

Beiträge zur Kenntnis der Eiskeulen in Höhlen.

Von Dr. Georg Kyrle, Universitätsprofessor (Wien).

(Mit 1 Abbildung auf Tafel 1.)

In der ungeheueren Formenfülle von Höhlentropfstein wurden bisher die Eiskeulen verhältnismäßig selten beobachtet und ihrer in der Literatur nur spärlich Erwähnung getan.

Die beiden grundlegenden Arbeiten von E. Fugger,¹⁾ durch welche der Altmeister der Höhlenkunde die „Wintereistheorie“ genau formulierte und die verschiedenen alten Theorien über die Höhleneisbildung endgültig widerlegen konnte, erwähnten diese Eisformen nicht, ebensowenig wie die spätere einschlägige Literatur. Erst E. Berr und H. Hassinger²⁾ haben diese Eisform das erstemal aus dem Geldloch im Ötscher beschrieben und abgebildet.

Der heurige Winter, der sich durch besonders tiefe Temperatur auszeichnete, war für die Bildung von Eiskeulen in Höhlen günstig und tatsächlich wurden sie in einer bedeutenden Anzahl und in einer großen Formenfülle beobachtet.

Anlässlich von Erhebungsarbeiten über den Erhaltungszustand des natürlichen Höhlenbildes in der Lurhöhle zwischen Peggau und Semriach, im mittelsteirischen Karste, konnten sowohl im unteren (Peggauerseite) als auch im oberen Eingange (Semriacherseite) eine große Anzahl von Eiskeulen beobachtet werden. Die Verhältnisse lagen für das Studium dieser Formen außerordentlich günstig, besonders deshalb, weil die einzelnen Formen in verschiedenen Erhaltungszuständen angetroffen wurden. Manche von ihnen befanden sich bereits in beginnender Degeneration. Von dieser günstigen Gelegenheit wurde auch ausgiebig Gebrauch gemacht und die Studien an Ort und Stelle durch Beschreibungen, ausführliche Skizzen, photographische Aufnahmen

¹⁾ Beobachtungen in den Eishöhlen des Untersberges bei Salzburg. Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde, Band XXVIII, 188; ders., Eishöhlen und Windröhren. Jahresbericht der k. k. Oberrealschule in Salzburg 1891, S. 2 bis 70; 1892, S. 2 bis 66; 1893, S. 2 bis 88.

²⁾ Das Geldloch im Ötscher (die Seelucke — eine Eishöhle). Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, Band XXIII, Jahrgang 1902, S. 117 bis 149.

und Gipsabgüsse festgehalten. An diesen Arbeiten, die in der Zeit vom 21. bis 27. Februar 1929 durchgeführt wurden, beteiligten sich in erfolgreicher Weise auch Landeskulturrat Ing. Hermann Bock (Graz), Ing. Leo Handel (Wien) und cand. phil. Franz Waldner (Salzburg), der insbesondere eine große Anzahl ausgezeichneter Skizzen an Ort und Stelle herstellte. Allen diesen Herren sei auch an dieser Stelle für ihre freundliche Mitarbeit herzlichst gedankt.

Was die Verteilung der Eiskeulen in den beiden Eingängen der Lurhöhle anbetrifft, so befinden sie sich an Stellen, die in der Regel im Winter überhaupt nicht oder nur selten Eisfiguren aufweisen. Eiskeulen wurden an diesen Stellen bisher nicht beobachtet.

Im unteren Eingange der Lurhöhle (Peggauerseite, 410 m) fanden sich Eiskeulen von besonders schlanker Form und vielfacher, knotenartiger Unterbrechung in der rechts vor dem Eingange befindlichen Vorhöhle. Dort steigt ein Versturz aus großen und kleinen Felstrümmern steil in die Höhe und auf diesen Versturzböcken befanden sich schätzungsweise 50 bis 60 Eiskeulen von verschiedener Stärke und Länge, die längste 110 m lang. Ihre Verteilung war vollständig unregelmäßig, wohl einzig und allein abhängig von den Tropfstellen der Sickerwässer an der Höhlendecke.

Der zweite Raum, der Eiskeulen führte, ist die unmittelbar hinter dem eisernen Eingangsgitter befindliche Leopold-Kaiser-Halle, ein Höhlenraum von durchschnittlich 15 m Breite und etwa 35 m Länge. Auf eine Entfernung von rund 25 m vom Eingangstor fanden sich etwa 30 Stück Eiskeulen, von denen 22 noch an ihren ursprünglichen Stellen stehend angetroffen wurden. Die anderen waren entweder umgefallen oder wurden umgestoßen. Auch in einer Nische knapp hinter der Leopold-Kaiser-Halle fand sich noch eine gut erhaltene, allerdings kleine Drillingsform. Die Verteilung der Eiskeulen in der Leopold-Kaiser-Halle war ohne Gesetzmäßigkeit, die Standorte der Eiskeulen nur von eintropfenden Sickerwässern bedingt, jedoch die stärkeren und größeren Formen näher dem Eingangsgitter, die kleineren mehr bergwärts in der Höhle.

Im oberen Eingange der Lurhöhle (Semriacherseite, 633 m) fanden sich in der Vorhöhle, gerade gegenüber der Lur-

bachschwinde, auf den steil aufsteigenden Höhlenwänden 100 bis 150 Eiskeulen von hauptsächlich schlanker Form und einer Längenentwicklung bis zu $1\frac{1}{2}$ m.

Das Hauptverbreitungsgebiet war aber hinter dem eisernen Abschlußgitter, in dem Bachbett, das sonst von einem Arm des Lurbaches durchflossen wird und diesen Winter vollständig trocken war. Das Bachbett hat eine Breite von etwa 5 bis 10 m und auf eine Entfernung bis ungefähr 80 m bergwärts fand sich ein ganzer Wald von vielen Hunderten von Eiskeulen, so daß es stellenweise fast unmöglich war, ohne Beschädigung von einzelnen überhaupt durchzukommen. Auch die Verteilung dieser Eiskeulen war im allgemeinen unregelmäßig, jedoch konnte bezüglich ihres Längenwachstumes eine gewisse Gesetzmäßigkeit erkannt werden. Im Bachbett wachsen sie vom tiefsten Punkt desselben bis zu einer Höhe von durchschnittlich 1'20 m empor. Die an den steil einfallenden Wänden des Bachbettes seitlich postierten waren kürzer, so daß die Köpfe der Eiskeulen annähernd in einer Ebene sich befanden. Dieser Umstand hängt natürlich mit der Wetterbewegung zusammen.

Den genannten vier Standorten von Eiskeulen ist charakteristisch, daß über den Eiskeulen die korrespondierenden Eisfiguren an der Decke vollständig fehlten. Dies war auffällig, da sonst den Bodenzapfenbildungen mehr oder weniger mächtige Eisbildungen an der Höhlendecke entsprechen. Die Überprüfung der Wetterbewegung hat einwandfrei ergeben, daß die Höhlenräume, in denen sich die Eiskeulen befinden, statisch bewettern; mit anderen Worten, daß die Wetterbewegung an und für sich träge war und die kalte Außenluft längs der Höhlensohle in die Höhle einfällt, bis sie zu einem Luftsiphon gelangt und die wärmere Höhlenluft längs der Decke ins Freie streicht. Diese Beobachtung konnte durch Versuche mit dem Flammenwinkel und mit Rauch erhärtet werden. Die statische Höhlenbewetterung gibt auch die Aufklärung dafür, daß an der Höhlendecke korrespondierende Eisfiguren fehlen. Nur die söhligigen Teile des Höhlenraumes werden von der kalten, einströmenden Außenluft unterkühlt. Längs der Höhlendecke streichen aber die durch die Gesteinstemperatur erwärmten Höhlenwetter, die nicht mehr soweit unterkühlt werden, daß sie die Sickerwässer an der Höhlendecke zum Gefrieren bringen könnten.

Die bisher veröffentlichten Abbildungen von Eiskeulen³⁾ lassen ebenfalls das Fehlen von Hangeisfiguren an der Höhlendecke erkennen, so daß auch für diese Räume die statische Höhlenwetterbewegung und das Fehlen von Eisbildungen an der Höhlendecke charakteristisch ist.

Was nun die Form der angetroffenen Eiskeulen anbelangt, so sind die wichtigsten auf Tafel 1 zu ersehen. Es sind Bodenzapfen, bei denen auf einen dünnen, stengelförmigen, unteren Teil ein mehr oder weniger dicker, kugeligter Kopf aufsitzt und so dem ganzen Gebilde ein keulenähnliches Aussehen verleiht. Gewöhnlich war aber nicht diese einfache Grundform anzutreffen, sondern, durch die Art des Wachstumes bedingt, Formen, deren dünner Schaft mehrmals von kugelähnlichen, internodienartig angeordneten Ausbauchungen unterbrochen war. Diese Ausbauchungen sind nichts anderes als seinerzeitige Keulenköpfe, auf denen die Eisform wieder weiter gewachsen ist.

Neben diesem Formenwechsel von dünnen Schaftstücken und kropffartigen Ausbauchungen konnte bei einer sehr großen Anzahl von Stücken (etwa bei drei Viertel aller untersuchten) festgestellt werden, daß auch die innere Beschaffenheit des Eises in den dünnen Stengeln eine ganz andere war als die in den Ausbauchungen, beziehungsweise in den Keulenköpfen.

Das Eis der Keulenköpfe und der Ausbauchungen ist farblos, meist ganz durchsichtig und nur dort, wo bereits starke Wabeneisbildung eingetreten ist, war die Durchsichtigkeit mehr oder weniger getrübt. Dieses Eis würde man am besten als Klareis bezeichnen.

Das Eis der dünnen Stengel hingegen war wohl durchscheinend, aber undurchsichtig und von weißer, milchähnlicher Farbe. Diese Beschaffenheit war aber nicht nur oberflächlich, sondern auch im Innern nachzuweisen, wovon man sich unschwer durch Zerschlagen eines Stückes überzeugen konnte. Dieses Eis, durch und durch von milchähnlicher Beschaffenheit, würde am besten als Milcheis bezeichnet werden.

Das Klareis der Ausbauchungen und Keulenköpfe und das Milcheis der Stengelteile war in der Regel scharf voneinander

³⁾ Berr-Hassinger a. a. O. S. 131; E. Hauser - R. Oedl, Eisbildungen und meteorologische Beobachtungen. Speläologisches Jahrbuch 1923, Tafel VIII, IX, X.

zu trennen, insbesondere auch bei dem Übergange von dem dünnen in den bauchigen Teil und umgekehrt. Bei dem Übergange von Milcheis zu Klareis waren vielfach in das Klareis gehende, feinste, unregelmäßige Kanälchen, gewöhnlich verästelt, zu sehen. Dieses Phänomen, das auch E. Fugger⁴⁾ im Bodeneis beobachten konnte, geht darauf zurück, daß die im Milcheis eingeschlossene Luft durch Volumveränderungen ausgepreßt wird. Die Schichtgrenzen lagen in der Regel völlig horizontal, obgleich auch gelegentlich in Störungszonen ein welliger, schiefer oder sonst unregelmäßiger Verlauf festzustellen war. Solche Störungszonen waren besonders häufig an Zwillings- oder Mehrlingsformen zu beobachten, obwohl auch hier die seinerzeitige regelmäßige Anlage in den meisten Fällen noch zu erkennen war.

Die Entstehung der beiden Eisarten — Klareis und Milcheis — ist auch für die Entstehung der Keulenform außerordentlich wichtig, weshalb darüber einiges gesagt werden soll.

Das Klareis scheint seine Entstehung einem Gefrierprozeß zu verdanken, der verhältnismäßig langsam und bei nicht allzu tiefen Temperaturen vor sich geht, so daß die in den Tropfwässern suspendierte Luft Zeit hat, größtenteils oder vollständig zu entweichen. Es fehlen Luftinklusen im Eise.

Das Milcheis hingegen scheint sich außerordentlich rasch und bei verhältnismäßig sehr tiefen Temperaturen zu bilden, wobei die in den Tropfwässern suspendierte Luft ganz oder zum größten Teil als Luftblasen im Eis eingeschlossen wird.

Obwohl diese Luftinklusen in erster Linie für die starke Trübung des Milcheises verantwortlich sind, wäre es nach den angetroffenen Umständen wohl auch möglich, daß Rauhreifteile einfrieren und vielleicht auch, daß sich bei sehr tiefen Temperaturen schon der fallende Tropfen mit einer ganz dünnen Eishaut überzieht und auch diese zur Milcheisbildung beiträgt. Die Entscheidung darüber muß einer eingehenden mikroskopischen Untersuchung vorbehalten bleiben. An eine Ausscheidung von Kalzitsinter bei dem Gefrierprozesse kann wohl nicht gedacht werden, da diese Ausscheidungen auch im Klareis erfolgen müßten, was aber nicht der Fall ist.

Das Klareis scheint also langsam, bei wärmeren Temperaturen, das Milcheis gewissermaßen plötzlich, bei sehr tiefen Tem-

⁴⁾ A. a. O. 1888, S. 41.

peraturen zu entstehen. Diese Annahme wird auch durch die Form der Eiskeulen gestützt.

Die dünnen, stengelförmigen Teile der Keulen, die aus Milcheis bestehen, bilden sich sehr rasch, der auffallende Tropfen hat keine Zeit, abzufließen, sondern gefriert sofort, wodurch zu ungunsten des Breitenwachstums das Längenwachstum außerordentlich begünstigt wird und schlanke, zylindrische Formelemente entstehen. Alle diese Formelemente bestehen fast ausnahmslos aus Milcheis.

Bei den kugelartigen und bauchigen Formelementen hingegen, die sich langsamer und bei wärmeren Temperaturen bilden, gefriert der auffallende Tropfen nicht sofort, er hat noch Zeit, weiterzuzießen, so daß das Breitenwachstum nicht in so starker Form zugunsten des Längenwachstums benachteiligt ist wie bei den schlanken Formelementen. Die Keulenköpfe und die Ausbauchungen bestehen fast ausnahmslos aus Klareis.

Auch die verhältnismäßig scharf ausgeprägten Übergänge vom Stengel zu den Ausbauchungen und umgekehrt sprechen dafür, daß, die gleichen Mengen Sickerwasser vorausgesetzt, der Formwechsel durch starke Temperaturverschiedenheiten bedingt ist.

Zur Bildung der Keulenform gehört aber auch noch eine weitere Bedingung. Es fällt der Umstand auf, daß sich alle Eiskeulen von ihrer Unterlage aus sofort in die Höhe entwickeln, ohne daß die, bei sonstigen Standeisfiguren stets vorhandenen, breiten, kuchenförmigen Eisbildungen am Höhlenboden anzutreffen wären. Dieses jähe Emporwachsen ohne Fußkegel deutet darauf hin, daß zur Bildung der Eiskeulen gerade die richtige Menge von Tropfwässern vorhanden sein muß. Sie müssen an der Keulenkronen gleich gefrieren und nicht in einer solchen Menge aufschlagen, daß die Wässer längs der Figuren abfließen und schließlich am Höhlenboden zu einem Fußkegel gefrieren.

Auf eine starke Eiskeule in der Leopold-Kaiser-Halle schlugen am 21. Februar 1929 acht Tropfen in der Minute auf. Obwohl ein guter Durchschnittswert nur durch eine längere, serienmäßige Beobachtung erhalten werden kann, ergibt auch die durchgeführte Zählung einen durchaus möglichen Wert. Nach ihr tropfen innerhalb 24 Stunden rund 500 g Wasser auf. Wenn man die Ver-

sprühung und Verdunstung berücksichtigt, kann man annehmen, daß ungefähr die halbe Menge des eintropfenden Wassers auf der Eiskeule gefror, d. h. daß sich in dieser Zeit schätzungsweise 250 cm^3 Eis gebildet haben. Die betreffende Eiskeule war am Tage der Beobachtung 93 cm hoch und hatte einen Durchschnittsdurchmesser von etwa 15 cm, so daß ihre Kubatur rund 15.000 cm^3 betrug. Sie würde demnach in etwa 60 Tagen entstanden sein.

Dieser Näherungswert ist ganz gut brauchbar. Die strenge Frostperiode setzte nach Weihnachten ein und bis zum Beobachtungstage waren ungefähr 60 Tage verstrichen. Da die Kälteperiode konstant war und von längeren Wärmestadien, die eine stärkere Anreicherung der Sickerwässer zeitweise wahrscheinlich erscheinen ließen, nicht unterbrochen wurde, ist die Ansicht vertretbar, daß die an dieser Stelle eingetropften Sickerwässer, nach Abzug des Betrages für Versprühung und Verdunstung, zur Gänze in der Eiskeule gefroren sind.

Wenn ich nun bezüglich der Entstehung der Eiskeulen kurz zusammenfasse, so scheinen mir nachstehende Bedingungen notwendig zu sein:

1. Wechsel von längeren Perioden starker und milder Fröste, wobei sich während der starken Fröste stengelige Formelemente und Milcheis und während der milden Fröste keulenkopfförmige Formelemente und Klareis bilden.

2. Statischer und damit ruhiger Wetterwechsel in den Höhlenräumen.

3. Richtige Tropfwassermengen.

Den Wechsel verschiedener Frostperioden haben schon *Berr-Hassinger*⁵⁾ und auch *Hauser-Oedl*⁶⁾ erwähnt. Die beiden letzteren Autoren bringen aber die Bildung der Keulenformen mit einem Steigen, beziehungsweise Sinken der O-Linie zusammen und meinen „daß die Spitze des Zapfens in den Bereich positiver Temperatur gelangt, abschmilzt und das Wasser längs des Zapfens herabrinnt, wo es sofort wieder erstarren wird, sobald es in die Region negativer Temperatur gelangt. So entsteht die Ausbauchung“.

Gelegentlich mag dieser Vorgang an der Bildung von Ausbauchungen beteiligt sein, doch würden sich damit die serien-

⁵⁾ A. a. O. S. 148.

⁶⁾ A. a. O. S. 34.

weisen internodienähnlichen Ausbauchungen ebensowenig wie der Wechsel von Klar- und Milcheis erklären lassen. In der Lurhöhle ist ohneweiters nachzuweisen, daß nennenswerte Schmelzperioden seit der Entstehung der Eiskeulen überhaupt nicht vorhanden waren.

Wenden wir uns nun der *D e g e n e r a t i o n* der Eiskeulen zu.

Die reinen Formen der Eiskeulen zeigen regelmäßige, durchaus kreisrunde Querschnitte, sowohl in den dünnen, stengel-förmigen Teilen als auch in den keulenförmigen Köpfen und den internodienähnlichen Ausbauchungen. Die Degeneration bringt starke Querschnittsveränderungen mit sich.

Die sonst kreisrunden Querschnitte werden in eiförmige, spitz elliptische oder sogar kielähnliche verwandelt. Die schmalere, häufig direkt gratähnliche Seite des Querprofils ist durchaus tagwärts, also gegen die Strömungsrichtung der Wetterbewegung und die breitere, manchmal fast gerade abgeschnittene, ist dem Höhleninneren, also der Windschattenseite, zugewendet. Diese Querprofildeformationen finden sich häufiger in den söhligen Partien der Eiskeulen, besonders stark unmittelbar am Fuße; die oberen Teile werden viel weniger davon betroffen, und bei hohen Eiskeulen waren sie in den oberen Teilen nur mehr selten nachzuweisen. Auch konnte man beobachten, daß die Figuren, die im Hauptwindwege standen, von diesen Profildeformationen stärker betroffen waren als solche in windstilleren Höhlennischen. An manchen Stellen war die Degeneration schon so weit fortgeschritten, daß schwert- und spießähnliche Formen entstanden waren, die von den alten, internodienähnlichen Verdickungen kaum noch etwas erkennen ließen.

Ließen schon diese Anzeichen kaum einen Zweifel darüber, daß die beobachtete Eisdegeneration im wesentlichen auf Verdunstung beruhte, so ergab eine, meines Wissens bisher noch nirgends beschriebene Erscheinung, absolute Gewißheit. Schon gleich bei Beginn der Untersuchungen fiel es auf, daß manche Eiskeulen, besonders in ihren unteren Teilen, ein staubiges Aussehen hatten. Da gerade die unteren Teile der Eiskeulen bei den herrschenden Verhältnissen für eine feine Rauhreifbildung nicht recht in Betracht kamen, wurde dieser Erscheinung nachgegangen, und es zeigt sich, daß der mit der Hand abgewischte Belag nicht zerfloß, sondern einen schmierigen, im trockenen Zustand einen

fein-pulverigen Charakter hatte. Damit war es klar, daß es sich um oberflächliche Kalzitsinterausscheidungen, die als Rückstände bei der Eisverdunstung übrig bleiben, handle, eine Annahme, die auch durch die spätere chemische Analyse des abgeschabten Materials bestätigt wurde. Diese Sinterausscheidungen traf man sehr häufig an, insbesondere an Stellen, an denen die Querprofile stark deformiert waren, besonders an den Fußteilen.

An den gegenständlichen Eisformen können wir in klarer Weise ersehen, daß bei der winterlichen Eisdegeneration in Höhlen die Verdunstung eine hervorragende Rolle spielt und dabei nicht unbedeutende Sinterausscheidungen aus dem Eis erfolgen, denen bei der Schichtenbildung im Bodeneis in unseren großen alpinen Eishöhlen offenbar eine besondere Rolle zukommt, auf die aber in diesem Zusammenhange nicht eingegangen werden kann.

Der große Anteil der Eisverdunstung an der Höhleneisdegeneration bei tiefen Außentemperaturen und bei statischer Wetterbewegung ergibt sich auch aus der Überlegung, daß die feuchtigkeitsarme, kalte Außenluft bei träger Bewetterung in den Höhlenräumen sich sehr rasch, wenn auch nur um einige Grade erwärmt und die relative Luftfeuchtigkeit noch mehr sinkt, was natürlich die Eisverdunstung in sonst völlig trockenen Höhlenräumen besonders begünstigt. Ein ähnlicher Fall von Eisverdunstung mit starker Kalzitsinterausscheidung konnte auch an einer Hangeisfigur in der unteren Lurhöhle beobachtet werden. Die Figur sitzt auf einer Gesteinsrippe der Höhlendecke auf, an einer Stelle, die von der Wetterbewegung stärker betroffen wird als ihre Umgebung.

Am stärksten werden, wie wir gesehen haben, die unteren Partien der Eiskeulen von der Eisverdunstung betroffen. Das hat auch zur Folge, daß die Fußteile der Eiskeulen unmittelbar bei ihrer Ansatzstelle am Höhlenboden besonders stark durch die Verdunstung degenerieren. Zahlreiche Ansatzstellen konnten beobachtet werden, die nur mehr wenige Zentimeter, manche nur mehr Bruchteile von Zentimetern breit waren und auf denen trotzdem Eiskeulen von fast Meterhöhe noch aufsaßen.

Bei diesem labilen Gleichgewichte genügte vielfach ein nur geringfügiger Anstoß, daß die Eisfigur kippte und abbrach. Besonders Veränderungen an den Eintropfstellen der Wässer können eine unregelmäßige Belastung der Eisfigur hervorbringen

und damit das ganze Gebilde zum Umkippen bringen. Wir konnten aber auch beobachten, daß kürzere Eiskeulen, die eine Länge bis höchstens 15 cm hatten, manchmal nicht umgefallen und abgebrochen waren, sondern nach der Seite hin sich langsam geneigt hatten und schließlich auch mit ihrem Kopf, ganz ähnlich wie ein Segerkegel, am Boden lagen und dadurch ein bogenförmiges Gebilde hervorbrachten. Diese Erscheinung hängt offenbar mit der großen Elastizität des Eises nahe der Schmelztemperatur zusammen. Auch bei großen Eiskeulen kommt es vor, daß sie nicht sofort umkippen und abbrechen, sondern sich mehr oder weniger neigen und bei tiefen Temperaturen wieder so hart gefrieren, daß sich schiefstehende und abgeknickte Eiskeulen erhalten haben. Es ist verwunderlich, daß sich bei einer Eiskeule der schwere Kopf, in schiefer Lage, mit einer äußerst dünnen Knickungsstelle erhalten konnte.

Mit dem langsamen Umsinken der Eiskeulen und dem Wechsel der Austropfstellen der Sickerwässer an der Höhlendecke hängt auch im wesentlichen die Zwillings- und Mehrlingsbildung von Eiskeulen und die Bildung von vielfach sehr bizarr aussehenden Mischformen zusammen. Disloziert sich die Eiskeule durch Seitensenkung und bleibt sie durch nachfolgenden starken Frost noch stehend erhalten, so schlagen nunmehr die eintropfenden Wasser nicht mehr, wie seinerzeit, auf der Zapfenkrone, sondern an irgendeiner anderen Stelle der Keule auf. Dort wächst nun auf der alten Eiskeule ein neuer Bodenzapfen in die Höhe oder es bilden sich vorhangähnliche und fächerförmige sekundäre Eisgebilde. Auch spielt bei der Mischformbildung die Dislozierung der Eintropfstellen an der Höhlendecke eine nicht unwesentliche Rolle. Durch ein Sandkorn oder sonst durch einen geringfügigen Anlaß wird die Wasserbewegung in den feinen Gesteinsrissen verändert und der Sickerwassertropfen fällt von der Höhlendecke um einen geringen Betrag von seiner früheren Austropfstelle entfernt ab. Dies gibt Anlaß, daß unmittelbar neben der bereits sich gebildeten Eiskeule eine neue sich bildet, der frühere Keulenkopf eine Zwillingsbildung erhält usw.

Neben dieser Dislozierung des fallenden Tropfens kommt aber auch noch eine während seines Falles, durch die Höhlenwetterbewegung, in Betracht. Dies konnte bei den gegenständlichen Eiskeulen wiederholt beobachtet werden. Charakteristisch

hiefür ist, daß die Neueisbildungen überall höhleneinwärts, also in der Richtung der einströmenden Höhlenwetter liegen. Auch die schlangenförmig verlaufenden Zapfenbildungen, wie sie manchmal besonders in nächster Nähe von kleinprofligen Höhleneingängen im Winter beobachtet werden können, hängen mit der Ablenkung des fallenden Tropfens durch die Höhlenwetter zusammen.

Die vorliegende Studie ist das Ergebnis von Beobachtungen, die ohne besondere instrumentelle Ausrüstung durchgeführt wurden. Es bleibt in der Frage des Werdens und Vergehens von Eiskeulen und der Klar- und Milcheisbildung noch manche Einzelheit durch Detailuntersuchungen, wie mikroskopische Befunde, kristallographische Untersuchungen der Eisstrukturen, chemische Analysen usw. zu bestätigen. Dies kann aber wohl erst in einem günstigen späteren Zeitpunkte nachgetragen werden. Die Befunde der makroskopischen Betrachtung sind aber vielfach so klar und einwandfrei, daß diese Beobachtungen den Fachkreisen nicht weiter vorenthalten werden sollen.

Die Obergrenze der Dauersiedlung und die relative Höhe des Siedlungsraumes in Tirol.

Von **Dr. Bettina Rinaldini**, Professor, Wien.

(Mit 2 Karten im Text.)

In der Hochgebirgslandschaft erscheint neben den historisch-wirtschaftlichen Faktoren die Bedeutung der physisch-geographischen Grundlagen für die Gestaltung des Siedlungsbildes bis zum äußersten gesteigert, reicht doch ihr Siedlungsraum in seinen feinen Verzweigungen an jene obere Grenze heran, die natürliche Gegebenheiten dem Bestand von Dauersiedlungen setzen. Den Blick aufs Große gerichtet, hat R. Sieger¹⁾ im alpinen Siedlungsraum nur ein randliches Eingreifen des geschlossenen außer-alpinen Kulturareals gesehen und die Hochgebirgssiedlungen als Exklaven aufgefaßt. In diesem Grenz- und Kampfraum, den der alpine Siedlungsraum im ganzen darstellt, erliegt allmählich, regional fein differenziert, die Verbreitung der menschlichen

¹⁾ Die obere Siedlungsgrenze. *Peterm. Mitt.* 1914, S. 277.



Lurhöhle bei Semriach, Eiskeulen. Übersichtsaufnahme.
(Man beachte die obere annähernd ebene Begrenzung des Längenwachstums.)

Phot. G. Kyrle.