

NEUE BEOBACHTUNGEN AN UNTERKÜHLTEN SCHUTTHALDEN

Herwig WAKONIGG, Graz*

mit 2 Abb. und 5 Tab. im Text

INHALT

1.	Einleitung	115
2.	Beschreibung der Standorte	116
3.	Meßergebnisse	121
4.	Ausblick und Zusammenfassung	128
5.	Summary	130
6.	Literaturverzeichnis	130

1. Einleitung

Unterkühlte Schutthalden, d.h. die unteren Bereiche von Schutthalden, die teilweise auffallend unter das Jahresmittel der Lufttemperatur der Umgebung abgekühlt sind und fallweise sogar ganzjährig Eis enthalten können, sind der ortsansässigen Bevölkerung schon wegen der (heute meist nicht mehr gebräuchlichen) Nutzung als natürliche "Kühlkeller" durchwegs geläufig, gelangten aber nur selten einer breiteren Öffentlichkeit bzw. Fachwelt zur Kenntnis, wohl weil die wenigen Beschreibungen nur selten streng wissenschaftlichen Ansprüchen genügten bzw. überwiegend nur "an versteckten Stellen" veröffentlicht wurden. Eine zusammenfassende Behandlung dieses Phänomens stammt von WAKONIGG (1996), in welcher neben der physikalischen Deutung der Abkühlung und Eisbildung auch zahlreiche Meßergebnisse sowie ein Überblick über die bekanntesten Vorkommen in Österreich und Südtirol mit entsprechender weiterführender Literatur mitgeteilt werden. Die vorliegende Studie präsentiert weitere Standorte bzw. weiterführende Messungen, welche die 1996 geäußerten Überlegungen bestätigen.

* O.Univ.-Prof. Dr. Herwig Wakonigg, Institut für Geographie der Universität Graz, A-8010 Graz, Heinrichstraße 36; e-mail: wakon@kfunigraz.ac.at

2. Beschreibung der Standorte

Die "Kalten Keller" von Habichen und Tumpen

Diese befinden sich im Blockwerk der "Bergsturzmasse von Tumpen" (Unteres Ötztal, Tirol), einer Bergsturzmasse aus Granodiorit, welche den Sandbichl (997 m) aufbaut (in dem aber auch noch ein verschütteter Felsriegel vermutet wird) und welche entweder von der im W liegenden Armelewand (1.747 m) oder der im E liegenden Habicher Wand (2.176 m) in postglazial-prähistorischer Zeit niedergebroschen ist (ABELE 1974, S. 7, 90, 189; HEUBERGER 1975, S. 231).

Der Hinweis auf insgesamt drei vormals als Kühlkeller genutzte Vorkommen von unterkühlten Schuttpartien, welche hier als "Habichen 1-3" bezeichnet werden, stammt dankenswerterweise von G. PATZELT (Innsbruck), welcher selbst noch Ende Mai 1993 Eiszapfenbildung aus Tropfwasser bzw. Eisreste in den Klüften zwischen den Blöcken bis Mitte Juni 1993 und 1994 beobachten konnte. Außerdem tritt dort im Winter oberhalb der "Kalten Keller" warme Bergluft aus dem Blockwerk aus und führt bei entsprechenden äußeren Bedingungen zur Kondensation und Wasserdampfbildung, weshalb solche Stellen auch von der Bevölkerung als "Dampflöcher" bezeichnet werden (briefliche Mitteilung von G. PATZELT).

Bei dem bisher einzigen Besuch durch den Verfasser am 14.4.1997 wurde zuerst der "Kalte Keller Habichen 1" ca. 130 m westlich des Habicher Sees in ca. 850 m Höhe aufgesucht. Es handelt sich dabei um einen ehemaligen Kühlkeller von einigen Metern Ausdehnung mit zum Teil verfallener, gemauerter Außenfront und Resten von entsprechenden Vorrichtungen (Fleischhaken etc.), in welchem noch bedeutende Eisreste von verwachsenen Eiszapfen angetroffen wurden. An einer Austrittsstelle der Kaltluft wurde mit einem Abmannschen Aspirationspsychrometer eine Temperatur von $-0,7^{\circ}$ und eine relative Luftfeuchtigkeit von ca. 96-97% ermittelt. Dabei muß die Tatsache hervorgehoben werden, daß trotz vollständiger Schneeschmelze in der obertägigen Umgebung offenbar das Innere der Schutthalde noch nicht auf das Niveau des Phasenüberganges erwärmt worden war, was entweder auf sehr nachhaltige winterliche Abkühlung oder nur geringe Sickerwassermengen bzw. auch auf beides gleichzeitig hinweist.

Der "Kalte Keller Habichen 2", am Westfuß des Sandbichls bzw. Ostrand der "Grube" unmittelbar östlich des in künstlich angelegtem Bachbett geführten Tumpenbaches gelegen, weist ebenfalls eine gemauerte Außenwand auf, ist aber wesentlich kleiner und niedriger als Habichen 1 und nicht aufrecht zu begehen. Außerdem wurde sichtlich bei einem Hochwasserereignis (1987?) Sand in den Keller geschwemmt, welcher wohl auch zur Verstopfung von Luftaustrittslöchern geführt hat, wodurch kaum noch nennenswerter Luftzug festgestellt werden konnte. Trotzdem waren auch hier noch Eisreste anzutreffen bzw. wurde an einer Kluft eine Lufttemperatur von $1,0^{\circ}$ bei einer relativen Feuchte von etwa 88% ermittelt. Der dritte Kühlkeller konnte aus Zeitgründen nicht mehr aufgesucht werden.

Die "Frainer Eisleite"

Der Hinweis auf die "Frainer Eisleiten" oder "Frainer Eishöhlen" wie sie auch genannt wurden, in Mähren/Tschechien ca. 15 km WNW von Znaim/Znojmo stammt dankenswerterweise von M.H. FINK (Klosterneuburg). Diese liegen ca. 2,5 km ESE des Ortskernes von Frain/Vranov bzw. knapp 1 km NNE des auf der Südseite der Thaya in Österreich gelegenen Stierwiesberges in einer Seehöhe von nur etwa 340 bis 360 m unterhalb eines weithin sichtbaren, gemauerten und schon stark angewitterten Obeliskens im Thaya-Nationalpark und sind auch auf der ÖK 1 : 50.000, Nr. 9 (Retz) nahe des westlichen Kartenrandes als "Ledové sluje" vermerkt.

Im Gegensatz zu der auch von JARZ (1882) benutzten Bezeichnung "Eishöhlen" handelt es sich keineswegs um ein mit den entsprechenden Erscheinungen in den Nördlichen Kalkalpen auch nur annähernd vergleichbares Phänomen, sondern die ganze Erscheinung ist im oberen Teil von durchaus beeindruckenden hangparallelen Kluftsystemen des von der Thaya herausgeschnittenen, im wesentlichen SW-NE streichenden und aus Serizitgneis des Moravischen Systems bestehenden Bergsporns geprägt, während die unteren Teile eher dem Typus der vertrauten unterkühlten Schutthalden entsprechen.

Einige der durch "Bergzerreißung" bzw. hangparallele Absackung entstandenen Klüfte sind so tief bzw. durch verkeiltes Blockwerk so weit zugedeckt, daß sie in der an sich höhlenfreien Umgebung auf die Besucher recht auffällig wirken mußten, zumal die meisten zum Teil mehrere Meter breiten Klüfte begehbar und fallweise so tief verfolgbar sind, daß die Benutzung einer künstlichen Lichtquelle ratsam erscheint. Das war wohl die Ursache der Benennung dieses Spaltensystems als "Höhlen". In einem Fall findet sich sogar noch die stark verwitterte Aufschrift "Grotte" in gotischen Schriftzügen auf einer Felswand.

Die ganze Erscheinung wurde wohl schon Ende der 1850er Jahre (JARZ 1882, S. 173) durch einen bequemen Weg mit aus Gneisplatten angelegten Stufen zugänglich gemacht, welcher immer noch benutzbar, wenn auch nicht erhalten ist. Trotz einiger offenbar recht junger zusätzlicher Einrichtungen (Rastplatz mit Bank und Tisch) ist der Zugang heute offiziell verboten und nicht mehr kenntlich gemacht.

Die ausführlichste Beschreibung dieser Stelle stammt von JARZ (1882), wo auch die Ergebnisse zahlreicher Temperaturmessungen mitgeteilt werden. Aus heutiger Sicht interessant sind mehrere Hinweise auf Eisvorkommen mitten im Sommer wie auch auf die fallweise Gewinnung von Eis durch "Schulknaben" (JARZ 1882, S. 172, 175), doch konnte bei einer Nachschau am 1.7.1997 trotz des relativ frühen Datums an keiner Stelle auch nur der geringste Rest von Eis angetroffen werden. Wenn man den früheren Autoren entsprechende Objektivität zubilligt, so hat man in Analogie zu den Eppaner Eislöchern (WAKONIGG 1996, S. 211) doch auch an die Wirkung der allgemeinen Temperaturzunahme seit über 100 Jahren zu denken, welche örtlich Beträge von fast 1 K erreichen kann.

Was die Deutungsversuche der Unterkühlung bzw. Eisbildung durch JARZ anlangt, so sind sie eher kurios als hilfreich: Nicht nur, daß in getreuer Übereinstimmung mit allen anderen Autoren die Wirkung einer sommerlichen Verdunstung im Inneren des Kluftsystems beschworen wird (vgl. dazu WAKONIGG 1996, S. 214 f.), sondern daß auch von einem im Sommer beständig von unten nach oben (!) treibenden Luftstrom gesprochen wird, bei gleichzeitigem Hinweis, daß die Luft im Inneren im Sommer stets kühler sei als die äußere Luft (JARZ 1882, S. 176), bezeugt die Unkenntnis der tatsächlichen Vorgänge, welche in beiden Fällen in gegensätzlichem Sinn ablaufen. Auch werden heiße Sommer zweimal als Hauptursache für die Eisbildung genannt (S. 175, 176).

Die nächste Beschreibung der Frainer Eisleiten stammt von E. FILEK v. WITTINGHAUSEN (1895). Diese höchst umständliche und wenig weiterführende Beschreibung folgt in ihrer physikalischen Deutung den Argumenten von JARZ, ohne diese aber zu wiederholen und führt ergänzend die aus der Thaya verdunstende Feuchtigkeit als Hauptquelle des für die Eisbildung so wesentlichen Niederschlags an. Diese Verdunstung des Flußwassers sei wiederum umso intensiver, je heißer der Tag im Mittel sei (WITTINGHAUSEN 1895, S. 60). Hierbei ist der erste Hinweis vollkommen von der Hand zu weisen, während der zweite zumindest mißverständlich ausformuliert ist.

Bei der Begehung am 1.7.1997 wurde nur eine Stelle gefunden, welche den Kriterien einer unterkühlten Schutthalde entspricht. Sie liegt unterhalb der so auffallenden Klüfte, dort wo der von NE mehr oder weniger horizontal heranführende Steig scharf nach links (SE) abbiegt und gleichzeitig in seinen steileren, gestuften Abschnitt übergeht. Bei einer Außentemperatur von 15° konnte an einer Stelle eine Temperatur der austretenden Kaltluft von 1,9° und etwa 100% RF, an einer benachbarten Stelle 3,0° bei ebenfalls Wasserdampfsättigung festgestellt werden. Dagegen erwiesen sich alle darüber liegenden Klüfte ("Grotten", "Höhlen") als wesentlich wärmer; die tiefste gemessene Temperatur betrug 5,3°, in der obersten großen Kluft 8,7° und in der "Grotte" sogar 13,2°. Nennenswerte Luftströmungen konnten an keiner der oberen Stellen festgestellt werden.

Die Schutthalde beim Kreuzsteg

Dieses Vorkommen liegt ca. 3 km SSW von St. Nikolai im Sölkatal (Schladminger Tauern, Steiermark) in 1.205 m Seehöhe. Der Name bezieht sich auf eine Brücke über dem Bräualmbach und ist auch auf der ÖK 1 : 50.000, Nr. 128 (Schladming) vermerkt. Seine Kenntnis hängt mit den Hinweisen von FRANEK (1995) auf ähnliche Vorkommen im Bereich der Sölkäler zusammen, wo von drei Stellen, jedoch ohne nähere Lagebezeichnung, die Rede ist. Nach den freundlichen mündlichen Hinweisen durch FRANEK bezüglich der genauen Lage der genannten Stellen wurde der Bereich am 5.9.1997 vom Verfasser gemeinsam mit R. LAZAR aufgesucht, wobei folgende Situation ermittelt werden konnte:

Die erste in Frage kommende Stelle, ca. 1 km taleinwärts (SSW) von St. Nikolai unmittelbar am Rande des Fahrweges in ca. 1.170 m Höhe gelegen, ist auch im Zuge der Gestaltung eines Wasserlehrpfades durch eine Hinweistafel kenntlich gemacht und gemessen an den starken Trittsuren wohl auch viel besucht. Ein tatsächlicher Windröhreneffekt und eine nennenswerte Abkühlung konnten nicht festgestellt werden; die tiefste gemessene Temperatur lag mit $5,4^\circ$ sogar deutlich über dem mit höchstens $4,5^\circ$ anzunehmenden Jahresnormalwert der Lufttemperatur. Auch wurde kein effektiver Kaltluftaustritt beobachtet, doch suggeriert der "erläuternde" Text auf der Schautafel mit der geradezu symptomatischen Beschwörung der sommerlichen Verdunstung eine perfekte Ausbildung einer unterkühlten Schutthalde, von der allerdings keinerlei Rede sein kann. Die ganze Situation ähnelt auffallend jener im Seebachtal in der Ankogelgruppe/Kärnten (JUNGMEIER 1990, WAKONIGG 1996, S. 213), wo ebenfalls ein Abkühlungseffekt auf einer Hinweistafel suggeriert wird, de facto aber nicht nachweisbar ist.

Die zweite Stelle, rechter Hand des Abflusses des Hohensees in ca. 1.540-1.560 m Höhe gelegen ist zwar eine auffallende Grobblockhalde mit starkem Latschen-(*Pinus mugo*) und Moosbewuchs, jedoch ohne den geringsten Windröhren- und Abkühlungseffekt. Die dritte Stelle südlich des Schimpelrückens wurde nicht mehr aufgesucht.

Auf dem Rückweg nach St. Nikolai wurde dann eher durch Zufall die Stelle beim Kreuzsteg entdeckt. Es handelt sich dabei um den Fuß einer mit Fichten gut bestockten Grobblockschutthalde aus Glimmerschiefer unmittelbar westlich der Brücke im Bereich der zum Rücken des Steinrinnenecks (2.247 m) gehörenden Hänge. An einer der Austrittsstellen konnte bei gut entwickeltem Luftzug der austretenden Kaltluft als tiefste Temperatur $2,5^\circ$ bei ca. 98% R.F. ermittelt werden, also doch deutlich unter dem mit ca. 4° anzusetzenden Jahresnormalwert der Lufttemperatur. Auffallendste Erscheinung war aber eine leichte, wenn auch deutlich sichtbare Dunstbildung unmittelbar vor den Austrittslöchern der Kaltluft.

Wenn auch der gesamte Habitus dieses Vorkommens als "bescheiden" eingestuft werden muß und am ehesten mit den Stellen bei der Klammhöhe oder am Kitzbrunn (WAKONIGG 1996, S. 212 f.) vergleichbar ist, so hätte sich diese Stelle weit eher als die vorhin genannte eine Hinweistafel verdient.

Die Kühlkeller von Penon

Die Hinweise auf die "Eislöcher bei Penon" (oberhalb Kurtatsch, Bozener Unterland, Südtirol) stammen aus ORTNER & MAYR (1991, S. 112).

Die erste Stelle ("Penon I") beim Sulzhof unterhalb des 1.053 m hohen Rückens des Corst (ital. "Costa") in ca. 630 m Höhe im geschlossenen Eibenwald gelegen ist ein kleiner, gemauerter, wohl unbenutzter aber verschlossener Kühlkeller am Fuße einer kaum hervortretenden, dicht bewaldeten Schutthalde aus mesozoischen Kalken. An der Kellertüre bzw. an einem Hohlraum im Schutt dahinter konnte am 14.9.1997 keinerlei Luftzug bzw. Abkühlungseffekt nachgewiesen werden.

Die zweite Stelle ("Penon 2") in der Höhe des Wies(en)hofes unterhalb des 1.665 m hohen Hirschkopfes (ital. "Corno del Cervo") in ca. 700 m Höhe in einer Schutthalde aus Triaskalk gelegen, erweist sich als größerer, in gebückter Haltung begehbarer Hohlraum unter einem mächtigen Felsblock und zeigt Reste einer ehemaligen Nutzung als Kühlkeller, wie beispielsweise einen vermoderten Türstock und eine den Zugang begleitende, aus Steinen aufgeschichtete Trockenmauer. Leider wird diese Stelle heute offenbar als Mülldeponie mißbraucht. Bei der Messung am 14.9.1997 wurde bei einer Außentemperatur von 13-14° im Kühlkeller eine Temperatur der nur sehr schwach aussickernden Kaltluft von 6,0° und Feuchtesättigung gemessen. Dieser insbesondere im Vergleich mit den bekannten Eislöchern von Eppan recht bescheidene Abkühlungseffekt (Jahresmittel der Lufttemperatur um 10°) war aber doch in Zeiten vor der Entwicklung technischer Kühlsysteme für die Frischhaltung von Lebensmitteln (meist Fleisch, Käse und Milch) in dieser recht sommerwarmen Gegend (Juli-Normalwert 19-20°) für die Anlage kleiner Kühlkeller interessant genug.

Der Kühlkeller von Ainet

Der Kühlkeller von Ainet liegt etwa 8 km NW von Lienz (Osttirol) im Iseltal am Fuß einer von den Steilhängen unterhalb des Weilers Unteralkus (1.151 m) herabziehenden Grobblockhalde aus Schiefergneis in ca. 720 m Höhe direkt am Rande der Talsohle. Der vom heute als Bauschuttdeponie mißbrauchten Auwald begleitete Fuß der Grobblockhalde weist eigentlich keinerlei Anzeichen einer unterkühlten Schutthalde wie azonale Vegetation, Vermoorung oder kalten Luftzug auf, auch sind solche Effekte nirgends instrumentell meßbar.

Umso auffallender ist die Existenz eines relativ großen, gemauerten Kühlkellers mit massiver Eisentüre, welcher wohl nicht mehr in Nutzung, aber doch fest verschlossen ist. Bei einer Außentemperatur von 13,5° konnte im deutlichen Luftzug an der Unterkante der Eisentüre eine Temperatur von 7,1° festgestellt werden, was praktisch genau dem Jahresnormalwert der Lufttemperatur entspricht und deshalb nicht als tatsächliche Unterkühlung angesprochen werden kann. Immerhin bleibt die Existenz des Kellers als kulturgeographische Eigenheit bemerkenswert.

Die Kühlkeller von Kaltenhausen

Die Kühlkeller von Kaltenhausen, unmittelbar NNW von Hallein am Fuß der aus Jurakalk (Oberalmschichten) aufgebauten und die Grenze zu Bayern tragenden Barmsteine (851 m) in ca. 450 m gelegen, sind wahrscheinlich das spektakulärste Vorkommen einer unterkühlten Schutthalde in Österreich. Sie waren vermutlich sogar namensgebend für den oben genannten Ort bzw. dienten der dort ansässigen Brauerei als willkommene Kühlkeller mit ungleich größeren als den bisher genannten Dimensionen. Da die Örtlichkeit dem Verfasser aber nicht näher bekannt ist, wird auf die betreffende Literatur (MÜLLER 1995, S. 778 und insbesondere HELL 1934/36) verwiesen. Als interessanteste Details seien hier aus der Arbeit von HELL zitiert,

daß etwa der "Polierkeller" allein ein Ausmaß von 30x10 m hatte bzw. daß die Gesamterstreckung aller Kühlkeller etwa 250 m betragen hatte. Darüber hinaus seien noch weitere 28 Keller bis gegen Hallein in Gebrauch gewesen. Im Juni 1934 wurde außerdem bei Straßenarbeiten an mehreren Stellen gefrorener Boden angetroffen.

3. Meßergebnisse

3.1 Alte Messungen von der Frainer Eisleite

Auf die wenigen hier schon mitgeteilten, stichprobenartigen Messungen muß nicht näher eingegangen werden. Mehrmalige Kontrollmessungen stehen nur von den Eislöchern bei Eppan und besonders vom "Toteisboden" im Untertal bei Schladming zur Verfügung. Vor deren Diskussion soll aber noch auf eine interessante, sehr alte Meßreihe von der Frainer Eisleite Bezug genommen werden.

In seiner diesbezüglichen Arbeit teilt JARZ (1882, S. 174 f.) auch Ergebnisse von Temperaturmessungen mit, welche zwischen 29.12.1858 und 11.6.1863 in unregelmäßigen Abständen durch J. WACHTL, Förster der Herrschaft Frain, vorgenommen wurden. Insgesamt wurde an sechs Stellen ("Grube I bis IV" bzw. "Berglehne" und "freies Feld") zu maximal 226 Terminen gemessen, wodurch beachtliche 1.248 Einzelbeobachtungen zur Verfügung stehen. Soweit aus den mitgeteilten Daten bzw. knappen Angaben von JARZ ableitbar, wurde ein Thermometer unbekannter Bauart mit Réaumur-Skala benutzt und ausschließlich in ganzen Graden abgelesen, wodurch die in Celsiusgrade umgerechneten Werte nur eine Genauigkeit von 1,25K besitzen, was insbesondere die Ableitung von Streuungsmaßen problematisch erscheinen läßt.

Durch sorgfältigen Vergleich der Werte ist auch ableitbar, daß die Meßpunkte "Grube I und II" offenbar die unteren Öffnungen darstellen, während die "Grube IV" eine obere Öffnung im Sinne der vertikalen Luftzirkulation innerhalb des Blockwerks darstellt. Die "Grube 3" wurde nicht weiter beachtet, weil die dortigen Messungen erst Anfang Juli 1860 einsetzen und keine Vergleichbarkeit gegeben ist.

Eine kritische Prüfung des Datensatzes ergab des weiteren, daß die Werte bis 5.4.1859 von eher fraglicher Zuverlässigkeit und ab 7.5.1863 überhaupt falsch sein dürften (z.B. $-8,75^{\circ}$ am 11. Juni in Grube III bei 21° Außentemperatur!), wodurch nur die Werte von vier Stellen (Grube I, II, IV und Berglehne) zwischen den genannten Terminen ausgewertet wurden, das sind insgesamt 820, welche nun aber bei identischen Terminen durchwegs vergleichbar sind.

Leider liegen keinerlei Hinweise auf irgendwelche Luftströmungen vor, doch läßt sich durch sorgfältigen Vergleich der Werte in den meisten Fällen die Richtung der Luftströmung recht verläßlich ableiten, insbesondere im Sommerhalbjahr, in dem offenbar nur abwärts gerichtete Strömungen vorkommen, doch bleiben auch etliche

Fälle unklar und wurden nur nach "bestem Wissen und Gewissen" einer wahrscheinlichen Strömungsrichtung zugeordnet. Hier ist der Hinweis nötig, daß die Temperatur einer in eine "Grube" einströmenden Luft keineswegs mit der Umgebungstemperatur identisch sein muß, weil sie auf dem Weg bis zum offenbar möglichst tief angesetzten Meßpunkt schon starke Veränderungen durch den Kontakt mit dem Gestein, lokale Effekte und dergleichen erfährt. Somit wird die Erwartung, aus Temperaturgleichheit sicheres Einströmen ableiten zu können kaum in einem Fall wirklich erfüllt. Die Möglichkeit einer weitgehenden Stagnation, wie sie durchaus häufig verwirklicht sein dürfte, wurde vorerst nicht in Erwägung gezogen.

Die Verteilung der Messungen auf die einzelnen Monate geht aus der folgenden Tabelle hervor:

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Σ
auf	17	12	5	-	-	-	-	-	-	1	9	20	64
ab	5	5	16	12	12	22	24	18	13	11	3	-	141
zusammen	22	17	21	12	12	22	24	18	13	12	12	20	205

Tab.1: Verteilung der ausgewerteten Meßtermine an der Frainer Eisleite zwischen 20.4.1859 und 2.4.1863: auf = bei aufwärts gerichteter, ab = bei abwärts gerichteter Strömung

Die zu Monatsmittelwerten zusammengefaßten Ergebnisse sind der Abbildung 1 bzw. Tabelle 2 zu entnehmen.

Die Temperaturen an der "Berglehne" zeigen zum einen die Konzentration der Meßtermine auf die wärmeren Tagesstunden, zum anderen die Zufälligkeiten des kurzen Zeitraumes bzw. der ungleichen Verteilung der Meßtermine über das Jahr. Solcherart ergeben sich fast durchwegs gegenüber den Normalwerten dieser Landschaft zu hohe Werte bzw. stellt sich noch kein harmonischer Jahresgang der Temperatur ein (zu starker Anstieg im Frühjahr, August wärmer als Juli, zu kalter Dezember). Nimmt man als Vergleichswerte den Durchschnitt der im benachbarten Weinviertel gelegenen Stationen Horn in thermischer Gunst- und Altenburg in thermischer Ungunstlage für 1851-1900 in einer mittleren Seehöhe von 355 m (HANN 1904, S. 86), so erweisen sich die Werte der "Berglehne" demgegenüber im Jahresmittel um 2,6K wärmer (Mai +5,0K, Dez. -0,9K) und bestätigen die oben gemachte Annahme.

Die Temperaturen an den beiden unteren "Gruben" unterscheiden sich nur um einige Zehntelgrade, weshalb sie zu einem Mittelwert zusammengefaßt wurden. Dabei zeigt sich, daß bei unterem Ausströmen offenbar durch die Energiezufuhr durch das Schneeschmelzwasser zwischen März und April eine rasche Erwärmung eintritt, worauf aber dann zu Zeiten des Phasenübergangs eine gewisse Stagnation bis zum

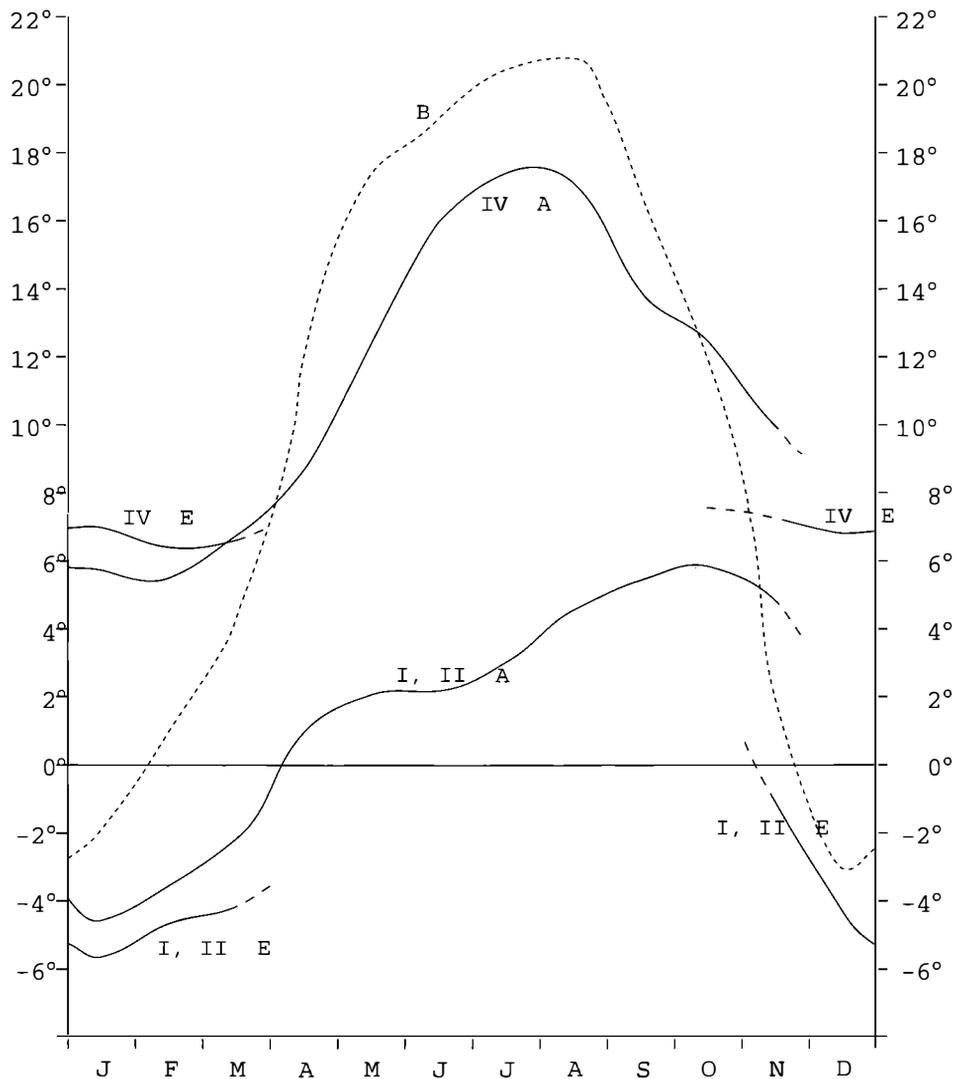


Abb. 1: Temperaturgänge an der Frainer Eisleite 1859-63. B = "Berglehne", I II = untere "Gruben", IV = obere "Grube". E = aufwärts gerichteter Luftstrom, A = abwärts gerichteter Luftstrom. Erläuterungen im Text

Juni und schließlich nach vollkommener oder weitgehender Eisabschmelzung eine allmähliche Erwärmung aufgrund permanenter Energiezufuhr von oben bis zum Oktober folgt. Solcherart werden die früher geäußerten Vorstellungen über die Wirkungsweise des gesamten Systems (WAKONIGG 1996, S. 317 f.) überraschend gut bestätigt.

Bei unterem Einströmen (nur zwischen November und März) liegen die Temperaturen um 1-2K unter jenen der ausströmenden Luft und auch noch unter jenen der "Berglehne" an den entsprechenden, hier nicht getrennt dargestellten Tagen. Die Luft in den Gruben I und II ist beim Einströmen im Jänner um 1,9K, Februar 3,9K, März 1,3K, November 1,3K und Dezember um 1,2K kälter als die Luft der "Berglehne". Der zu erwartende Temperaturrückgang der oben ausströmenden Luft im Laufe des Winters (vgl. die Situation am Toteisboden am Ende dieser Arbeit) ist dagegen – wenn überhaupt – nur schwach angedeutet.

Die oben einströmende Luft ist zwischen April und September schon in der "Grube IV" um 2,8 bis 3,6K (Oktober 0K) kälter als die Außenluft, in den Wintermonaten aber auch wärmer (November +3,3K, Jänner -1,8K, Februar +0,3K, März +0,4K).

Die im Inneren der Blockhalde erfolgende Abkühlung beim abwärts gerichteten Luftstrom bzw. Erwärmung beim Aufsteigen läßt sich durch den Abstand der Kurven in der Abbildung grob abschätzen, wird aber zur besseren Übersicht noch einmal tabellarisch zusammengefaßt:

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
A	-10,4	-9,1	-9,0	-7,7	-11,7	-13,9	-15,9	-12,7	-8,6	-6,7	-5,2	-
E	+12,6	+10,8	+10,7	-	-	-	-	-	-	(+3,1)	+8,2	+11,2

Tab. 2: Durchschnittliche Differenz der Lufttemperatur zwischen den unteren Öffnungen (I u. II) und der oberen Öffnung (IV) bei abwärts gerichtetem (A) und aufwärts gerichtetem (E) Luftstrom in Kelvin

Das offensichtliche Ungleichgewicht erklärt sich weitgehend aus der Konzentration der Meßtermine auf die wärmeren Tagesstunden.

Wie erwähnt sind Streuungsmaße wegen der geringen Trennschärfe der Temperaturmessungen nur von begrenzter Aussage. Sie sollten bestätigen, daß die Temperaturen der Außen- bzw. einströmenden Luft als zufällige Werte stark streuen, während die Temperaturen der jeweils ausströmenden Luft geringe Unterschiede aufweisen (vgl. Tab. 3).

Mit Ausnahme des Verhaltens der Temperatur im Winter an der oberen Öffnung wird diese Überlegung auch recht gut bestätigt.

3.2 Eigene Messungen am Toteisboden im Schladminger Untertal und an den Eislöchern in Eppan

Im Gegensatz zu den alten Messungen an der Frainer Eisleite sind die eigenen Messungen meist nur Stichprobenmessungen, welche noch keine geschlossenen Reihen

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
B	5,5	4,2	6,0	6,0	5,2	6,1	6,3	4,8	4,9	4,3	3,6	4,1
UE	3,7	1,6	1,8	-	-	-	-	-	-	-	2,3	3,4
UA	2,3	1,5	1,4	1,8	0,8	1,2	1,5	0,9	0,6	0,7	3,1	-
OE	1,4	0,7	1,1	2,3	3,1	4,1	4,0	3,6	2,9	2,6	1,3	-
OA	2,4	1,7	1,1	-	-	-	-	-	-	-	2,3	1,5

Tab. 3: Standardabweichung der Temperaturen der Außenluft an der "Berglehne" (B), der unten einströmenden (UE), unten ausströmenden (UA), oben einströmenden (OE) und oben ausströmenden (OA) Luft in Kelvin

ergeben. Sie wurden aber durchwegs mit einem Aspirationspsychrometer bei einer Ablesegenauigkeit von 0,1K und entsprechender Kenntnis der Luftfeuchtigkeit gewonnen. Dazu sind auch die jeweiligen Strömungsrichtungen im Schuttkörper bekannt.

Immerhin konnten am "Toteisboden" im Schladminger Untertal (SCHAEFTLEIN 1962, WAKONIGG 1996, S. 212, 219 f.) an den unteren Löchern bisher an sieben Terminen zusammen 34 Messungen, an den oberen Löchern an zwei Terminen zehn Messungen durchgeführt werden, dazu kommen noch acht Messungen unten an zwei Terminen mit einem Widerstandsthermometer durch A. PILZ (17.10. und 12.11.1997). An den Eislöchern von Eppan in Südtirol (PFAFF 1933, WAKONIGG 1996, S. 211, 218) wurden bisher an sechs Terminen 48 Messungen vorgenommen. Dazu kommen noch neun Messungen an zwei Terminen am Klammboden bei Tragöß/Steiermark (WAKONIGG 1996, S. 212).

Die Ergebnisse für die unteren Löcher am Toteisboden zeigt die Abbildung 2. Dabei wurden jeweils nur Einzelmessungen aus den Jahren 1994-1997 durch Polygonlinien miteinander verbunden, um die Werte für die vier Meßstellen besser auseinanderhalten zu können, womit aber keine "Ganglinie" einer de facto-Temperaturänderung dargestellt wird. Nur beim April handelt es sich um die Mittelwerte der zwei Messungen vom 23.4.1995 und 27.4.1996.

So wie die Ergebnisse der Frainer Eisleite bestätigt auch das Temperaturverhalten im Toteisboden die Vorstellung über die Wirkungsweise in allerbesten Form, insbesondere durch die Ergebnisse bei Loch 1: Nach den negativen Werten des Winters erfolgt durch das Schneeschmelzwasser ein rascher Anstieg auf Null Grad bis spätestens Ende April, wahrscheinlich aber schon früher. Der folgende Zeitraum des Phasenüberganges von Eis zu Wasser im Inneren der Blockhalde dauert im Bereich von Loch 1 offenbar bis August, bei 2 und vor allem 3 aber sichtlich kürzer. Das Wärmemaximum wird wohl spätestens Ende September erreicht, die wenigen tagesperiodischen Umkehrungen der Strömung (früheste beobachtete am 12.9.1997) führen spätestens im Oktober wieder zu einem Temperaturrückgang, der im konkreten

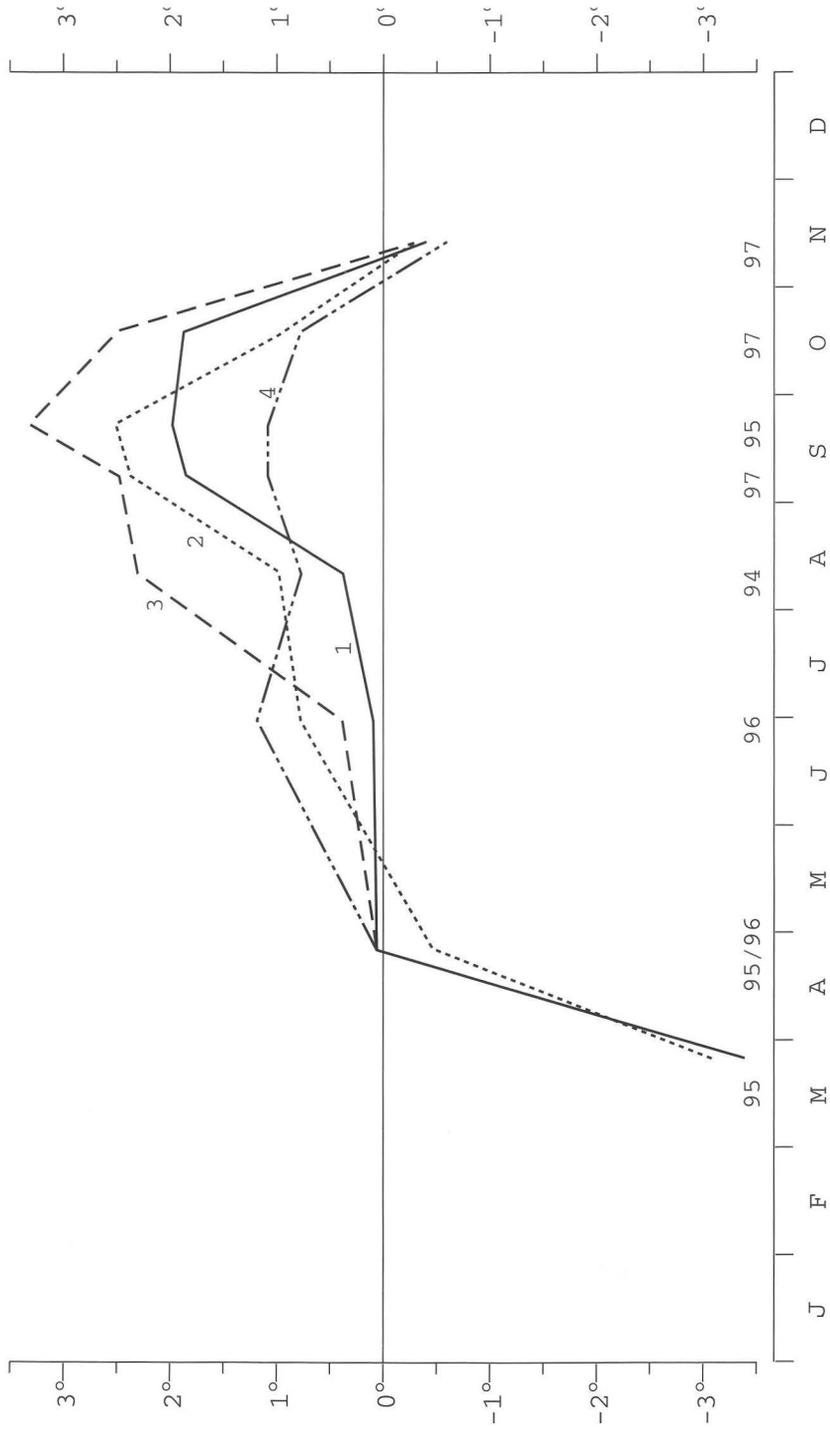


Abb. 2: Lufttemperaturen an den unteren Löchern 1-4 des Toteisbodens. Die unteren Zahlen geben die Jahre der Beobachtungstermine an

Fall von 1997 schon zum Monatsende infolge des extremen Wettersturzes mit Zufuhr von Arktikluft zur Unterschreitung des Gefrierpunktes führte (Minimum der Außentemperatur $-10,5^{\circ}$). Nicht ganz in das Schema paßt das Verhalten bei Loch 4, wo die Existenz von den Sommer überdauernden Eises in größerer Tiefe vermutet werden darf. Die vier Standard-Meßpunkte liegen insgesamt etwa 150 m auseinander.

Die Ergebnisse für die Eislöcher von Eppan zeigt die Tabelle 4:

Meßpunkte	Meßtermine				
	22.4.1995	18.6.1996	25./26.8.1994	1.9.1995	14.9.1997
3	0,0	0,1	2,6	3,1	2,9
4	-0,1	0,0	2,7	5,0	4,0
6	0,2	0,5	2,6	3,0	2,3

Tab. 4: Ergebnisse der Temperaturmessungen an den Eislöchern von Eppan in $^{\circ}\text{C}$

Es überrascht, daß in der ungleich wärmeren Umgebung (Jahresnormalwert der Lufttemperatur $10-11^{\circ}$ gegenüber $4-5^{\circ}$ im Untertal) die Zeit des Phasenübergangs ebenfalls bis weit in den Juni hinein dauert, wobei zum angegebenen Termin noch Eisreste im Bereich des Loches 4 angetroffen wurden. Auffallend ist auch, daß die Höchstwerte im September vergleichsweise nur um 2 bis $2,5\text{K}$ über jenen des Toteisbodens liegen. Die drei ausgewählten Meßstellen sind die kältesten bzw. typischsten von insgesamt 8 bis 9 gemessenen, welche insgesamt nur etwa 20 m auseinanderliegen.

Bei der Klammhöhe in Tragöß lag der tiefste Wert am 12.8.1994 bei $1,4^{\circ}$ und am 28.10.1995 an der selben Stelle bei $0,1^{\circ}$, womit auch dort das Maximum schon im September wahrscheinlich wird. Messungen an oberen Ausströmlöchern gibt es bisher nur vom Toteisboden zu den Terminen 10.11.1995 und 10.2.1996. Bei vier etwa 120 m oberhalb der unteren Löcher gelegenen Stellen ergab sich im November eine Mitteltemperatur von $9,5^{\circ}$ (Max. $10,7^{\circ}$, Min. $9,0^{\circ}$), im Februar waren es $6,8^{\circ}$ (Max. $7,3^{\circ}$, Min. $6,1^{\circ}$); die mittlere Abkühlung von $2,7\text{K}$ ergibt sich aus Spannweiten zwischen $1,7$ und $3,7\text{K}$.

Diese oberen "Löcher" sind keineswegs so auffallend gestaltet wie die unteren, sondern durchaus unscheinbare Schuttstellen, wobei nur eine von sechs in natürlichem Zustand ist, d.h. nicht von der Forststraße angeschnitten wurde. Sie bleiben während des Winters erwartungsgemäß schneefrei und sind eigentlich nur dadurch zu entdecken, wobei sowohl am 10.11.1995 bei Außentemperaturen von -1 bis -2° als auch am 10.2.1996 bei -13 bis -14° leichte Dampfschwaden an den Austrittsstellen beobachtet werden konnten.

Was die *relative Luftfeuchtigkeit* anlangt, so ist erwartungsgemäß sowohl die unten als auch die oben austretende Luft in allen Fällen ganz oder fast wasserdampfgesät-

tigt, weshalb auf die Mitteilung der Feuchtwerte verzichtet wurde. Werte deutlich unter 100% entstehen meist infolge von "Mischluft", d.h. Beimengungen von Außenluft vor dem endgültigen Austritt, was im Falle der jeweils unteren Löcher auch anhand der etwas höheren Temperaturen nahegelegt wird.

Hier ist der Hinweis angebracht, daß die Ableitung der relativen Luftfeuchte aus Psychrometermessungen bei niedrigen Temperaturen nicht mehr befriedigend genau möglich ist. So ergibt ein Ablesefehler von 0,1 K im Bereich des Gefrierpunktes bei praktisch gesättigter Luft bereits eine Fehlergröße bei der relativen Feuchtigkeit von 1,7 Prozentpunkten. Aus diesem Grund wurden durchwegs auch nur "ungefähre" Feuchtwerte mitgeteilt.

4. Ausblick und Zusammenfassung

Im Bereich des Toteisbodens im Schladminger Untertal läuft seit August 1997 ein Forschungsprojekt mit Temperatur-Dauerregistrierung an je zwei oberen und unteren Luftaustrittsstellen, dessen Ergebnisse zu gegebener Zeit publiziert werden und denen hier nicht vorgegriffen werden soll. Es sei nur so viel ergänzt, daß die höchste Temperatur an der naturbelassenen oberen Austrittsstelle (Nr. 1) bei der ersten tagesperiodischen Strömungsumkehr in der Nacht vom 11. zum 12. September 1997 noch 15° erreichte, während es in der Nacht vom 28. zum 29., der letzten von zehn mit Strömungsumkehr im September nur mehr 12° und am 31. Oktober 1997 nach weiteren 22 Tagen mit aufsteigender Strömung nur mehr 11° waren. Dabei lag das Minimum der Außentemperatur am 12.9.1997 zwischen 2,0° unten und 3,5° oben, am 29.9.1997 bei entsprechend 1,5 und 4,5°, aber am 29.10.1997 bereits bei -10,5 und -9,3°.

In Anknüpfung an die grundlegende Arbeit über unterkühlte Schutthalden (WAKONIGG 1996) werden hier einige neue Standorte bzw. zusammenfassende Meßergebnisse präsentiert, welche die 1996 geäußerte Vorstellung über die Wirkungsweise in unterkühlten Schutthalden recht gut bestätigen: Demnach erfolgt die entscheidende Abkühlung durch Einströmen von Kaltluft in Öffnungen am Fuß der Schutthalden im Winter. Während der folgenden Schneeschmelze bewirkt das eindringende Schneeschmelzwasser durch Eisbildung beim Wiedergefrieren einen Anstieg der Lufttemperatur bis Null Grad oder wenig darüber und erst nach weitgehender Eisabschmelzung – an den bekannten Stellen nach zwei bis vier Monaten – erfolgt eine weitere Erwärmung auf mehrere Grade über Null, die spätestens Ende September ihr Maximum erreicht.

Nr.	Bezeichnung	geogr. Koordinaten	Nr. der ÖK 1 : 50.000	Seehöhe (unten)	Exposition	Ausprägung (0-2)	Zahl der eigenen Messungen bzw. Besuche
1	Habichen 1	47°11'14'' 10°54'15''	146	850 m	NE	2	1
	Habichen 2	47°10'40'' 10°54'26''	146	910 m	W	1	1
	Habichen 3	47°10'47'' 10°54'45''	146	920 m	E	?	-
2	Frainer Eisleite	48°53'07'' 15°50'40''	9	340 m	NW	2	1
3	Kreuzsteg	47°07'43'' 14°01'33''	128	1.205 m	E	1	1
4	Penon 1	46°17'43'' 11°12'08''	43*	630 m	ENE	0	1
	Penon 2	46°18'32'' 11°12'09''	43*	700 m	NE	1	1
5	Ainet	46°52'18'' 12°41'10''	179	720 m	SW	0	1
6	Kaltenhausen	47°41'40'' 13°04'50''	93	450 m	E	(2)	-
7	Toteisboden Untertal	47°21'19'' 13°42'14''	124	1.000 m	N-NNE	2	11
8	Eislöcher bei Eppan	46°26'42'' 11°14'51''	26*	570 m	ENE	2	6

* Carta d'Italia 1 : 50.000

Tab. 5: Übersicht über die erwähnten Vorkommen von unterkühlten Schutthalden im Ostalpenbereich. Von den bei WAKONIGG 1996, Tab. 4 (S. 221) angegebenen Östlichkeiten werden hier nur mehr die näher besprochenen (Toteisboden und Eislöcher bei Eppan) mit aufgenommen

5. Summary

Herwig Wakonigg: New findings concerning "hypothermia" in taluses

As a follow-up to the seminal paper on "hypothermia" in taluses (WAKONIGG 1996), new locations showing this phenomenon and the results of a series of temperature measurements are presented here. They underpin the theory on the mechanism of "hypothermia" developing in the lower parts of the cone of a talus formulated in 1996: there temperatures are markedly below the annual mean of the air temperature in the surroundings. Cooling takes place mainly in winter, with fresh cold air streaming in through openings in the lower part of the talus. When the snow melts on the surface, water seeps into the talus and freezes again in this colder environment, thus making the air temperature rise to zero degrees or only a little higher for as long as it takes for all the ice to melt, i.e. for two to four months in the places observed. Only then the air temperature goes up to a few degrees above zero, with the highest value normally reached by the end of September.

6. Literaturverzeichnis

- ABELE G. (1974), Bergstürze in den Alpen. In: *Wiss. Alpenvereinshefte*, 25, S. 1-230.
- FRANEK W. (1995), Kondenswasser Moore im Naturpark Sölk-täler – eine ökologische Rarität. In: 166. *Naturschutzbrief 2/95 (Graz)*, S. 15-16.
- HANN J. (1904), *Klimatographie von Niederösterreich*. In: *Klimatographie von Österreich Bd. I*, S. 1-104.
- HELL M. (1936), Die kalten Keller von Kaltenhausen bei Hallein in Salzburg und das Windröhrenphänomen. In: *Speläolog. Jahrb. Bd. 15/17 (1934/36)*, S. 49-57.
- HEUBERGER H. (1975), Das Ötztal (= *Innsbrucker Geogr. Studien, 2 – Tirol ein geographischer Exkursionsführer*), S. 213-249.
- JARZ K. (1882), Die Eishöhlen bei Frain in Mähren. In: *Peterm. Geogr. Mitt.*, 28, S. 170-176.
- JUNGMEIER M. (1990), *Naturführer Seebachtal (= Naturkundl. Führer zum Nationalpark Hohe Tauern, 7)*, S. 1-60.
- MÜLLER G. (1995), Die Gewinnung und Verwendung von Natureis. In: *Mitt. Ges. f. Salzburger Landeskunde*, 135, S. 773-802.
- ORTNER P., MAYR Ch. (1991), *Naturdenkmäler in Südtirol. Beschreibung und Wandervorschläge*. Bozen, Athesia. 183 S.
- PFÄFF W. (1933), Die Eislöcher im Ueberetsch. Ihre Vegetationsverhältnisse und ihre Flora (= *Schlern Schriften*, 24), S. 1-72.
- SCHAEFTLEIN H. (1962), Ein eigenartiges Hochmoor in den Schladminger Tauern. In: *Mitt. Naturwiss. Verein Steiermark*, 92, S. 104-119.
- WAKONIGG H. (1996), Unterkühlte Schutthalde. In: *Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich (= Arb. aus d. Inst. f. Geogr. d. Univ. Graz, 33)*, S. 209-223.
- WITTINGHAUSEN E.F. von (1895), Die Frainer Eisleiten. In: *Mitt. d. Section f. Naturkunde d. Österr. Touristen-Club, VII, 8*, S. 57-60.