetransport in die Evakuation besorgt. Dabei kommt es nicht nur auf die Temperatur, sondern auch auf die Richtung und die Masse des bewegten Luftkörpers an.

Trotzdem von der D. R. E. nur der Hauptwetterweg vom Eingang bis zum Parsivaldomversturz bekannt ist, zeigen die Beobachtungen und Untersuchungen auch in diesem Höhlenteil klar, daß die winterlichen kalten (und die „kritischen“ warmen) Luftmassen mit voller Wirkung und Intensität in die Evakuation einfallen, die sommerlichen warmen Wetter dagegen auf ihren unbekanntem Wegen durch den Bergleib bereits stark abgekühlt (etwa mit $0,5^{\circ}\text{C}$ im Mittel) den Parsivaldom durch den Versturz erreichen. Der eisführende Höhlenteil wird normalerweise dadurch unmittelbar in den Einflußbereich nur der winterlich kalten Außenluft einbezogen¹⁾.

Darin ist eine der Hauptursachen der Entstehung niederer Temperaturen längs des Hauptwetterweges jenseits des unteren Einganges der Höhle zu erblicken.

Je tiefer die Außentemperaturen liegen, und je länger dieser Zustand

¹⁾ Von der anomalen „kritischen“ Temperaturlage am Tage wird in diesem Zusammenhange abgesehen.

andauert, desto mehr Wärme wird der Evakuation entzogen; dabei trägt auch die *M a s s e* des durch die Evakuation bewegten Luftkörpers, bei sonst gleichen Voraussetzungen, wesentlich zu diesem Effekt bei. Sie hängt mit Rücksicht auf die invariablen kleinsten Windprofile der Evakuation von der *W e t t e r i n t e n s i t ä t* ab.

Somit kommt man zu dem Schlusse, daß auch letztere für die Gestaltung der thermischen Verhältnisse im Verlaufe des Hauptwetterweges der Höhle maßgeblich ist. Da sich die gesamte (sommerliche, winterliche und kritische) Wetterbewegung in der Höhle durch das röhrenförmig geschlossene Profil des Eingangsstollens vollzieht, war es möglich, sie hier quantitativ und qualitativ zu erfassen. Die mittlere Windgeschwindigkeit daselbst beträgt 4 m/sec.; bei ihr durchfluten in einem Jahreszyklus die Evakuation etwa 1.600,000.000 m³ Luft. Die mittlere Temperatur der winterlichen Wetter, die der Konvakuationschale dauernd Wärme entziehen, beträgt etwa $-4,0^{\circ}\text{C}$, die der sommerlichen, in den Parsivaldom durch den Versturz eindringenden Wetter, die an sie Wärme abgeben, etwa $0,5^{\circ}\text{C}$. Um den Temperaturhaushalt der Höhle im Bereich von $-1,0$ bis $0,0^{\circ}\text{C}$ zu stabilisieren, muß der winterliche Kalorienentzug aus der Konvakuationschale der sommerlichen Kalorienzufuhr an sie die Waage halten. Sieht man vorerst von dem Einfluß anderer Komponenten ab, so sollte unter den gegebenen Voraussetzungen einer winterlich kalten Bewetterung in der Dauer von etwa 50 Tagen, mit einer Mindestaußentemperatur von $-4,0^{\circ}\text{C}$, eine sommerlich warme Bewetterung (durch den Parsivaldomversturz) mit höchstens $0,5^{\circ}\text{C}$ in der Dauer von 315 Tagen gegenüberstehen. Dies dürfte in normalen Jahren auch annähernd der Fall sein.

In dem kalten Jahre 1928/29 dauerte die winterliche Bewetterung — bei der der Evakuation Wärme entzogen wurde — 65 Tage, wobei der Höhle etwa 280,000.000 kg/cal entzogen wurden, während ihr durch die sommerliche Bewetterungsperiode n u r 162,000.000 kg/cal zugeführt wurden. Es ergab sich daher für das Jahr 1929 ein Wärmedefizit im Evakuationsraum von etwa 118,000.000 kg/cal, wodurch die schon beschriebene und so auffällige Temperaturerniedrigung von 1928 auf 1929 um etwa $1,5^{\circ}\text{C}$ in ihm erklärt wird.

Es scheinen jedoch auch Verdunstung und Kondensation im Evakuationschlauch als infolge der Wetterbewegung kontinuierlich verlaufende Vorgänge weit wesentlicher zur Temperaturgestaltung in der Höhle beizutragen, als bisher angenommen wurde.

Unter Zugrundelegung besonderer, für beobachtete meteorologische Situationen typischer Elemente, soll dies beispielsweise gezeigt werden:

1. Sommerphase¹⁾: $T = 10,0^{\circ}$, $t = 0,0^{\circ}$ C; Außenluft Sättigungsdruck; talwärtige Wetterbewegung mit 4 m/sec im W. P. 13 m².

Im Evakuationssschlauch sinkt die absolute Luftfeuchtigkeit von 9,4 auf 4,8 g/m³; durch Stabilisierung des Taupunktes werden innerhalb 24 Stunden in der Höhle etwa 20 m³ Kondenswasser ausgeschieden und ihr dadurch etwa 12,000.000 kg/cal als freie Verdunstungswärme zugeführt.

2. Winterphase: $T = -10,0^{\circ}$ C; die bergwärtigen Wetter werden im Evakuationssschlauch auf $0,0^{\circ}$ C erwärmt; relative Feuchtigkeit der Außenluft 50 % = 1 g H₂O pro m³; Windgeschwindigkeit 10 m/sec im W. P. 13 m²; die infolge des in den Wettern entstehenden Sättigungsdefizites eintretende Verdunstung in der Evakuation beträgt 3,5 g pro m³ Luft. Es werden etwa 40 m³ Wasser (Eis) innerhalb 24 Stunden verdampft und dadurch der Höhle etwa 23,500.000 kg/cal entzogen.

3. Winterphase: $t = -5,0$, $T = 5,0^{\circ}$ C („kritisch“); außen Nebel und 100 % relative Feuchtigkeit; innerhalb 24 Stunden werden durch die Abkühlung der bergwärtigen Wetter (bei 4 m/sec im W. P. 13 m²) von $5,0$ auf $-5,0^{\circ}$ C etwa 15 m³ Kondenswasser in der Höhle ausgefällt und ihr dadurch über 9,000.0000 kg/cal zugeführt.

Diese Angaben stellen naturgemäß nur Näherungswerte vor, zeigen aber größenordnungsmäßig, daß der Verdunstung und Kondensation in dynamischen Wetterhöhlen eine bedeutende Rolle bei der Temperaturgestaltung zuzukommen scheint.

Da im Raume aufsteigende und absinkende Luftkörper einer adiabatischen Temperaturveränderung unterliegen, der bei einem Druckfall von 10 m/m (= 100 m) eine Temperaturabnahme von $1,0^{\circ}$ C (bzw. $0,5$ „Kondensationsadiabate“) in allen Schichten konstant (und umgekehrt) entspricht, ist es nicht ausgeschlossen, daß der im Evakuationssystem aufsteigende oder absinkende Wetterkörper auch dadurch einer Temperaturveränderung unterworfen wird, die bei bergwärtiger Wetterbewegung allerdings keinen direkten Einfluß auf die Temperatur im Basalaste der Höhle ausübt, da sie sich nur in den unbekanntem aufsteigenden Teilen des Systems durch Abkühlung auswirken kann. Anders bei talwärtiger Wetterbewegung, bei der, der Überdeckung der Höhle (200 bis 400 m) entsprechend, eine Erwärmung der absinkenden Wettermasse um $2,0$ bis $4,0^{\circ}$ C eintreten müßte. Wenn nun die talwärtigen Wetter doch mit nur $0,5^{\circ}$ C durch den Versturzt in die Höhle einströmen, könnte das auch ein Hinweis dafür sein, daß sie jenseits des Versturzes noch basale Zonen starker Abkühlung, allenfalls sogar vereiste Höhlenteile, durchfahren.

Zwischen den Richtungsänderungen der Wetterbewegung liegen Wetter-

¹⁾ T = Außen-, t = Innentemperatur.

stockungen, als Folge eines thermischen (mechanischen) Gleichgewichtszustandes zwischen der Innen- und Außenluftsäule. Besonderheiten der Wetterführung ergeben sich außerdem bei einer Temperaturumschichtung in der Atmosphäre, in Höhenlagen der oberen Eingänge des Systems, mit starker Erwärmung oder mit sehr starker Abkühlung daselbst, gegenüber der Temperatur bei den unteren Eingängen. Bei starker Erwärmung im Bereich der oberen Öffnungen im Winter kann die bestehende Auftriebss Tendenz in der Höhlenwettersäule vollständig erlahmen, ohne daß letztere bei den unteren Öffnungen schon abzufließen beginnt. Bei starker Abkühlung im Bereich der oberen Eingänge im Sommer kann in der Höhlenwettersäule eine Auftriebss Tendenz entstehen, die der in ihr bestehenden Abflusstendenz bei den unteren Öffnungen direkt entgegenwirkt. Es können dann Perioden langer Wettercalmen eintreten, während denen die Höhlentemperatur unter dem Einfluß der gegen den Konvakuationsraum vordringenden Erdwärme zu steigen beginnt. Leider verbietet es der begrenzte Umfang dieser Arbeit, näher auf diese interessanten Fälle einzugehen.

Schließlich konnte beobachtet werden, daß der Einfluß der Außentemperatur im Evakuations Schlauch eine Phasenverzögerung insofern erfährt, als er mit zunehmender Tiefe immer verspäteter in der Richtung der jeweiligen Hauptwetterbewegung in Erscheinung tritt.

Dadurch wird in der Höhle die Winterphase bis weit in das Frühjahr, die Sommerphase bis weit in den Herbst hinein verschoben. Im ersten Fall wird dadurch der Vorstoß der sommerlichen Erwärmung in der Höhle bereits in großer Tiefe blockiert, im zweiten Fall durch die bereits einsetzende winterliche Bewetterung vom unteren Eingang her rasch abgebaut.

Diese Phasenverschiebung des jährlichen Temperaturganges am Tage trägt, zusammen mit der Wetterbewegung und der Außentemperatur der Winterphase, auch wesentlich zur Entstehung und Erhaltung der extrem niederen Temperaturen im Basalaste der Höhle bei.

Schon H. Bock (1913) und F. Trombe (1947) haben auf den Einfluß hingewiesen, den in großen dynamischen Wetterhöhlen Druckdifferenzen auslösen, die in der Außenluft an den verschiedenen Eingängen einer Evakuations oder zwischen dem Innen- und Außenluftkörper entstehen.

Sie können zu berg- oder talwärtiger Wetterbewegung, aber auch dazu führen, daß ein Evakuations system gleichzeitig bei allen Öffnungen Luft ausstößt oder inhaliert.

Analoge Beobachtungen wurden auch an der Dachstein-Rieseneishöhle gemacht, doch fehlen bis heute noch genügend synchrone Druckmessungen

in der Außenluft und dem Höhlenwetterkörper, die weitere diesbezügliche Untersuchungen ermöglichen würden.

Der Versuch H. B o c k s (1913), die Gesetzmäßigkeiten für Richtung und Intensität der Wetterbewegung in dynamischen Wetterhöhlen mathematisch-physikalisch zu formulieren, führte nur teilweise zu befriedigenden Resultaten, wie schon H. R o s c h k o t t (1922) vermerkte. Einfacher und schlüssiger sind die Formulierungen K. W o l f s (1931), die jedoch insoferne den Gegebenheiten nicht ganz entsprechen, als er von der Annahme ausging, daß bereits der Parsivaldomversturz das Ende des Basalastes der Höhle bilde und schon von hier die Vertikaläste der Evakuationsstrahlen ausstrahlen.

In letzter Zeit (1947) hat F. T r o m b e aufschlußreiche Berechnungen der „pression motorice“ in Pyrenäenhöhlen ausgeführt, die deren Bedeutung für die Wetterbewegung deutlich erkennen lassen. Die Erfassung des ganzen Phänomens krankt heute hauptsächlich noch daran, daß nur Beobachtungen aus den befahrbaren basalen Teilen der sehr ausgedehnten Evakuationsstrahlen und fast keine aus den aufsteigenden Ästen bis zu den oberen Eingängen vorliegen; auch die Ermittlung z. B. des Reibungswiderstandes der bewegten Luftmassen in dem Evakuationsrohr stößt mit Rücksicht auf seine ununterbrochen wechselnde Gestalt, Rauigkeit und Profilweite auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten, so daß für die Berechnung dieses Phänomens noch wichtige Feststellungen fehlen. Erst ein sehr großes, auf ganze Systeme ausgedehntes Beobachtungsmaterial wird hierfür die brauchbaren Unterlagen liefern. Vorerst muß man sich nach A. und K. W e g e n e r (1953) „weitgehend mit Näherungen... zufrieden geben und darauf beschränken, die wesentlichen Bruchstücke des Vorganges zu entschlüsseln“.

Die Mächtigkeit des permanenten Höhleneises der D. R. E. wurde mit $\pm 13.500 \text{ m}^3$ errechnet, der einer Oberfläche von $\pm 5500 \text{ m}^2$ entspricht. Das Höhleneis ist kein Relikt der letzten Eiszeit, wie früher vielfach angenommen wurde; es dürfte wahrscheinlich mit den großen postglazialen Klimaschwankungen wiederholt gewachsen und vergangen sein, da schon geringe langzeitliche Änderungen der mittleren Außentemperatur den Eishaushalt der Höhle bei der schmalen, in ihr herrschenden Spanne zwischen eiserzeugenden und eisvernichtenden Temperaturen (etwa $2,0^\circ \text{C}$) rasch auf- und abzubauen vermögen. Eine dauernde Erhöhung der mittleren Jahresaußentemperatur um etwa $1,5\text{--}2,0^\circ \text{C}$ müßte den derzeitigen Eisvorrat der D. R. E. innerhalb weniger Jahre zum Verschwinden bringen. Die Entstehung des derzeit vorhandenen Eiskörpers dürfte vielmehr in die etwa um 1300 n. Ch. beginnende letzte große Klimaschwankung fallen, die zu ausgedehnten Gletschervorstößen und -Hochständen zwischen 1820 und 1850 führte. (F. A u r a d a (1950), H. T o l l -

ner (1954), E. Arnberger und E. Wiltum (1952). In der Mitte des 19. Jahrhunderts dürfte, im Zusammenhang mit der, den damals einsetzenden Gletscherrückzug auslösenden, Klimaänderung, dann jener Gleichgewichtszustand im Eis- und Temperaturhaushalt der Höhle eingetreten sein, der bei ihrer Entdeckung im Jahre 1910 angetroffen wurde und im großen und ganzen bis heute anhält. Dieser, hauptsächlich die Bodeneismassen und Eisgroßformen erhaltende Gleichgewichtszustand wird überlagert von dem jährlichen Re- und Degenerationsprozeß eines dauernd fluktuierenden, in Kleinformen aufgelösten Eiskörpers, dessen periodische Ablation und Korrosion zum Teil zur Konsumtion der sommerlichen Wärmewellen beiträgt.

Örtlich wird die Höhlentemperatur auch von Sickerwässern bestimmt, die zeitweilig mit $4,0^{\circ}\text{C}$ in die Evakuationsöffnung einströmen und dann, wie in den sehr niederschlagsreichen Sommern 1920 und 1921, eine verheerende Wirkung auf das Eis in ihrem Eintrittsbereich ausüben. So wurden am 26. August 1920 während einer mehrwöchigen Regenperiode und bei schweren Sickerwassereinbrüchen folgende Höchsttemperaturen gemessen:

St. I	II	III	IV	VI	8
7,3	1,8	5,1	3,2	2,7	3,7

Damit wären in großen Umrissen die wichtigsten meteorologischen Elemente skizziert, die zur Entstehung der extrem niederen Temperaturen in der D. R. E. im besonderen und in dynamischen Windröhren im allgemeinen führen. Es liegt auf der Hand, daß die Korrelation dieser Elemente zueinander, insbesondere aber auch die der sie bestimmenden meteorologischen Elemente der Außenatmosphäre, infolge ihrer Labilität zu fast unabsehbaren Varianten der jeweiligen Wirkungskomponente führt, die nur sehr schwer, wenn überhaupt, quantitativ und qualitativ zu erfassen sind.

Bei Beschränkung auf das Grundsätzliche ergeben sich als Schlußfolgerungen aus den bisherigen Beobachtungsergebnissen in der D. R. E. nachstehende (zum Teil schon bekannte) Gesetzmäßigkeiten für den Ablauf der meteorologischen Vorgänge in ihr bzw. in einer dynamischen Wetterhöhle mit permanenter Eisbildung:

1. Die unteren, der in verschiedenen Seehöhen gelegenen Öffnungen der Evakuationsöffnung müssen in einer Seehöhe und geographischen Breite liegen, in denen die mittlere Jahrestemperatur wenigstens während einiger Monate Werte unter $0,0^{\circ}\text{C}$ erreicht.

2. Je größer der Niveauunterschied zwischen tiefsten und höchsten Öffnungen und der sich daraus oder aus anderen Ursachen ergebende Temperaturgradient zwischen Außenluft und Höhlenwettersäule ist, desto günstiger sind die Voraussetzungen für die Entstehung extrem niedriger Temperaturen im basalen Teile der Evakuationsöffnung.

3. Der Hauptteil der Evakuation muß im Bereich der wärmestetigen Zone (mittlere Jahrestemperatur) liegen und darf nicht in Tiefen vorstoßen, in denen die Erdwärme bereits wesentlich über dem Jahresmittel der Außenluft liegt.

4. Der Wetterbewegung dürfen sich im Evakuationssystem nicht allzu große Hindernisse entgegenstellen, d. h., der Reibungs- (Verzögerungs-) Koэффициent darf ein gewisses Maß nicht überschreiten; ein bestimmtes Ausmaß der winterlichen Bewetterung (Wettermasse) ist die Voraussetzung für einen dauernd wirksamen Wärmeentzug aus der Konvakuationschale.

5. Ein kontinuierlicher Prozeß von Kondensation erhöht, von Verdunstung erniedrigt in seinem normalen Ablauf die Höhlentemperaturen in ausgiebigem Maße; erstere steigert die sommerliche Erwärmung, letztere die winterliche Abkühlung; daher sind feuchte Sommer, in denen schon hoch mit Wasserdampf gesättigte Außenluft von der Evakuation inhaled wird, der Erhaltung niedriger Temperaturen in der Sommerphase sehr abträglich.

6. Der Basalast ist außerordentlich empfänglich für kalte Winter- und so gut wie unempfindlich gegen w a r m e Sommertemperaturen; kurzfristige sommerliche Temperaturspitzen der Außenluft gehen spurlos an seiner Temperatur vorüber; daher üben auch heiße Sommer keinen dauernd nachteiligen Einfluß auf die niedrigen Temperaturen der Höhle aus, wenn sie mit strengen Wintern abwechseln, die ihrerseits die Evakuation langfristig unter ihr thermisches Regime stellen.

7. Demgegenüber muß angenommen werden, daß die obersten, erdoberflächenahen Teile des Evakuationssystems, als Eintrittspforten der sommerlich-warmen Wetter, dadurch eine entsprechende Temperatursteigerung erfahren, die jedoch um so geringer sein wird, in je größerer Seehöhe sie liegen.

Zwischen diesen beiden Polen — kalter Basalast, warmer Vertikalast — liegt vermutlich eine Zone thermischer Ausgeglichenheit und Ruhe, deren Temperatur p r i m ä r von der Erdwärme des Muttergesteins bestimmt nun nur in ganz geringem Maße noch von dem durch den jahreszeitlichen Temperaturrhythmus verursachten Wetterstrom beeinflusst wird. Der jährliche Temperaturgang der Außenluft schrumpft bereits beim derzeitigen Ende der D. R. E. zu einer Minimalamplitude von etwa $1,0^{\circ}$ C (im Mittel) zusammen.

8. Langfristigen Klimaänderungen am Tage folgt die gesamte Höhlentemperatur, wenn auch verspätet, gleichsinnig nach.

9. Je länger „kritische“ Temperaturen im Bereiche der unteren Öffnungen einer dynamischen Wetterhöhle andauern, desto ungünstiger wird die niedere Temperatur des Basalastes beeinflusst, die sich rasch der der Außenluft nähert und abgebaut wird. Daher sind für alle dynamischen

Wetter- (Eis-)höhlen kalte Winter und warme Sommer (kontinentales Klima) vorteilhafter als milde Winter und kühle Sommer (ozeanisches Klima) mit vorherrschend kritischen Temperaturen. Warme Winter und sehr kühle Sommer können den Charakter einer dynamischen Eishöhle in kurzer Zeit verändern.

10. Durch künstliche Steuerung der Wetterbewegung ist es möglich, die Höhlentemperaturen in beschränktem Maße konservativ zu beeinflussen. Darüber hinaus bleibt es dem menschlichen Einfluß versagt, den natürlichen Ablauf der meteorologischen Entwicklung in einer dynamischen Eishöhle für sie günstig zu beeinflussen; es bleibt ihm lediglich vorbehalten, artifizielle, ungünstige Einflüsse auszuschalten oder auf ein Minimum zu reduzieren.

In diesem Zusammenhange sei noch festgehalten, daß weder die Einführung der elektrischen Beleuchtung noch der über 80.000 Personen jährlich angewachsene Besuch der D. R. E., rein kalorisch gesehen, ihren sich natürlich entwickelnden Temperaturhaushalt zu beeinflussen vermögen, da die durch diese Faktoren verursachte Wärmezufuhr im natürlichen Kalorienumsatz der Höhle völlig untergeht. Ein ungünstiger Einfluß hatte sich nur dort geltend gemacht, wo Eisformen unter dem direkten Strahlungseinfluß von elektrischen Leuchtkörpern standen. Um auch diese lokalen Wärmequellen auszuschalten, hat die Dachsteinhöhlenverwaltung die alten Leuchtkörper durch Kaltlichtleuchten ersetzt.

Schließlich haben die bisherigen Untersuchungen in der Dachstein-Rieseneishöhle ergeben, daß der Bewetterung des eisführenden Höhlenteiles ein besonderes Augenmerk zuzuwenden sein wird; für eine Maximalbewetterung bei allen Temperaturen unter $0,0^{\circ}\text{C}$ muß ebenso vorgesorgt werden, wie für die weitgehendste Unterbindung des Wetterstromes bei allen „kritischen“ Temperaturen, gleichgültig in welcher Jahreszeit sie auftreten. Dagegen scheint es vorteilhaft zu sein, in der ausgesprochenen Sommerphase auch bei hohen Außentemperaturen, wenigstens zeitweise, die Wetterwege freizugeben und durch die Wetterbewegung eine Durchlüftung des Systems zur Abfuhr der während des Tagbetriebes angesammelten Wärme herbeizuführen und die Möglichkeit einer, wenn auch geringen, Verdunstung als zusätzliche Kältequelle zu schaffen; so werden auch allzu lange, auf die betriebsbedingte Schließung der Wettertüren zurückzuführende, Wetterstockungen vermieden, die fraglos zu einer endochtonen Erwärmung des Evakuationsystems durch die vordringende Erdwärme führen.

Eine ständige, sorgsame Betreuung dieses, in seiner natürlichen Funktion und Gestaltung durch Klimaschwankungen und Erschließung gefährdeten, Naturdenkmales ist daher zu seiner Erhaltung in der Zukunft unerlässlich.

Anhang.

Schrifttumsnachweis:

- 1) Abel G., „Über Höhlentemperaturen“, Protokoll der 5. ord. Vollversammlung der Höhlenkommission beim Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Wien 1951.
- 2) Arnberger E. und Wilthum E., „Die Gletscher des Dachsteinstockes in Vergangenheit und Gegenwart.“ Jhrb. des o.-ö. Musealvereines, Bd 97, Linz 1952.
- 3) Aurada F., „Klimaschwankungen der Gegenwart“, Mitt. d. Geogr. Gesellschaft Wien, Bd 92, Heft 1—3, Wien 1950.
- 4) Beer E. und Hassinger H., „Das Geldloch im Ötscher“, Ztsch. d. d. u. ö. A. V., Bd 33, 1902.
- 5) Bock H., „Die Wetterlöcher auf dem Schöpfl“, Mitt. für Höhlenkunde, 3. Jahrg. 1910.
- 6) Derselbe, „Mathematisch-physikalische Untersuchung der Eishöhlen und Windröhren“, in „Die Höhlen im Dachstein“, Bock H., Lahner G., Gaunerstorfer G. Graz 1913.
- 7) Brückner E., „Klimaschwankungen seit 1700“, Wien 1890.
- 7a) Girardot A. und Trouillet L. La glacière des Chaux—es—Passavant, Besançon 1885, Le dernières observations du capitaine L. Trouillet à la glacière des Chaux-les-Passavant, Memoires de la soc. d'Emulation du Doubs 1886.
- 8) Cramer H., „Eishöhlen und Windröhrenstudien“, Abhandlungen der k. k. Geographischen Gesellschaft Wien, 1899.
- 9) Derselbe und Sieger F., „Untersuchungen in den Ötscherhöhlen“, Globus LXXV, 1899.
- 10) Fugger E., „Eishöhlen und Windröhren“, XXIV., XXV. und XXVI. Jahresbericht der k. k. Oberrealschule in Salzburg 1891, 1892, 1893.
- 11) Derselbe, „Beobachtungen in den Eishöhlen des Untersberges bei Salzburg“, Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde, Bd XXVIII, 1888.
- 12) Derselbe, „Eishöhlen und Windröhren“, XXIV. Jahresbericht der k. k. Oberrealschule in Salzburg, 1891.
- 13) Gressl G., „Messungen im Taubenloch (Ötscher) — ein Beitrag zur Wetterführung in alpinen Höhlen“, in „Die Höhle“, Jhr. 4, H. 4, 1953, Wien.
- 14) Grund A., „Beiträge zur Morphologie des dinarischen Gebirges“, Geographische Abhandlungen, Bd IX, H. 3.
- 15) Gutmann J., „Beobachtungen und Meßmethoden des Wetterdienstes“, Pub. Nr. 158 der Z. A. f. Met. u. Geodyn. Wien, 1948.
- 16) Habe F., „Topliniski odnosaji na iz virih Ljubljance“, Posebni odtis iz, „Geografskega vestnika“, Letnik XII.—XIII., 1936—1937, Ljubljana 1937.
- 17) Hader F., „Wolken, Wind und Wetter“, Wien 1947.
- 18) Handl L., „Bemerkungen über die Eisführung in der Dachsteinrieseneishöhle“, Die Höhle, 2. Jhg., Heft 1, Wien 1951.
- 19) Hann J., „Jellinecksche Tafeln der Luftfeuchtigkeit“, Wien 1884.
- 20) Hann-Süring, „Lehrbuch der Meteorologie“, 1926, Tauschnitz, Leipzig.
- 21) Hann J., „Lehrbuch der Meteorologie“.
- 22) Hassinger H., „Alte und neue Beobachtungen aus dem Geldloch im Ötscher“, Mitt. d. Geogr. Gesellschaft Wien, Bd 93, Heft 1—3, 1950.
- 23) Hauser E. und Ödl R., „Eishöhlen, ein Beitrag zu ihrer physikalischen-meteorologischen Erklärung“, Die Naturwissenschaften, IX., Heft 36, 1921.
- 24) Dieselben, „Die große Eishöhle im Tennengebirge (Eisriesenwelt) in Salzburg. V. Eisbildungen und meteorologische Beobachtungen“, Berichte der österr. Bundes-Höhlenkommission 1923.

- 25) Dieselben, „Über Höhlenmeteorologie mit besonderer Berücksichtigung der großen Eishöhle im Tennengebirge (Eisriesenwelt)“, Meteorologische Zeitschrift, Heft 2, 1923.
- 26) Dieselben, „Bericht über die Eisverhältnisse in der Eishöhle im Tennengebirge“, Akademischer Anzeiger Nr. 11, Akademie der Wissenschaften in Wien, Sitzung der math.-naturw. Klasse vom 6. Mai 1921.
- 27) Dieselben, „Eishöhlen, Erklärung dieser eigenartigen Naturerscheinung nach den neuesten Forschungsergebnissen“, Kosmos, Heft 6, 1922.
- 28) Heller F., „Über Eisbildungen in Fränkischen Höhlen“, Aus der Heimat, Stuttgart 1930, Jg. 43.
- 29) Kletter L., „Bilanz des Sommerwetters“, Universum, Natur und Technik, 9. Jhg., Heft 18, Wien 1954.
- 30) Kraus F., „Die Veränderungen in der Eishöhle im Peilstein“, Globus LIX/344.
- 31) Derselbe, „Höhlenkunde“, Wien 1894.
- 32) Krenner J., „Die Eishöhle von Dobsina (Dobschau)“, Mitteilungen der könig. naturwissenschaftlichen Gesellschaft, Budapest 1874.
- 33) Krasser, „Beobachtungen über die sommerliche Eisbildung in böhmischen Basalten“, Wiener Zeitung 1857, Nr. 63, Abendblatt.
- 34) Kyrle G., „Grundriß der theoretischen Speläologie“, Wien 1922.
- 35) Derselbe, „Kombinierte Chlorierung von Höhlengewässern“, Speläolog. Monogr. Bd 12. Verlag: Speläol. Institut, Wien 1928.
- 36) Derselbe, „Beiträge zur Kenntnis der Eiskeulen in Höhlen“, Mitteilungen der geographischen Gesellschaft Wien, 1929.
- 37) Derselbe, „Ein Rauch- und Schmelzversuch in der Dachsteinrieseneishöhle“, Speläol. Jhrb. X/XII. Jhg. Wien 1929/31.
- 38) Lahner G., „Die Höhlen im Dachstein“, Linz 1948.
- 39) Derselbe, „Die Dachsteinrieseneishöhle“, in „Höhlen im Dachstein“ von H. Bock, G. Lahner und G. Gaunerstorfer. Graz 1913.
- 40) Lauscher F., „Neue klimatische Normalwerte für Österreich“, Beihefte zu den Jahrbüchern der Z. A. f. Meteorol. und Geodynamik, 5. Heft der Beihefte vom Jhg. 1932, Wien 1938.
- 41) Lohmann H., „Das Höhleneis unter besonderer Berücksichtigung einiger Eishöhlen im Erzgebirge“, Inaugurationsdissertation, Dresden 1895.
- 42) Martel M. A., „Sur l'exploration souterraine hydrologique des Pyrénées“, en 1908, Paris 1910.
- 43) Moser K. L., „Die Eishöhlen des Tarnovaner- und Birnbaumer Waldgebirges“, Ztsch. d. d. u. ö. A. V., Bd 20, 1889.
- 44) Nordlind A., „Das Klima der historischen Zeit“, Lunds Universitets Arsskrift, N. F. AFD. 1, Bd 10, Nr. 1.
- 45) Penk A., „Die Temperaturverhältnisse der Grotten von St. Canzian bei Triest“, Meteorologische Zeitschrift, 1889.
- 46) Pirker R., „Die Wetterführung des Eiskellers in der Frauenmauerhöhle bei Eisen- erz“, Speläol. Jhb. X./XII. Jhg. Wien 1929/31.
- 47) Derselbe, „Die Phasen der dynamischen Wetterführung“, in „Die Höhle“, Zeitschr. für Karst- und Höhlenkunde, 3. Jhg., Heft 2, Wien 1952.
- 48) Roschkott A., „Über Temperaturverhältnisse in Höhlen“, Meteorol. Zeitschrift, Bd 38, Heft 2, Wien, 1921.
- 49) Saar R., „Die Dachsteinrieseneishöhle bei Obertraun im Salzkammergut“, Österr. Höhlenführer, 1. Bd., Wien 1923.
- 50) Derselbe, „Vorschläge für den Ausbau und die Erschließung von Eishöhlen“, Bericht der Höhlenkommission beim Bundesministerium für Land- und Forstw., Wien 1921.

- 51) Derselbe, „Die Riesenhöhlen bei Obertraun im Dachstein“, Jhb. d. d. u. ö. A. V. 1914 (XLV. Bd.).
- 52) Derselbe, „Beiträge zur Meteorologie der dynamischen Wetterhöhlen“, Mitt. der Höhlenkommission beim B. M. f. L. u. Fw., Jhg. 1952, Heft 1, Wien 1954.
- 53) Derselbe, „Meteorologisch-physikalische Beobachtungen in der Dachsteinrieseneishöhle, I. Bericht“, in „Die Höhle“, 5. Jhg., Heft 3/4, Wien 1954.
- 54) Schmidl A., „Die Höhlen des Ötzers“, Sitzungsberichte der math.-naturw. Klasse der k. k. Akademie der Wissenschaften in Wien, 1857.
- 55) Schwabe B., „Übersichtliche Zusammenstellung literarischer Notizen über Eishöhlen und Eislöcher nebst einigen Zusätzen“, Mitteilungen der Sektion für Höhlenkunde des österr. Touristenklubs Wien, 1887, Nr. 2 und 3.
- 56) Derselbe, „Beitrag zur Frage über die Entstehung von Eishöhlen“, Mitteilungen der Sektion für Höhlenkunde des österr. Touristenklubs, Wien.
- 57) Derselbe, „Die Entstehung der Eishöhlen“, Verhandlungen der geographischen Gesellschaft in Berlin, 1881, Nr. 5.
- 58) Derselbe, „Über Eishöhlen und Windlöcher nebst einigen Bemerkungen über Ventarolen und niedrige Bodentemperaturen“, Festschrift zum 50jähr. Jubiläum des städt. Dorotheen-Realgymnasiums, Berlin 1886.
- 59) Seifert H., „Studien über Höhleneis“, Mitteilungen über Karst- und Höhlenforschung, Zeitschrift des Hauptverbandes deutscher Höhlenforscher, Jhg. 1927, Heft 1, Berlin 1928.
- 60) Steiner L., „Die Temperaturverhältnisse in der Eishöhle von Dobsina“, Meteor. Zeitschrift, Bd 39, Heft 7, 1922.
- 61) Steinhäuser F., „Atomenergie und Wetter“, Universum, Natur und Technik, 9. Jhg., Heft 16, Wien 1954.
- 62) Stini J., „Tunnelbaugeologie (Die geologischen Grundlagen des Stollen- und Tunnelbaues)“, Wien 1950.
- 63) Süring, „Leitfaden der Meteorologie“, Leipzig 1927.
- 64) Swift B., „Glacières of freesing caverns“, Philadelphia 1900.
- 65) Terlanday E., „Sommereisbildungen in der Eishöhle von Szilicze“, Pettermanns Mitt. 1886.
- 66) Thury, „Etudes zur le glacières naturelles“, Bibliotheque universelle de Genève, vol. X, 1861.
- 67) Trombe F., „Traité de Spéléologie“, Paris 1952.
- 68) Derselbe, „Recherches souterraines dans les Pyrénées Centrales, Chapitre II: Météorologie et Hydrologie souterraines, Application aux Massifs d'Arbas et de Palumère (Haute-Garonne)“, Annales de Spéléologie, Tome II—1947, Paris.
- 69) Tollner H., „Die meteorologisch-klimatischen Ursachen der Gletscherschwankungen in den Ostalpen während der letzten zwei Jahrhunderte“, Mitt. der Geographischen Gesellschaft Wien, Bd 96, Heft 1—4, Wien 1954.
- 70) Wagner A., „Klimaveränderungen und Klimaschwankungen“, Die Wissenschaft, Bd 92, 1940.
- 71) Wegener A. und K., „Vorlesungen über die Physik der Atmosphäre“, Leipzig 1938.
- 72) Wolf H., „Über die Luftbewegung in Höhlen“, Speläol. Jhrb., X./XII. Jhg., Wien 1929/31.