

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Höhlenkunde

Knebel, Walther von

Braunschweig, 1906

Zwanzigstes Kapitel. Meteorologische Verhältnisse in Höhlen

und zur Vorgeschichte des Menschen. Die Beziehungen der Speläologie zu diesen Zweigwissenschaften der Naturkunde sollen im folgenden in kurzem Zusammenhange erörtert werden.

Zwanzigstes Kapitel.

Meteorologische Verhältnisse in Höhlen.

Temperatur. — Tief gelegene Höhlen. — Eishöhlen. — Bedingungen zur Existenz perennierender Eishöhlen. — Eisbildung im Winter, Mangel an Ventilation, sackförmige Gestalt und schwache Wasserzufuhr in Eishöhlen. — Schwalbes Unterkühlungstheorie der Sickerwasser. — Ältere Erklärungsversuche des Höhleneises. — Bekannte Eishöhlen. — Künstliche Eishöhlen. — Ventilation in Höhlen. — Höhlenluft. — Elektrisches Verhalten der Höhlenluft.

Temperatur. Die meteorologischen Verhältnisse der in den Höhlen enthaltenen Luft bieten in mancher Hinsicht größeres Interesse. Namentlich gilt dies in bezug auf die Temperaturverhältnisse in den Höhlen. Im allgemeinen zwar verhält sich die Höhlentemperatur ähnlich der tiefer Keller; im Winter erscheinen sie uns warm und im Sommer kalt, obgleich ihre Temperatur in Wirklichkeit sich — im allgemeinen wenigstens — so gut wie gar nicht ändert.

Die Höhlen befinden sich nämlich zumeist in jener Tiefe, bis zu welcher weder die Hitze des Sommers, noch die Kälte des Winters hinabzudringen vermag. Die Temperatur der im Innern des Gebirges in Höhlen eingeschlossenen Luft macht also die Temperaturschwankungen der freien Luft im allgemeinen nicht — oder zum mindesten nicht in gleichem Maße — mit: die Höhlen besitzen daher zumeist eine konstante Temperatur¹⁾.

¹⁾ G. And. Perko hat beispielsweise in einer großen bei Triest gelegenen Grotte, dem sogenannten Dom der Triester Touristen, eine Reihe von Temperaturmessungen gemacht, welche zwar ergeben haben, daß die Temperatur in verschiedenen Teilen der Höhle eine ver-

Anders aber würde es sich dann verhalten, wenn in den Höhlen eine reichliche Ventilation stattfinden kann. In einem solchen Falle wird die Temperatur der Höhlenluft naturgemäß durch die Außenluft stark genug beeinflusst, so daß auch in der Höhlenluft Temperaturschwankungen vorkommen können. Gleichwohl aber werden diese weit geringer sein, als jene der Außenluft. Die meisten Höhlen haben jedoch nur eine geringe Ventilation und besitzen daher, wie schon gesagt, eine annähernd konstante Temperatur; und zwar weicht diese nur wenig von der mittleren Jahrestemperatur des Ortes, an welchem die Höhle gelegen ist, ab. Abgesehen von den wenigen, durch gute Ventilation ausgezeichneten Höhlen, ist nur noch in zwei besonderen Fällen eine größere Differenz zwischen der Höhlenluft und der mittleren Jahrestemperatur; dies ist der Fall: 1. bei den sehr tief gelegenen Höhlen; 2. bei den Eishöhlen.

Die zuerst genannten tief gelegenen Höhlen besitzen eine höhere Temperatur, als die mittlere des Jahres. Dies erklärt sich dadurch, daß die Temperatur nach dem Erdinnern zu stetig zunimmt. Die geothermische Tiefenstufe — d. i. diejenige Strecke, um welche man ins Erdinnere eindringen muß, damit die Temperatur um 1° C ansteigt — beträgt durchschnittlich etwa 30 m. In den Höhlen also, welche in größerer Tiefe unter der Erdoberfläche sich befinden, und welche in ungenügender Verbindung mit der Außenluft stehen, ist die Lufttemperatur um mehrere Grade höher, als die mittlere Jahrestemperatur. Es ist indessen wohl zu berücksichtigen, daß die Temperatur der Luft in den Höhlen nicht in gleichem Maße ansteigen kann, als die des Gesteines; denn infolge des niemals gänzlich fehlenden Luftaustausches kann in den Höhlen die geothermische Tiefenstufe nicht ganz zum Ausdruck kommen. Die Luft der Höhlen steht doch wohl stets auch dann, wenn die Ventilation eine minimale ist, in Verbindung mit der Außenluft; es wird somit die warme Luft aus der Tiefe ihres geringeren spezifischen Gewichtes wegen emporsteigen, während umgekehrt die kalte Luft hinabfällt. Auf diese Weise wird sich

schiedene ist, an dem gleichen Orte aber nur wenig wechselt, obwohl die Beobachtungen sowohl im Winter bei -2° C als auch im Sommer bei $+29^{\circ}$ C angestellt wurden. Die Temperatur schwankte nur zwischen 11° und 12° (vgl. G. And. Perko: Die Riesengrotte bei Triest-Opcina. Globus 1906).

oft ein vollständiger Ausgleich zwischen warmer Tiefenluft und kühlerer Außenluft herstellen können; gleichwohl wird im allgemeinen die Temperatur der Luft in tiefen Höhlen etwas höher als die mittlere Jahrestemperatur des Ortes.

Wesentlich verändert wird die Höhlentemperatur naturgemäß auch durch die Anwesenheit von Wasser, insonderheit dann, wenn dieses Wasser einem unterirdischen Flußlauf angehört, dessen Temperaturverhältnisse ja stets, je nach der Jahreszeit, beträchtlichen Schwankungen unterworfen sein müssen. So kann ein Höhlenfluß abwechselnd die Temperatur der Höhlenluft erhöhen oder aber auch erniedrigen.

Es ist zu bedauern, daß bisher nur so wenig genaue Temperaturbeobachtungen vorliegen. Außerdem verlieren viele der Beobachtungen noch an Wert, da in ihnen die Temperatur der Außenluft nicht mit berücksichtigt ist, so daß ein Vergleich beider Luftarten nicht angestellt werden kann. Während nun die Höhlentemperatur der mittleren des Jahres entspricht, oder aber, wie wir gesehen haben, in den tief gelegenen Höhlen eine höhere sein kann, so kommen andererseits auch Fälle vor, wo die Höhlentemperatur umgekehrt eine geringere ist, als die mittlere an der Oberfläche. Besonders auffällig ist dies bei den Eishöhlen der Fall.

Die Eishöhlen gehören zu den eigenartigsten Phänomenen, welche wir kennen. Denn gewiß ist es eine seltsame Erscheinung, wenn sich zur Zeit der sogenannten Hundstage, wo an der Oberfläche eine erdrückend heiße Temperatur herrscht, in manchen der Höhlen im Innern des Gebirges große Mengen von Eis vorfinden. Indessen ist die Entstehung sehr einfach.

Die Eishöhlen bilden sich aus den gewöhnlichen Höhlen stets da, wo durch örtliche Verhältnisse zweierlei bewirkt wird, nämlich: 1. daß zur Winterszeit sich Eis in den Höhlen bilden kann; 2. daß die Sommerwärme nicht imstande ist, das im Winter in den Höhlen gebildete Eis zur Schmelze zu bringen. Wir wissen, daß bei der in Höhlengebieten herrschenden Vertikalentwässerung große Mengen Wassers auf den Gesteinsspalten in die Tiefe sickern. Wenn nun unter gewissen Umständen die Höhlentemperatur im Winter unter den Gefrierpunkt hinabsinkt, so wird das in die Höhle dringende Wasser verfestigt. Das so gebildete Eis kleidet

die Wandungen der Höhle mit jenen prächtigen Eisgebilden aus, wie sie in unseren Abbildungen dargestellt sind. Namentlich

Fig. 38.



Der „Wasserfall“ in der Dobschauer Eishöhle (nach J. A. Krenner).

interessant ist der sogenannte „Wasserfall“ der Dobschauer Eishöhle (vgl. Fig. 38), welcher an die „versteinerten Wasserfälle“

der Höhlen erinnert, nur daß er nicht aus Kalksinter, sondern aus Eis besteht.

Eine zum Gefrieren des Sickerwassers hinlänglich starke Abkühlung findet im Winter erstens in den Höhlen statt, welche durch gute Ventilation mit der Außenluft verbunden sind. Aber diese Höhlen können naturgemäß deswegen nicht zu echten Eishöhlen werden, weil durch die Ventilation ja auch die Sommerluft in die Höhle gelangt, welche das Eis wieder zum Schmelzen bringt.

Zweitens findet eine starke winterliche Abkühlung in denjenigen Höhlen statt, welche, durch einen weiten Luftschacht mit der Außenwelt verbunden, sich sackartig in die Tiefe erstrecken. In den so gebauten Höhlen würde im Winter die spezifisch leichtere Höhlenluft emporsteigen, während gleichzeitig die kalte, und somit spezifisch schwerere Außenluft in die Tiefe fällt und dort die in der Höhle befindlichen Sickerwasser zum Gefrieren bringt.

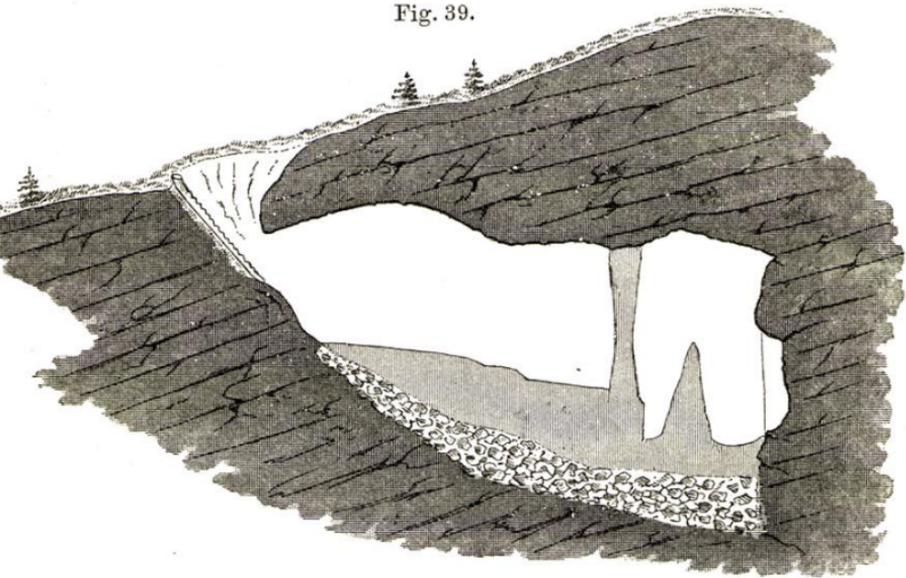
In den meisten Fällen wird das im Winter gebildete Eis von der Sommerwärme wieder völlig aufgetaut, so daß die Höhle im Herbst wieder ihr gewöhnliches Antlitz besitzt. Mitunter reicht aber die Wärme eines Sommers nicht aus, um das gesamte im Winter gebildete Eis zu schmelzen; es bleibt dann ein Überrest an Eis. In dem darauf folgenden Winter bildet sich eine weitere Menge Eis, welche, mit dem Eisrückstand des Vorjahres vereinigt, im folgenden Sommer noch viel weniger geschmolzen werden kann. So bleibt Jahr um Jahr ein stetig anwachsender Überschuß an Eis zurück. Vorausgesetzt, daß immer genügend Wasser in die Höhle dringen kann, würde sich die gesamte Höhle allmählich mit Eis erfüllen. Dies kann indessen kaum stattfinden, da das Eis wohl auch die Spalten verstopfen würde, auf denen das Wasser in die Tiefe rieseln kann.

Die näheren Entstehungsbedingungen von jenen perennierenden Eishöhlen werden wir im folgenden betrachten müssen.

Die Hauptbedingung zur Bildung von Eishöhlen ist naturgemäß die, daß die Höhle in einem Gebiet gelegen ist, in welchem im Winter Temperaturen unter 0 Grad vorkommen. Demgemäß werden in den äquatorialen Zonen unseres Erdballes Eishöhlen nicht vorkommen können, oder aber nur auf die kältesten Teile der Hochgebirge beschränkt sein.

Die zweite Bedingung zur Bildung einer Eishöhle ist, daß die Höhle sich in die Tiefe erstreckt. Denn nur in diesem Fall vermag in den kalten Zeiten des Jahres oder des Tages die abgekühlte — mithin schwerer gewordene — Luft auf den Boden der Höhle hinabzusinken, während die ursprünglich wohl wärmere, somit auch spezifisch leichtere Höhlenluft emporgetrieben wird. Auf diese Weise sammelt sich stets am Boden einer solchen, zumeist mehr oder weniger sackförmig gestalteten Höhle (vgl. Fig. 39) die kalte Luft an. Sinkt nun die Außentemperatur unter 0^0 herab, so wird auch die Höhlenluft

Fig. 39.



Schematisches Profil durch die sackförmig gestaltete Eishöhle am Beilstein in Steiermark (nach Fr. Kraus).

derart abgekühlt, daß die in eine jede Höhle gelangenden Sickerwasser zu Eis erstarren. Das Höhleneis scheidet sich dann an den Höhlenwandungen in gleicher Weise ab wie die Sintergebilde der Tropfsteinhöhlen.

Abgesehen von der für die Bildung von Eishöhlen erforderlichen Vertikalausdehnung des Höhlensystems, ist noch eine weitere dritte Bedingung zur Bildung des Eises notwendig: in der Höhle darf keine starke Ventilation vorhanden sein. Denn sobald diese in höherem Maße stattfindet, dann

müßte ein Temperatúrausgleich zwischen der kalten Höhlenluft und der warmen Außenluft eintreten, welcher notwendigerweise das Höhleneis zum Schmelzen bringen würde; daher entbehren die meisten Eishöhlen der Ventilation.

Ebenso wie der Zutritt von Luft die Erhaltung des Höhleneises namentlich im Sommer verhindert, so wirkt auch starker Wasserandrang zerstörend auf das Eis. Denn das von der Oberfläche in die Tiefe dringende Wasser besitzt ungefähr die gleiche Temperatur wie die Außenluft; das Wasser würde somit das Eis zum Schmelzen bringen. Die Ansammlung von Eis ist somit nur in den Höhlen möglich, welchen wenig Wasser zugeführt wird — nicht mehr Wasser, als in Eis verwandelt werden kann. Nach dem Gesagten ist also die Eisbildung in Höhlen an die folgenden vier Hauptbedingungen geknüpft:

1. Lage der Höhle in einem Gebiet mit Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes.
2. Sackförmige Gestalt der Höhle mit beträchtlicher Vertikalerstreckung, so daß kalte schwere Luft in die Tiefe dringen kann.
3. Fehlen der Ventilation.
4. Schwache Zufuhr von Wasser, welche nur dazu ausreichen darf, die Bildung neuen Eises zu veranlassen.

Neben diesen vier, zur Bildung des Eises in den Eishöhlen durchaus erforderlichen Hauptbedingungen, sind auch zuweilen noch andere Umstände vorhanden, welche auf die Eisbildung von Einfluß sind, so z. B. die Lage einer Höhle im Gelände. An den Nordgehängen eines Berglandes, wo die Sonne in geringerem Maße den Boden erwärmt, wird nämlich die Höhlenluft am ehesten ihre niedere Temperatur bewahren können. Daher kommt es, daß die meisten Eishöhlen an der Nord- oder Nordostseite eines Berges gelegen sind.

Die Beschränkung der Eisbildung auf jene wenigen Höhlen, welche alle die genannten Vorbedingungen erfüllen, läßt erkennen, warum die Eishöhlen verhältnismäßig nur selten vorkommen, während eisfreie Höhlen so ungemein zahlreich im Innern der höhlenführenden Gebirgsarten vorhanden sind.

Eine von der gegebenen Erklärung des Phänomens der Eisbildung in Höhlen abweichende wurde von B. Schwalbe aufgestellt. In seiner Theorie wird die Eisbildung darauf zurückgeführt, daß das Wasser auf seinem Wege durch die zahlreichen Haarspalten der Felsgesteine eine derart starke Abkühlung erfährt, daß es „unterkühlt“ wird, und, in diesem Zustande in die Höhlen des Gebirges eindringend, zu Eis erstarrt.

Es war schon lange bekannt, daß das Wasser beträchtliche Temperaturänderungen erfährt, sobald es durch poröse Körper hindurchsickert; die von Schwalbe jun. neuerdings ausgeführten Experimente haben nun dargetan, daß bei Temperaturen unter 4°C eine Abkühlung eintritt, während umgekehrt bei Temperaturen über 4° Erwärmung stattfindet.

Man könnte demnach die Eisbildung in Höhlen nur in denjenigen Gebieten auf die Unterkühlung des Sickerwassers zurückführen, in welchen eine nur sehr geringe Bodentemperatur herrscht. In der Tat finden sich ja auch die meisten Eishöhlen in Gebieten, deren mittlere Jahrestemperatur eine nur geringe ist; indessen kommen sie auch anderwärts vor, und diese Eishöhlen beweisen dann, daß ihre Bildung auf andere Ursachen zurückzuführen ist.

Wenn auch die Schwalbesche Theorie der Bildung des Höhleneises in vielen Fällen physikalisch wohl denkbar sein mag, so ist aber, vom geologischen Standpunkte aus, doch verschiedenerlei gegen sie einzuwenden. Denn das in die Höhlen gelangende Wasser ist nicht durch feine Haarrisse in die Höhle eingetreten, sondern — im allgemeinen wenigstens — auf größeren Spalten herabgerieselt. Wir wissen ja, daß die überwiegende Mehrzahl aller Höhlen durch Erweiterung von Spalten im Gestein entstanden ist. Auf diesen Spalten kann natürlich das Wasser niemals die zur Eisbildung erforderliche Abkühlung erfahren. Aber selbst wenn das in die Höhle dringende und zu Eis erstarrende Wasser auf Haarspalten in die Höhle gedrungen wäre, so wäre dennoch die Frage aufzuwerfen, ob dieses Wasser in dem Maße unterkühlt wäre, daß es von selbst zu Eis erstarren würde. Denn es ist sehr zweifelhaft, ob die wenigen Kapillarspalten eines festen Gesteines die gleiche abkühlende Wirkung auf hindurchsickerndes Wasser ausüben, wie die zahllosen Hohlräume zwischen den Körnern jenes

lockeren Sandes, mit welchem die genannten Experimente angestellt wurden.

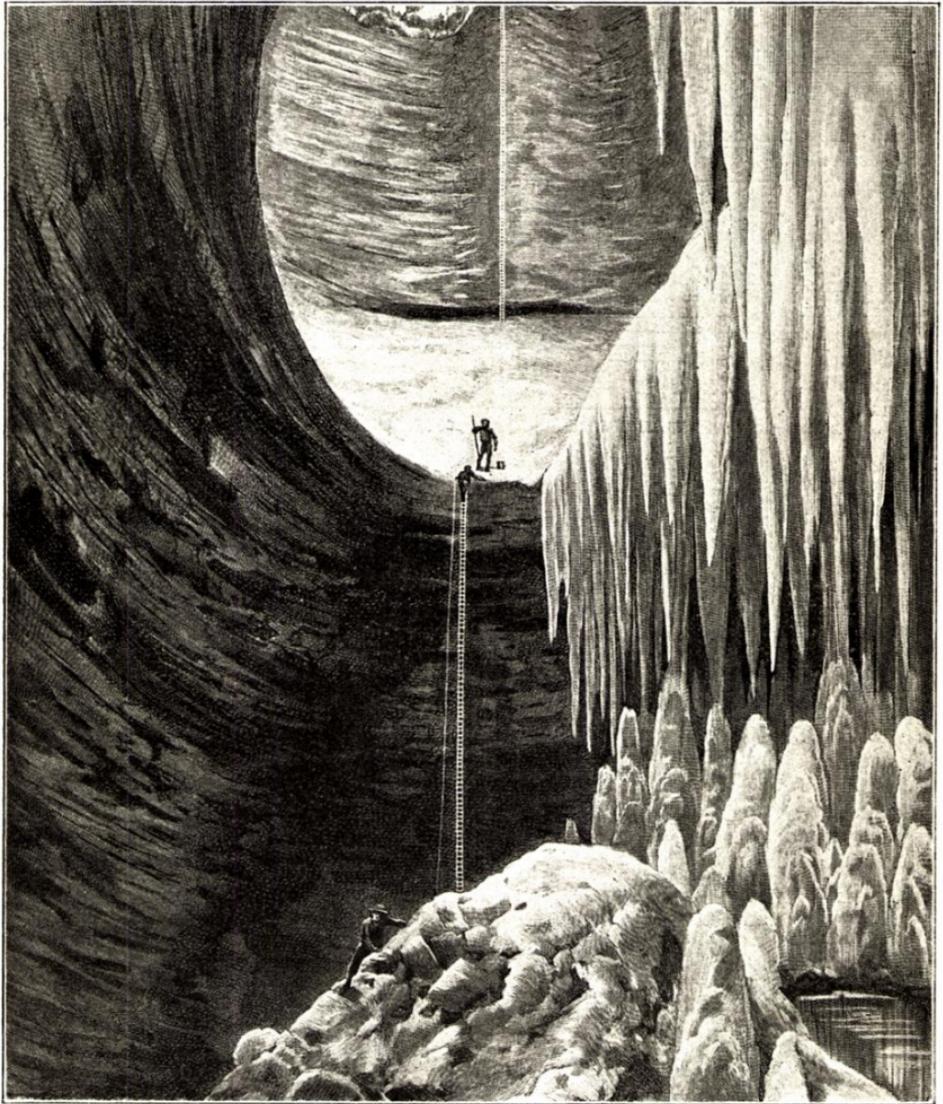
Wir glauben somit die Eisbildung in Höhlen — im allgemeinen wenigstens — dadurch erklären zu müssen, daß in den Eishöhlen lediglich durch örtliche Verhältnisse die Möglichkeit zur Erhaltung von Wintereis das ganze Jahr hindurch gegeben ist. Die Bedingungen, unter welchen dies stattfinden kann, haben wir bereits zuvor erörtert.

Von den beiden hier eingehender behandelten Theorien zur Erklärung des Höhleneises abgesehen — nämlich, der von uns angenommenen Deutung der Eishöhlen als Orte der Aufspeicherung von Winterkälte und der Schwalbeschen Erklärung der Eisbildung durch überkältetes Sickerwasser —, sind auch noch andere Erklärungsversuche für dieses merkwürdige Phänomen gemacht worden. So glaubte man die Eisbildung als eine Folge der Wärmeentziehung bei starker Verdunstung ansehen zu können — ein Vorgang, der sich in lockeren Schuttmassen befeuchteter Gesteine mitten im Sommer tatsächlich des öfteren vollzieht — der indessen nicht die Bildung des Höhleneises veranlassen kann. Wieder andere haben versucht, die Massen von Höhleneis als Kältereste aus der Eiszeit erklären zu dürfen, eine Ansicht, welche aber bereits im Jahre 1743 widerlegt war; denn man hatte eine große Eishöhle bei Chaux les Passavants im Jahre 1727 völlig ausgeräumt und fand sie im Jahre 1743 wiederum mit großen Massen Eises erfüllt. Ähnliche Beobachtungen sind seitdem oftmals gemacht, so daß dieser Erklärungsversuch des Höhleneises nur noch historisches Interesse besitzt.

Gleiches gilt von der Erklärung des Höhleneises infolge der durch Salzlösungen bewirkten Abkühlung; denn eine derartige Kältequelle, wie sie in den Laboratorien durch Salzlösungen bereitet wird, kann in der Natur nicht auftreten.

Aus der großen Anzahl der bekannten Eishöhlen seien hier nur kurz folgende genannt: Die Eishöhlen des Untersberges bei Salzburg, welche durch die trefflichen Untersuchungen von Prof. E. Fugger in Salzburg weiteren Kreisen bekannt sind, ferner die berühmte Dobschauer Eishöhle in Ungarn, die Eishöhle bei Besançon im Schweizer Jura, in Steiermark (Beilstein-

Fig. 40.



Eishöhle des Creux-Percé (nach E. A. Martel).

höhle bei Gams) und andere mehr. Bekannt sind ferner auch die Eishöhlen im Nanosgebirge und anderen Teilen des Birnbaumer Waldes, im nördlichen Teil des Krainer Karstes. Die in unserer Abbildung dargestellte Höhle des Creux-Percé (Fig. 40) ist am Boden eines Dolinenschachtes befindlich; sie besitzt also die zur Ansammlung von kalter Luft, und somit zur Bildung des Höhlen-eises geeignetste Gestalt, welche man sich denken kann.

Bevor wir den Abschnitt über Höhlentemperatur beschließen, sei nur noch der künstlichen Eishöhlen kurz Erwähnung getan. Es finden sich nämlich in vielen vom Bergbau geschaffenen künstlichen Hohlräumen die gleichen Bedingungen, welche wir als die zur Bildung von Eishöhlen erforderlichen kennen gelernt haben. In solchen Höhlungen kann sich naturgemäß ebenfalls das im Winter gebildete Eis das ganze Jahr hindurch halten; ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür sind die Eiskeller von Niedermendig, südlich vom Laacher See, welche in den abgebauten Kammern der Basaltwerke von Niedermendig gelegen sind. Die in den verlassenen Bergwerkskammern enthaltene kalte Luft fällt durch die zahlreichen ehemaligen Schächte in die Tiefe und kann infolge der ungenügenden Ventilation sich nicht mit der warmen Außenluft, welche den Sommer hindurch über Schachtöffnungen sich befindet, vermischen.

Die Ventilation in Höhlen. Wir haben bisher wiederholt der Ventilation in den Höhlen gedenken müssen. So ist gezeigt worden, daß die Tropfsteinbildung von dem Grade der Ventilation abhängig ist. Denn die Tropfsteinausscheidung in Höhlen ist erst durch die in vielen Höhlen eintretende Verdunstung ermöglicht; die Verdunstung ist aber ihrerseits wieder durch die Ventilation bedingt. Infolgedessen findet bei stärkerer Ventilation auch stärkere Ausscheidung von Kalksinter statt.

Den umgekehrten Einfluß übt die Ventilation auf die Eisbildung aus, wie wir zuvor gesehen haben. Denn die stärkere Ventilation ermöglicht eine Vermischung der Höhlenluft mit der Außenluft, mithin auch einen Ausgleich der Temperatur zwischen beiden; es kann sich bei guter Ventilation somit auch nicht das Höhleneis in der warmen Jahreszeit erhalten.

Auf die Temperaturverhältnisse ist in erster Linie die Ventilation von Einfluß. Je nach der Möglichkeit des Aus-

tausches zwischen Höhlenluft und Außenluft wird die Höhlentemperatur, **in größerem oder geringerem Maße verzögert**, die Temperaturschwankungen der freien Luft wiederholen.

Die Ventilation ist — von ihrem Einfluß auf die Tropfsteinbildung abgesehen — von nur geringer geologischer Bedeutung; und da wir die Bedeutung der Ventilation für die Tropfsteinbildung bereits erörtert haben (vgl. Kap. VI), so erübrigt es, weiterhin auf die Ventilationsverhältnisse noch einzugehen.

Die Höhlenluft. Die in den Höhlen enthaltene Luft ist im allgemeinen chemisch nicht von der freien atmosphärischen Luft unterschieden. Nur in den Lavahöhlen ist die Luft zuweilen mit den von Vulkanen ausgehauchten Gasen erfüllt. Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, schweflige Säure und andere gasförmige Substanzen verunreinigen in diesem Falle die normale aus einem Teil Sauerstoff und drei Teilen Stickstoff bestehende Luft jener Höhlen.

Von höherem Interesse als das chemische Verhalten der Höhlenluft ist ihr physikalisches. Die Höhlenluft besitzt nämlich in hohem Maße jene Eigentümlichkeit, die Elektrizität zu leiten. Ein in eine Höhle gestelltes Elektroskop wird infolgedessen ziemlich schnell seine Elektrizität abgeben. Die hohe Leitungsfähigkeit der unter der Erdoberfläche befindlichen Luft ist erst in neuerer Zeit erkannt; man bezeichnet die Luft als ionisiert.

Die meteorologischen Verhältnisse in den Höhlen sind — im Vergleich zu der hohen Bedeutung, welche die Meteorologie für andere Teilgebiete der physischen Geographie besitzt — nur unwichtig; wir haben daher nur in sehr beschränktem Maße ihrer gedenken können.