

Ergebnisse von Temperatur-Dauerregistrierungen am „Toteisboden“ im Schladminger Untertal

Von Herwig WAKONIGG¹
Mit 4 Abbildungen und 2 Tabellen

Angenommen am 1. Juli 2001

Summary: Results of temperature-monitoring at the “Toteisboden” near Schladming (Styria/Austria). – The “Toteisboden” near Schladming (Styria/Austria) in the eastern Alps is a typical example of hyperthermia talus. This phenomenon is the result of a thermally-induced chimney effect, which in winter causes the relatively warm air of the interior of the talus to rise and be exuded from holes and crevices in the higher part of the talus, while at the same time fresh cold air necessarily enters at the corresponding holes in the lower part of the talus, thus cooling down a good deal of the rocky interior, commonly to some degrees below freezing-point. During the period of snow melting on the surface, ice is formed of the down pouring meltwater in the interior as long as the temperature remains below freezing-point, but at the same time warming up the interior at least to freezing-point, due to the release of latent heat.

During the following periods with warm weather, especially during the summer, the chimney works in an opposite way. The now relatively cold air of the interior drains from the lower openings and causes fresh warm air to enter the openings in the higher part of the talus. On the way down through the interior of the talus energy is transferred from this downmoving air to the rocky surrounding resp. ice in the lower parts by means of sensitive and latent heat, thus warming the interior and melting the ice, and due to this process being cooled down near to freezing-point as long as ice exists in the interior. Finally, after the total melting of the ice, the temperature of the air exuding at the lower openings rises to some degrees over freezing-point. In some special locations of hyperthermia talus ice exists evidently during the whole year.

This fundamental features of the mechanism of the development of hyperthermia talus where pointed out in the seminal paper of the author in 1996. The present paper deals with the results of temperature-monitoring during two years at three openings (crevices) in the upper part and two corresponding holes in the lower part of the talus accompanied by a measurement of outside-temperature at the top of the talus and ist foot as well. Besides this the wind-speed of the exuding air at one of the holes at the base of the talus was observed.

The results of the entire measurement confirm the above-mentioned theory of mechanism in hyperthermia talus perfectly, but with some surprising details: During winter the interior at the base of the talus near the openings is cooled down to temperatures close to -8° , but it can be estimated, that the deeper interior resp. the solid rocks in a greater distance of the openings cannot be cooled down more than -2 to -4° at the end of winter. The warming up to the melting-point of the ice takes place around the end of March resp. beginning of April and needs only a time of two weeks. Differing to this short period of warming and ice-building, the following period of ice-melting and isotherm temperature-development takes between two and three months. The following warming of the exuding air (at least after the beginning of July) reaches values between 1 and 6° , depending on local circumstances resp. the propable existence of ice in the deeper parts of the talus, which may influence the temperature of the circulating air.

The temperature of the exuding air at the upper parts of the talus drops from 14 – 16° in the late summer to 4 – 6° at the beginning of April. Thus, the difference between the temperatures at the upper and lower openings vary between $4/6$ K and $14/16$ K, while the maximum value of cooling and warming as well along the way of the air through the talus reaches 29 K on extraordinary warm, days in summer resp. cold days in winter.

¹ O.Univ.-Prof. Dr. Herwig WAKONIGG, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl Franzens Universität Graz, Heinrichstraße 36, A 8010 Graz, Österreich. E-mail: herwig.wakonigg@kfunigraz.ac.at

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
Zusammenfassung: Der „Toteisboden“ im Untertal bei Schladming ist die am besten ausgeprägte unterkühlte Schutthalde in der Steiermark. Die Unterkühlung entsteht durch eine vertikale Luftzirkulation innerhalb der Blockhalde mit witterungsbedingt wechselnder Richtung unter der Mitwirkung von Eisbildung im unteren Bereich.

Zur Klärung des Temperatur- und Strömungsverhaltens im Inneren der Schutthalde sowie deren Beziehung zur Außenwitterung und der Rolle der Eisbildung wurde zwischen August 1997 und Oktober 1999 eine Dauerregistrierung der Temperatur an drei ventilierten Stellen im oberen Bereich, zwei entsprechenden im unteren Bereich sowie der Außenluft oben und unten und der Geschwindigkeit des Luftstroms an einer unteren Luft-Austrittsstelle vorgenommen. Die Ergebnisse zusammen mit den Ergebnissen von über 100 Temperatur- und Luftfeuchtigkeits-Stichprobenmessungen seit 1994 bestätigen die schon 1996 geäußerten Überlegungen über den gesamten Bildungsmechanismus einer unterkühlten Schutthalde in bester Weise:

Im Winter kommt es durch die unten einströmende Kaltluft zur Abkühlung des unteren Bereichs der Schutthalde, wobei die Gesteinstemperatur -2 bis -4° erreichen dürfte. Durch das Gefrieren von einsickerndem Schneeschmelzwasser erfolgt dann an der Monatswende März/April innerhalb von nur zwei Wochen ein Anstieg der Temperatur auf Null Grad oder knapp darüber. Die mit der im Sommer bzw. bei warmer Witterung durch die Schutthalde abwärts strömenden Luft mitgeführte Energie (fühlbare und latente Wärme) führt zur Schmelzung des vorher gebildeten Eises, wobei dieser Vorgang nun zwei bis drei Monate dauert. Erst nach vollkommener Abschmelzung des Eises im Umkreis der Luft-Austrittsstellen steigt die Temperatur der austretenden Kaltluft auf wenige Grade über Null. In einigen Stellen der Schutthalde kann auch ganzjährig vorhandenes Eis angenommen werden.

Demgegenüber sinkt die Temperatur der oben ausströmenden Luft auffallend gleichmäßig von einem spätsommerlichen Maximum von 14 bis 16° bis zum Minimum von 4 bis 6° Anfang April. Entsprechend gleichmäßig steigt sie dann bis zum Sommer wieder an.

1. Einleitung

1.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der „Toteisboden“ im Schladminger Untertal (Geogr. Koordinaten $\varphi = 47^\circ 21' 19''$, $\lambda = 13^\circ 42' 14''$) in ca. 1000 m Höhe gelegen (Abb. 1) kann als Musterbeispiel einer unterkühlten Schutthalde im Sinne des bei WAKONIGG 1996 beschriebenen Bildungsmechanismus gelten. Die genannte Stelle wurde bisher nur von SCHAEFTLEIN (1962) aus botanischem Blickwinkel, aber mit zahlreichen Hinweisen auf ähnliche Vorkommen sowie Überlegungen zum Bildungsmechanismus näher beschrieben, sowie von WAKONIGG (1996, 1998) aus mikroklimatologischer Sicht in Zusammenhang mit Temperatur-Einzelmessungen und der Kaltluftbildung.

Es handelt sich dabei um eine Grobblockhalde aus Gneis unterhalb der bis über 1000 m hohen Steilhänge zwischen Roßkopf und Krügerzinken (2204 m) mit einer Breite an der Basis von etwa 300 m, einer Neigung von etwa 25° und einem Höhenunterschied von weit über 100 m mit einer Exposition nach N bis NNE, wobei wenigstens das untere Drittel so gut wie waldfrei ist. Dies und die zusätzliche Vermoorung (*Sphagnum*-Bülten) bzw. der azonale Habitus der Vegetation mit *Pinus mugo*, *Rhododendron ferrugineum*, *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium*-Arten und insbesondere reichlich *Betula nana* (näheres bei SCHAEFTLEIN 1962: 105) kann als unmittelbare Folge der auffallenden Unterkühlung der Fußzone der Blockhalde gesehen werden. Infolgedessen wurde diese Stelle von SCHAEFTLEIN als „Hochmoor“ bezeichnet, während STEINER & al. (1992) sie sogar einem eigenen Moortyp, nämlich dem „Kondenswassermoor“ zuordnen, ohne diesen Begriff auch wirklich schlüssig physikalisch zu begründen.

Im Toteisboden wurde wie an vielen anderen vergleichbaren Stellen auch (Hinweise bei SCHAEFTLEIN 1962: 107) ehemals ein Kühlkeller eingerichtet, von dem aber heute außer einer bescheidenen Mulde keine Spuren mehr erhalten sind. Der untere Teil des Toteisbodens ist heute recht gut zugänglich. Vom Parkplatz unmittelbar an der ca. 1 km talauswärts des Gasthofes TETTER gelegenen Straßenbrücke gelangt man, einer Forststraße auf dem orographisch linken (südlichen) Bachufer folgend, nach nur etwa 200 m zum

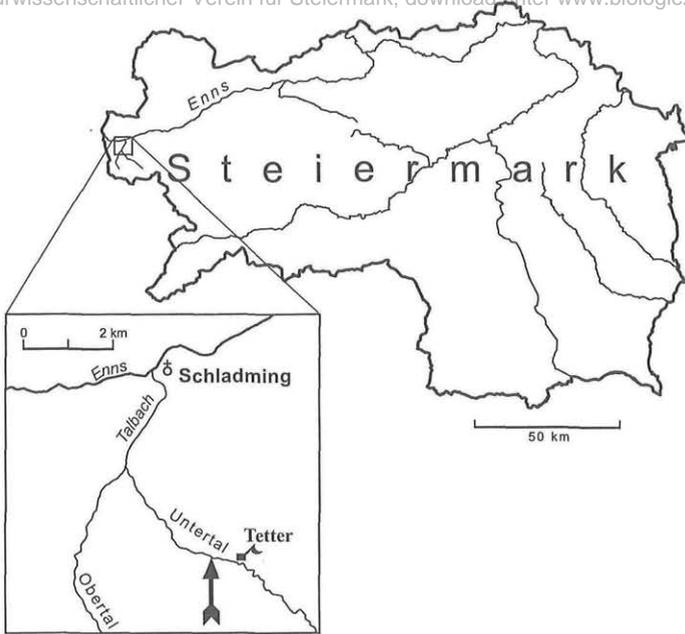


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes.
Location of the investigated area.

Fuß der Blockhalde, die in einer Länge von ca. 150 m direkt bis an den Rand der Forststraße reicht, von wo man auch einige Austrittstellen der Kaltluft beobachten bzw. an entsprechend geeigneten Tagen den kalten Luftzug direkt spüren kann.

Etwa in der Mitte des Haldenfußes wurde im Jahr 1998 ein kurzer Lehrpfad mit Aussichtsplattform und Schautafel eingerichtet, welcher hauptsächlich der Beobachtung der dort reichlich auftretenden *Betula nana* dient und weniger mit dem Phänomen der Kaltluftbildung selbst zu tun hat.

1.2 Der Mechanismus der Unterkühlung

Die Ursache der Unterkühlung wurde bei WAKONIGG 1996 ausführlich beschrieben, wobei es sich um dasselbe Prinzip wie bei den bekannten Eishöhlen handelt: Das Innere der Blockhalde ist für einen vertikal zirkulierenden Luftstrom insofern durchlässig, als bei kalter Außenluft die relativ warme Luft im Inneren aufsteigt und an entsprechenden Stellen, die auch im Winter schneefrei bleiben, wenigstens 100 m über dem Haldenfuß austritt, während bei warmer Außenluft die vergleichsweise kältere Luft im Inneren nach unten sinkt und an zahlreichen Stellen am Fuß der Halde austritt.

Aufsteigende Luftbewegung dominiert daher im Winter, absteigende entsprechend im Sommer. Solcherart wird der gesamte untere Bereich der Blockhalde im Laufe des Winters nachhaltig und bis weit unter den Gefrierpunkt abgekühlt und fungiert als „negativer Energiespeicher“, welcher die im Sommer absteigende Luft so weit abkühlt, dass sich örtlich das so auffallende ökologische Kälte-Milieu bilden kann.

Wesentlich ist dabei, dass bei aufsteigender Luft dem gesamten betroffenen Bereich Energie entzogen, bei absteigender Luft aber entsprechend zugeführt wird. Solcherart muss sich das Innere der Blockhalde im Laufe des Sommers erwärmen und entsprechend

im Winter abkühlen. Von einer Bildung oder Entstehung der Kälte im Sommer, wie sie in der das Phänomen der unterkühlten Schutthalden ansprechenden Literatur bis in die Gegenwart angeführt wird, kann demnach keine Rede sein, auch nicht davon, dass es umso kälter sei, je wärmer die Außenluft sei bzw. dass die Eisbildung an den unteren Luftaustrittsstellen im Sommer erfolge. Selbst bei SCHAEFTLEIN (1962: 112) wird von „im Boden fortlaufend neu erzeugter Kälte“ geschrieben, was zumindest grob mißverständlich ist. Die „Bildung der Kälte“ erfolgt nur im Winter, während die Kälte im Sommer ausschließlich abgebaut bzw. der gesamte Bereich erwärmt wird. Die im Sommer immer noch so auffallend tiefen Temperaturen sind einzig einem Trägheitseffekt (Langsamkeit der Erwärmung) zuzuschreiben und keineswegs einer unmittelbaren „Entstehung“. Welche Rolle bei diesen Prozessen das Wasser mit seinen Phasenübergängen (Verdunstung – Kondensation – Schmelzen – Gefrieren) spielt, wurde bei WAKONIGG (1996: 217 f) ausführlich beschrieben bzw. wird bei der Diskussion der Meßergebnisse angesprochen.

2. Ergebnisse der Stichprobenmessungen

Der Toteisboden wurde vom Verfasser erstmals gemeinsam mit G. K. LIEB am 10. 8. 1994 aufgesucht, wobei an wenigstens vier Austrittsstellen der Kaltluft am Fuß der Halde („Löcher 1–4“) Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessungen mit einem ASSMANN'schen Aspirationspsychrometer durchgeführt wurden. Die Lufttemperaturen lagen dabei zwischen 0,3 und 2,4 Grad, die Luftfeuchtigkeit jeweils bei oder nahe 100%, was bei der sich auf ihrem Weg nach unten immer mehr abkühlenden Luft nicht anders zu erwarten war (Taupunkt der Außenluft je nach Meßpunkt 9–16°).

Seither wurde der Toteisboden in unregelmäßigen Abständen aufgesucht, wobei jeweils, d.h. so weit es Situationen mit ausströmender Kaltluft betraf, entsprechende Kontrollmessungen an den Löchern 1 bis 4, später auch bei den Löchern „A“ und „B“, an einer gut 100 m bergwärts des Kleinkraftwerkes liegenden weiteren Stelle mit Kaltluftaustritten durchgeführt wurden.

Bei insgesamt 14 Besuchen zwischen 10. 8. 1994 und 3. 6. 2000 konnten die Löcher 1–4 elf mal nachgemessen werden, dazu kommen 17 Nachmessungen der Temperatur allein durch A. PILZ mit einem Widerstandsthermometer zwischen 8. 10. 1997 und 5. 9. 1999 in fast regelmäßigen Monatsabständen. Solcherart stehen für die Löcher 1–4 insgesamt 109 Messungen, d. h. 26–28 pro Meßpunkt aus allen Monaten – ausgenommen Jänner und Februar – zur Verfügung, womit bereits ein durchschnittlicher Jahresgang der Temperatur in guter Näherung abgeleitet werden kann.

Die Ergebnisse werden in Abbildung 2 dargestellt. Loch 1 repräsentiert dabei den Idealfall des Temperaturganges an einem Kaltluftloch: Nach der winterlichen Abkühlung erfolgt die entscheidende Erwärmung durch das von oben einsickernde Schneeschmelzwasser. Dieses führt beim Eindringen in den Untergrund zu ausgedehnter Eisbildung in Form von Eiszapfenvorhängen, Eisüberzügen auf Gesteinsblöcken und stalagmitenartigen Gebilden, wobei gleichzeitig durch die beim Gefrieren frei werdende latente Wärme die Temperatur sehr rasch bis zum Nullpunkt angehoben wird. Dieser Vorgang dauert offenbar nur zwei bis drei Wochen und das Erreichen der Temperatur des Phasenüberganges kann üblicherweise mit Anfang bis spätestens Mitte April angesetzt werden, was durch die Messungen bei Loch 4 bzw. die Ergebnisse der Dauerregistrierungen belegt wird. Bei Loch 1 sind Messungen aus diesem Zeitabschnitt nicht verfügbar, weshalb die Kurve flacher dargestellt wurde und das Null Grad-Niveau scheinbar erst gegen Ende April erreicht wird.

Die Folgezeit ist nun insofern ein Abschnitt des permanenten Phasenüberganges, als es durch die mit der vertikal nach unten sinkenden Luft mitgeführten fühlbaren und vor allem latenten Wärme, d.h. Kondensation der Luftfeuchtigkeit an Gesteins- und

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
 Eisoberflächen zu einem Abschmelzen des vorher gebildeten Eises kommt, wobei dieser Vorgang nun offenbar ungleich länger andauert und je nach Bereich mit zwei bis fast vier Monaten anzusetzen ist. Er manifestiert sich in den Messergebnissen in der Form, dass die Lufttemperatur an den Austrittsstellen fast konstant knapp über dem Nullpunkt verharrt und solcherart die Existenz von Eis in den luftdurchströmten Bereichen anzeigt. Durch die großen Weglängen, die Langsamkeit des Durchströmungsvorgangs und die eklatante Differenz zwischen der spezifischen Wärmekapazität der Luft und jener des Gesteins bzw. der latenten Wärme des Eises passt sich die Lufttemperatur jener des Gesteins bzw. Eises fast vollkommen an.

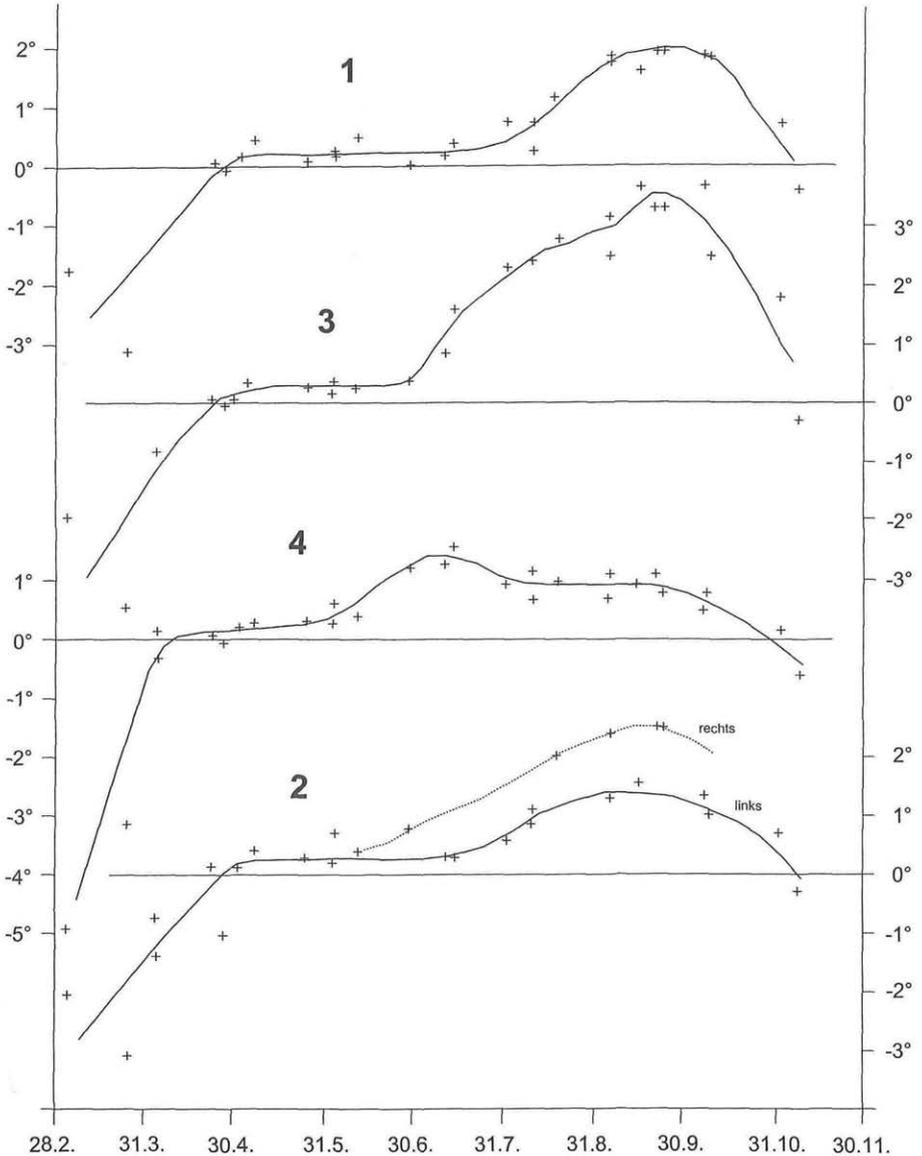


Abb. 2: Jahresgang der Temperatur der ausströmenden Kaltluft an den Löchern 1-4.
 Annual course of the temperature of the cold air exuded at the openings 1-4.

In grober Verknennung dieser Vorgänge hält sich in der mit diesem Phänomen befassten Literatur hartnäckig die seit 1796 (SAUSSURE, zitiert bei FURRER 1966: 721) über CANAVAL (1883: 199), SCHAEFTLEIN (1962: 113) bis herauf zu FRANEK (1995: 15) tradierte Vorstellung einer sommerlichen Verdunstung im Inneren der Blockhalde als Ursache einer laufend entstehenden Kälte.

Auffallend und ganz wesentlich erscheint die Tatsache, dass während der gesamten Schmelzphase (April bis Anfang Juli) keine größeren Meßdifferenzen bei vergleichbaren Meßterminen als 0,2 bis 0,3 K auftreten bzw. sich die Maximaldifferenz bei 11 Messungen im gesamten fast dreimonatigen Zeitraum auf nur 0,5 K beläuft (Standardabweichung 0,24 K), obwohl zwei unterschiedliche Meßgeräte in insgesamt fünf Jahren verwendet wurden. Das zeigt, dass die Temperatur ausschließlich vom schmelzenden Eis und dem gleich temperierten Gestein und nicht im geringsten von der von Jahr zu Jahr ungleichen Außenwitterung gesteuert wird.

Erst nach dem völligen Abschmelzen des Eises im luftdurchströmten Bereich – bei Loch 1 gegen Ende Juli – wirkt sich die Energiezufuhr auch in einer effektiven Erwärmung des Gesteins aus, die gegen Ende September gerade 2 Grad erreicht. Demnach kann von einer Eisbildung im Sommer oder gar von deren Zunahme bei warmen Außentemperaturen wie auch von der Entstehung der Kälte im Sommer, wie es in der älteren Literatur vielfach vertreten wird (z. B. CANAVAL 1893: 199, HÖLZL 1882, zitiert bei PFAFF 1933: 23, PLATTER 1896, zitiert bei PFAFF 1933: 16) keine Rede sein.

Loch 3 zeigt im Prinzip das gleiche Verhalten, jedoch mit anderen quantitativen Parametern: So erscheint einerseits die Schmelzphase auf etwa zweieinhalb Monate verkürzt, d. h. die Erwärmung über den Schmelzpunkt beginnt schon Anfang Juli, andererseits werden auch wesentlich höhere Temperaturen (bis 3,7°) erreicht. Das kann verschiedene Ursachen haben, etwa geringere Eisbildung, oberflächennäheres Durchströmen, Einbindung von Außenluft in den Luftstrom oder einfach eine stärkere und effizientere Durchströmung. Auch bei Loch 3 beträgt die maximale Differenz von neun Messungen aus fünf Jahren während der gesamten, gut zwei Monate dauernden Schmelzphase gerade eben 0,4 K (Standardabweichung 0,15 K).

Ein deutlich abweichendes Verhalten zeigt sich bei Loch 4 (ehemaliger Kühlkeller). Aufgrund zweier Messungen (4. 4. 1998 und 4. 4. 1999) wird die rasche Erwärmung von winterlichen Frostwerten auf das Niveau des Phasenüberganges belegt. Nach dem weiteren Verlauf in gewohnter Form wird die sommerliche Erwärmung im Juli unterbrochen, worauf sich die Temperatur bis zur herbstlichen Abkühlung bei 1° einpendelt und die maximale Differenz von 11 Messungen aus fünf Jahren in dem über zwei Monate dauernden Abschnitt nur 0,6 K beträgt (Standardabweichung 0,2 K). Als Ursache dafür könnte man an permanentes Eisvorkommen in tieferen Horizonten denken, was insbesondere durch die Konstanz des Temperaturverlaufes nahegelegt wird, wie sie noch besser bei den Dauerregistrierungen am Loch SU-E (= „A“) zum Ausdruck kommt.

Der Temperaturverlauf bei Loch 2 zeigt das gewohnte Bild, doch werden dort an zwei unmittelbar benachbarten Austrittsstellen im Sommer recht unterschiedliche Ergebnisse erzielt, was ganz allgemein die Heterogenität des ganzen Systems belegt.

Gegenüber den Werten der Schmelzphase bzw. des Sommers sind jene der spätwinterlichen bzw. spätherbstlichen Übergangszeiten relativ uneinheitlich. In dieser Zeit ist Ausströmen nur bei ausnahmsweise warmem Wetter oder tagesperiodisch zu erwarten, wobei dann die gerade vor wenigen Stunden eingeströmte Luft wieder ausströmt, wodurch Witterungsunterschiede durchaus wesentlich werden können. Dazu kommt, dass sich die rasche Erwärmungsphase an der Monatswende März/April witterungsbedingt recht deutlich verschieben kann. Solcherart passen die auffallenden Meßdifferenzen durchaus in die Vorstellung des allgemeinen Wirkungsmechanismus.

Von Loch A liegen nur acht Einzelmessungen vor, von Loch B nur sechs, weshalb auf eine graphische Darstellung verzichtet wurde. Zudem wurde Loch A durch die Dauerregistrierung erfasst.

Auch die oberen „Löcher“, deren Ventilationsverhalten sinngemäß invers zu den unteren Löchern erfolgt, werden bei der Darstellung der Ergebnisse der Dauerregistrierungen behandelt, zumal überhaupt nur zwei Stichprobenmessungen vorliegen.

3. Das Meßprogramm der Dauerregistrierung

Zur lückenlosen Erfassung der Temperaturen wurde im Sommer 1997 durch A. PILZ ein permanentes Meßnetz installiert, welches folgende Daten erfasste: Die Lufttemperatur an zwei Öffnungen am Fuß der Halde, davon ist „SU-E“ mit Loch A identisch, „SU-W“ befindet sich ebenfalls im Bereich des bergwärts des Kleinkraftwerkes gelegenen Haldenfußes etwa 40 m talauswärts von SU-E. Weiters die Lufttemperatur an drei Öffnungen im oberen Bereich der Halde, gut 100 m über den beiden unteren Öffnungen. Davon lagen „SO-E“ und „SO-W“ in einem fast vegetationsfreien Teil der Halde, in dem keine wirklich größeren Öffnungen vorhanden sind, weshalb die Temperaturfühler einfach zwischen den Steinen so weit wie möglich versenkt wurden. „SO-S“ ist dagegen ein Luftloch am durch eine Forststraße angeschnittenen Hang etwa 90 m talauswärts der ersten beiden Stellen. Die Platzierung der Meßfühler erfolgte bei allen Öffnungen 0,5 bis 1 m unter der Geländeoberfläche.

Weiters wurde die Außentemperatur in 2 m über Grund sowohl in der Nähe der oberen als auch der unteren Löcher gemessen und schließlich die Geschwindigkeit der Luftströmung in der geräumigen und gut geschützten Öffnung SU-W.

Die Temperaturmessung erfolgte in allen Fällen mittels Widerstands-Temperaturfühlern (Typ NTC), und wurde in auf 2 Sekunden-Messungen basierenden Halbstunden-Mittelwerten auf einem mit Solarzellen und Bleibatterie betriebenen Datenlogger abgespeichert. Die gespeicherten Daten wurden monatlich auf einen Laptop ausgelesen. Die Messungen begannen am 6. 8. 1997 (bei SO-S erst am 9. 10. 1997) und endeten am 31. 10. 1999.

4. Ergebnisse

Ganz allgemein ist bei der Auswertung der Meßergebnisse zu beachten, dass die aus der Blockhalde ausströmende Luft eine weitgehend konstante Temperatur aufweist und normalerweise keinem Tagesgang unterliegt, während die Temperatur der in die Halde einströmenden Luft zwar einem gewissen Tagesgang unterliegt, aber bei weitem nicht mit der Außentemperatur identisch ist. Auf dem Weg bis zu den relativ weit in das Blockwerk versenkten Fühlern passt sich die Temperatur der einströmenden oder besser „einsickernden“ Luft so weit an die Gesteinstemperatur an, dass sich auffallende Differenzen zur Außentemperatur ergeben: An heißen Sommertagen kann die oben einsickernde Luft beim Meßfühler bereits bis 7 K kälter sein als die Außenluft, in Spätsommernächten aber auch bis zu 5 K wärmer. Umgekehrt wird die unten einströmende Luft in sehr kalten Winternächten um bis zu 4 K am stark durchlüfteten Loch SU-W bzw. sogar 8 K am schlecht durchlüfteten Loch SU-E mit seinem sehr tief eingesenkten Fühler erwärmt, an Tagen mit hoher Mittagwärme, insbesondere bei Umschwung zu mildem Wetter nach extrem kalten Wintertagen auch bis zu 10 K (SU-W) bzw. 12 K (SU-E) abgekühlt. „Erwärmung“ beim Einsickern oben bzw. „Abkühlung“ beim Einsickern unten ist aber nur bei außergewöhnlich schwachem Einströmen bzw. weitgehender Stagnation der Luftbewegung denkbar.

4.1 Die Durchströmung der Blockhalde

Bei der Durchströmung der Blockhalde hat man zwischen Tagen mit nur aufwärts gerichteter, solchen mit nur abwärts gerichteter Strömung und solchen mit tagesperiodischem Richtungswechsel (insbesondere in den Übergangsjahreszeiten mit hoher Tageschwankung der Außentemperatur) zu unterscheiden. Dazu kommen noch Phasen mit ausgesprochener Stagnation der Strömung, nicht nur beim Phasenwechsel, sondern wohl auch bei Situationen mit anhaltendem Temperatur- und Dichtegleichgewicht zwischen innen und außen, d.h. vor allem an Schlechtwettertagen in den Übergangsjahreszeiten.

Da diese Verhältnisse aus den Daten der Windregistrierung nicht herzuleiten sind, wurde versucht sie aus dem Temperaturverhalten an den jeweiligen Öffnungen zu ermitteln. Dabei bedeutet weitgehende Temperaturkonstanz Ausströmen oder wenigstens Stagnation, Temperaturschwankungen ähnlich jenen der Außenluft aber Einströmen, unabhängig von der Lage der Öffnungen. Zusätzlich kann durch Vergleich zwischen den oberen und unteren Öffnungen die Übereinstimmung kontrolliert werden, die aber nicht wirklich immer gegeben ist, und schließlich läßt sich einfach aus sehr hohen Tagesamplituden der Außenluft um das Niveau des wahrscheinlichen Mittelwertes der Innenluft auf tagesperiodischen Richtungswechsel schließen.

Die Methode der Temperatur-Tagesschwankungen an den Öffnungen läßt sich auch objektivieren, in dem man einen Grenzwert der Tagesschwankung (hier: 1 K) definiert. Problematisch sind dabei allerdings Tage mit schlechtwetterbedingt sehr kleinen Schwankungen der Außentemperatur, die beim Einströmen praktisch ganz verschwinden und solcherart irrtümlich Ausströmen signalisieren.

Bei einem Vergleich der nach beiden Methoden erzielten Ergebnisse erhält man im Jahresdurchschnitt bei 791 untersuchten Tagen vom 1. 9. 1997 bis 31. 10. 1999 vollkommene Übereinstimmung nur an knapp drei Vierteln aller Tage, eine nur teilweise, d.h. Gegensatz zwischen Ein- oder Ausströmen nach der einen und Richtungswechsel oder Stagnation nach der anderen Methode an einem Viertel aller Tage, wogegen nur zwei Tage (0,25%) vollkommen gegensätzlich eingeschätzt wurden. Die besten Übereinstimmungen waren im Sommer, zu verzeichnen, die schlechtesten in den Übergangsjahreszeiten. Die Ergebnisse beider Auswertungen werden in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tab.1: Häufigkeit der Strömungsrichtung nach Tagen innerhalb der Blockhalde des Toreisbodens vom 1. 9. 1997 bis 31. 10. 1999 in Prozenten. Auf = aufwärts gerichtet, W/St = tagesperiodischer Wechsel und Stagnation, Ab = abwärts gerichtet. S = subjektiv ermittelt, O = objektiv ermittelt, jeweils auf Grundlage der Öffnungen SU-E und SO-E mit SO-S (näheres im Text). Untere Zeilen: Häufigkeit der Übereinstimmung in Prozenten: GÜ = ganz übereinstimmend, TÜ = teilweise übereinstimmend

Percental frequency of the daily directions of the movement of the air in the interior of the "Toreisboden"-talus from 01091997 to 31101999. Auf = upward, W/St = change of the direction during the day and stagnation, Ab = downward. S = subjective estimation, O = objective calculation. Calculations based on the comparison of the situations at the lower opening SU-E with the situations at the upper openings SO-E and SO-S (detailed explanation in the text). Lower lines: Percental frequency of correspondence between the results obtained by the two different methods: GU = total correspondence, TÜ = partial correspondence.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
S-Auf	69	50	39	8	–	–	–	–	–	28	77	66	27
S-W/St	31	21	48	40	24	23	23	20	43	54	15	34	34
S-Ab	–	29	13	52	76	77	77	80	57	18	8	–	39
O-Auf	57	50	26	3	–	–	–	–	–	20	52	56	21
O-W/St	37	32	43	25	26	25	18	33	37	51	40	44	33
O-Ab	6	18	31	72	74	75	82	66	63	29	8	–	46
GÜ	71	68	58	73	89	83	92	85	78	63	65	73	75
TÜ	29	32	42	27	11	17	8	15	22	37	35	27	25

Demnach besteht zwischen den beiden Strömungsrichtungen ein zeitliches Ungleichgewicht, wobei abwärts gerichtete Strömung häufiger vorkommt als aufwärts gerichtete. Diese Asymmetrie ist nicht mit einer eventuellen Witterungsanomalie zu erklären, da der zu Grunde liegende Beobachtungszeitraum nur wenig wärmer war als der langjährige Durchschnitt, sondern ist offenbar das übliche Verhalten in unterkühlten Schutthalden.

4.2 Temperaturverhalten im unteren Bereich

Den Jahresgang der Temperatur an den beiden unteren Öffnungen zeigt die Abbildung 3. Es handelt sich dabei nur um jene Temperaturen, die an Tagen mit Ausströmen registriert wurden und darüber hinaus, d.h. vor allem im Winter um die sogenannte Milieutemperatur, d. h. jene, die sich nach etlichen Tagen mit Stagnation oder sogar Ausströmen einstellt. Dagegen hätte die Mitteilung der Temperatur der Tage mit Einströmen wenig Sinn, da solcherart ja nur die etwas modifizierte Außentemperatur, nicht aber die Temperatur des Innenmilieus erfasst würde.

So wurden z. B. am kältesten beobachteten Tag (1. 2. 1999) bei -20° Außentemperatur in beiden unteren Öffnungen noch -18° erreicht oder am 2. 2. 1998 bei -16° Außentemperatur noch -13 bis -14° . In beiden Fällen folgten auf diese kalten Witterungsphasen regelrechte Wärmewellen, (erkennbar am Gang der Außentemperaturen in Abb. 3) die recht bald zur Stagnation der Luftströmung führten. Dabei wurden am 7. 2. 1999 bei SU-W $-4,5^{\circ}$ und bei SU-E $-7,5^{\circ}$ erreicht, am 10. 2. 1998 entsprechend -5° und -7° . Diese Werte können als Milieutemperaturen gelten, die aber nicht wirklich den ganzen unteren Gesteinsbereich vollkommen durchdringen. Als durchgängige Gesteinstemperatur dürfen dagegen je nach Winterstrenge nur -2 bis -4° angenommen werden.

Es zeigt sich auch, dass die winterliche Abkühlung unten in mehreren „Schüben“ erfolgt, wobei im Winter 1997/98 sieben solcher Kältewellen aufgetreten sind, davon die erste bereits im Oktober mit Außentemperaturen bis $-10,5^{\circ}$, keine im Februar, aber noch zwei im März. Dabei betrug das Temperaturniveau bei SU-E vor Einsetzen der Schneeschmelze (Mitte März) nur -2° . Im Winter 1998/99 waren es acht Kältewellen, davon die erste im November mit -16° am 22. Und noch zwei im März, wobei das Temperaturniveau bei SU-E vor der Erwärmung durch das Schneeschmelzwasser etwa -4° erreichte. Es ist dabei zu beachten, dass die hier mitgeteilten Werte tatsächliche, als Halbstundenmittel erreichte Extremwerte sind, während in der Abb. 3 nur fünfjährig geglättete Tagesmittelwerte dargestellt werden, was die fehlende Übereinstimmung erklärt.

Die schon in Kapitel 2 angesprochene Erwärmung durch das einsickernde Schneeschmelzwasser ist das auffallendste Ereignis im Jahresgang der Temperatur und vollzieht sich tatsächlich in erstaunlich kurzer Zeit. So dauerte die Erwärmung bei SU-E 1998 von -5° auf 0° nur vom 28. März bis 8. April, also insgesamt nur 12 Tage, wobei die Maxima der Außentemperatur von 6° am 28. März über $9,5^{\circ}$ am 31. Bis $15,7^{\circ}$ am 4. April anstieg. Die Gleichgewichtstemperatur von $0,7$ bis $0,8^{\circ}$ wurde bereits am 12. April, also nur 16 Tage nach Beginn der Erwärmung erreicht und praktisch unverändert bis etwa 20. Juli, also über drei Monate beibehalten.

Ein Jahr später begann die Erwärmung bei SU-E ab einem Niveau von -4° am 25. März (Außentemperatur bis über 11°), erreichte 0° am 6. (13 Tage) und die Gleichgewichtstemperatur von $0,4^{\circ}$ am 11. April (18 Tage), welche sich wiederum bis 21. Juli so gut wie nicht veränderte. Auf eine rasante Erwärmung um $4,5$ bis $5,5$ K in nur zwei Wochen folgt jeweils ein dreimonatiger Zeitraum mit fast völliger Isothermie. Dieses Verhalten wurde ja schon weitgehend aus den Stichprobenmessungen erschlossen und durch die Dauerregistrierung eindrucksvoll bestätigt.

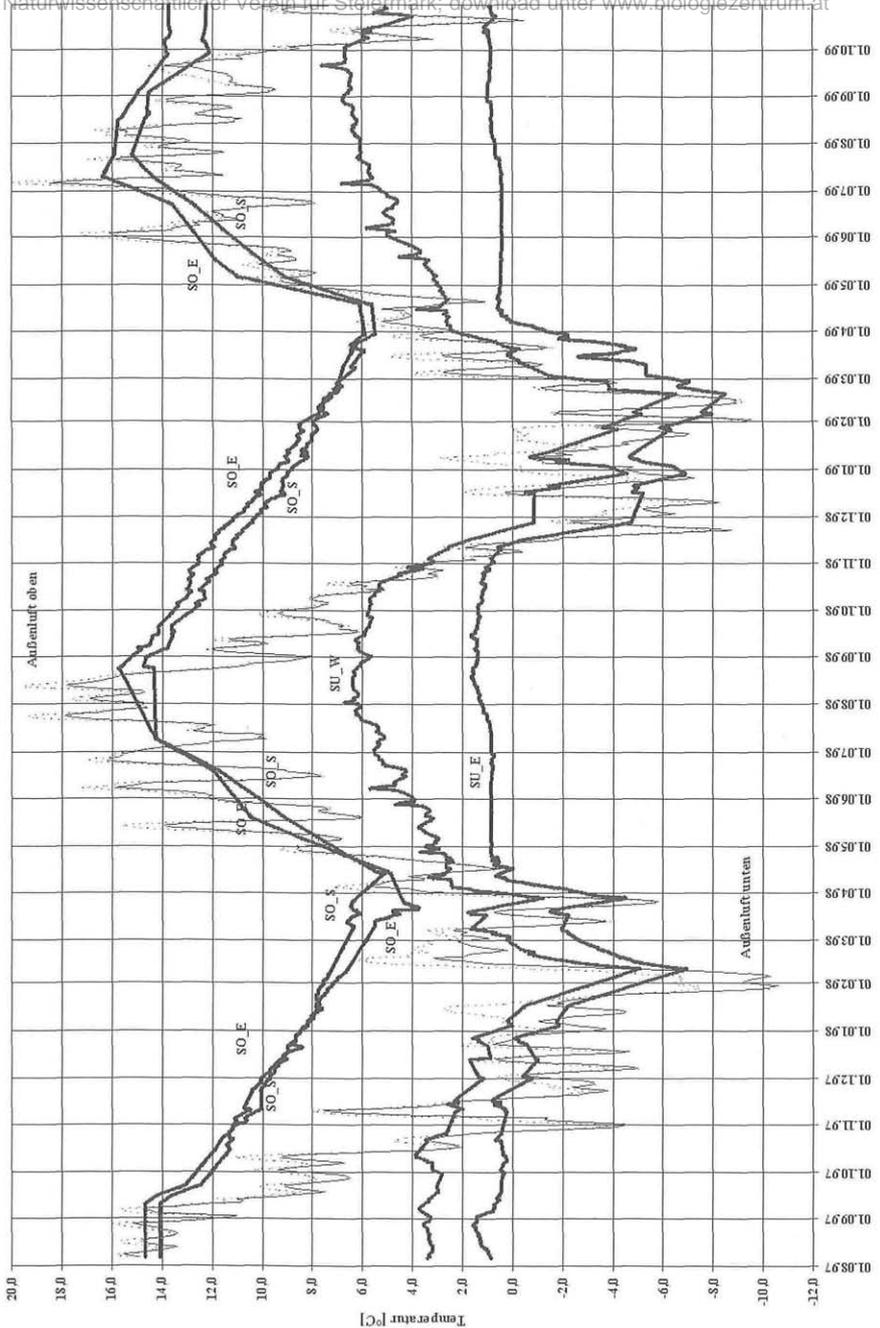


Abb. 3: Jahresgang der Temperatur an den unteren Öffnungen SU-E und SU-W, an den oberen Öffnungen SO-E und SO-S sowie der Außenluft-Temperatur oben und unten. Außenluft-Temperatur als 5-tägig übergreifendes Mittel.
 Annual course of the temperature of the air at the openings in the lower part of the talus SU-E and SU-W, at the openings in the upper part of the talus SO-E and SO-S and of the outside air in the upper and the lower part of the talus. Outside temperature smoothed by 5-day running means.

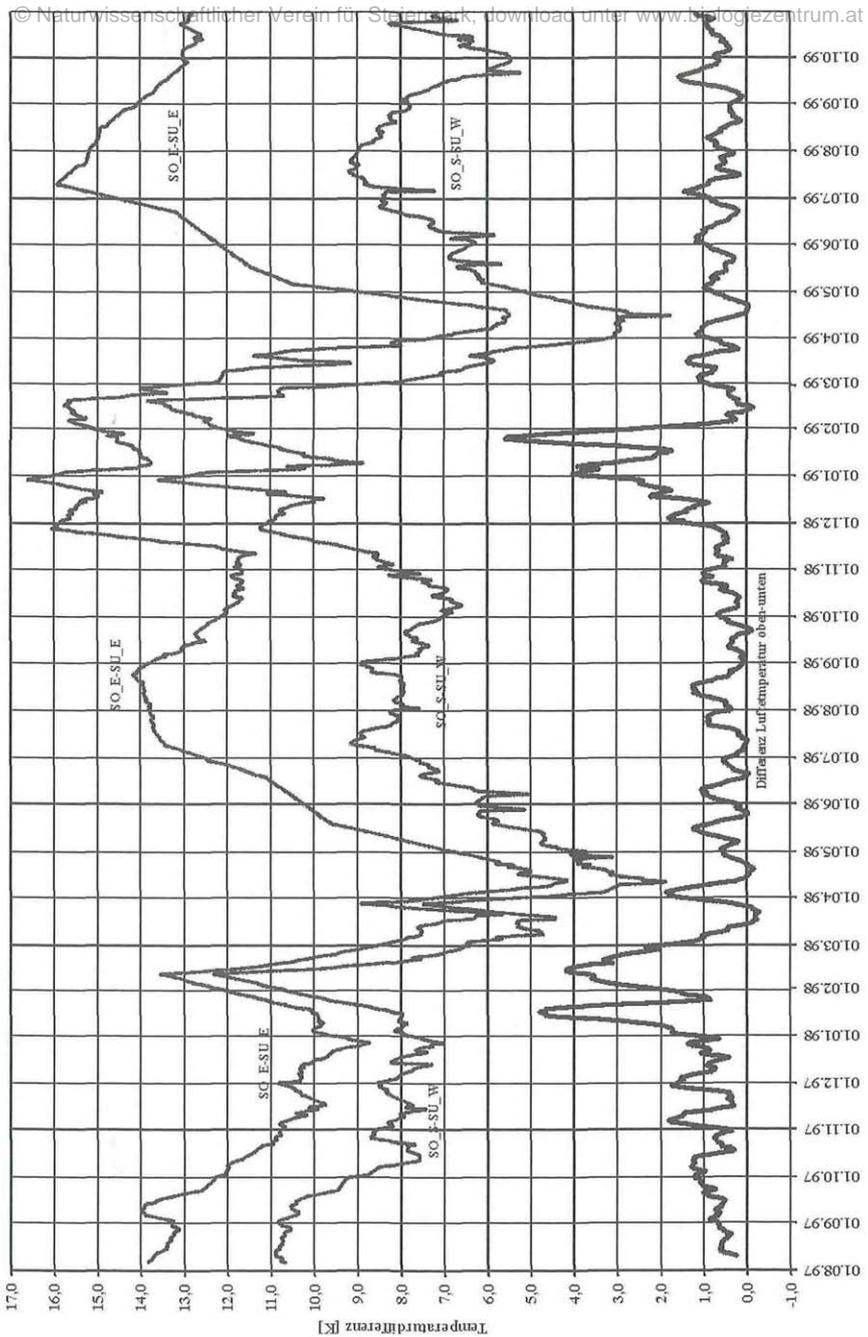


Abb. 4: Differenz der Milieutemperaturen zwischen den oberen und unteren Öffnungen SO-E und SU-E bzw. SO-S und SU-W sowie die Differenz zwischen der oberen und unteren Außenluft-Temperatur. Außenlufttemperatur-Differenz als 10-tägig übergreifendes Mittel. Difference of the milieu temperatures between upper and lower openings SO-E and SU-E as well as SO-S and SU-W and difference between the temperatures of the upper and lower outside air. Temperature of the outside air smoothed by 10-day running means.

Diese rasche Erwärmung wird durch das eklatante Verhältnis zwischen der beim Gefrieren frei werdenden latenten Wärme des Wassers und der spezifischen Wärmekapazität des Gesteins verständlich. Nimmt man für letztere „leihweise“ den Wert für Granit, so beträgt er ca. $2,14 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$, die latente Wärme des Wassers dagegen ca. $334 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$. Das ergibt ein Verhältnis von 1:156, oder mit anderen Worten: Ein cm^3 gefrierenden Wassers kann 156 cm^3 Gestein um 1 K erwärmen; bei der nötigen Erwärmung um 2 bis 4 K sind es immer noch 78 bis 39 cm^3 . Bei einer Schneehöhe von 50 bis 100 cm erhält man bei einer Dichte der Schneedecke von 0,3 bis 30 cm Schmelzwasser, welches beim Gefrieren eine Gesteinsschicht von 11,7 m auf Null Grad erwärmen kann, wenn man für die Erwärmung um 2 K (milder, schneearmer Winter) 15 cm Wasserhöhe, für eine Erwärmung um 4 K (strenger, schneereicher Winter) 30 cm Wasserhöhe einsetzt. In Anbetracht des (unbekannten) Hohlraumvolumens innerhalb der Blockhalde kann die tatsächliche Mächtigkeit der zu erwärmenden Schicht noch höher angenommen werden, wobei es sogar recht unwahrscheinlich ist, dass die Blockhalde in der Nähe ihres Fußes überhaupt diese Mächtigkeit erreicht. Die benötigte Schmelzleistung von etwa 3 bis 7 cm Schnee pro Tag innerhalb eines Zeitraums von gut zwei Wochen mit warmer Frühjahrswitterung ist gleichermaßen von realistischer Größenordnung. Die während dieser Phase mit beteiligte zirkulierende Luft ist für den Energiehaushalt nur von marginaler Bedeutung. Entscheidend bleibt die Energiezufuhr durch das Schneeschmelzwasser.

Während dieser Phase mit rascher Erwärmung ist auch, besonders im Jahr 1999, ein deutlicher Tagesgang der Temperatur (!) an den unteren Austrittsstellen bzw. ein stufenartiger Anstieg von Tag zu Tag festzustellen (aus der Abb. 3 wegen der Darstellung der Tagesmittel allerdings nicht abzulesen!), wobei die Tagesamplituden bzw. die Anstiege in der zweiten Tageshälfte üblicherweise Beträge von 0,5 bis 1 K erreichen (Maximalwert am 25. 3. 1999 1,5 K!). Diese während der Ausströmphasen ansonsten nie beobachtete Eigenheit ist wohl auf die tagesperiodisch stark wechselnde Schmelzwasserzufuhr zurückzuführen, die jeweils während ihres Maximums auch die stärkste Temperaturerhöhung bewirkt. In der zweiten Nachthälfte, wenn die Schmelzwasserzufuhr ihr Minimum erreicht oder überhaupt weitgehend unterbleibt kann die Milieutemperatur durch Wärmeleitung in das noch nicht so weit erwärmte Gestein sogar wieder etwas zurücksinken.

Nach dieser Phase erfolgt die weitere Energiezufuhr einerseits durch einsickerndes Regenwasser, andererseits durch die von oben nach unten durchströmende Luft, wobei die Energieabgabe an das kalte Gestein und insbesondere an das neuerlich zu schmelzende Eis sowohl durch die Abgabe fühlbarer Wärme der Luft, welche sich an den heißesten Sommertagen immerhin um über 28 K abkühlen kann, als auch durch die bei der Kondensation der Luftfeuchtigkeit frei werdende latente Wärme (ca. $2500 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3}$) erfolgt. Diese ist natürlich in den Hochsommermonaten und vor allem während warmfeuchter Witterungsphasen am effizientesten, wodurch es in den oberflächennäheren Teilen zur vollkommenen Eisabschmelzung und zur Erwärmung bis weit über den Nullpunkt kommt, belegt durch die Messungen bei SU-W (über 6°) oder Loch 3 (über 3,5°). Eine auch nur annähernde größenordnungsmäßige Abschätzung der dabei beteiligten Energieströme ist mit den verfügbaren Mitteln allerdings nicht möglich, zumal die Menge der zirkulierenden Luft praktisch nicht zu ermitteln ist.

Dagegen darf man im Bereich der Löcher 2 und 4 (Abb. 2) sowie besonders von SU-E durchaus perennierendes Eis in tieferen Schichten annehmen, da die Temperatur einerseits nur wenig über 1° ansteigt, andererseits auch nur geringen Schwankungen unterliegt, was als Konsequenz ihrer Steuerung durch schmelzendes Eis unabhängig von der Außentemperatur gesehen werden kann.

Im Gegensatz zu SU-E repräsentiert die Öffnung SU-W ein stark durchlüftetes, relativ oberflächennahes Hohlraumssystem, das sehr rasch auf Änderungen der Außentemperatur reagiert und dessen Temperatur in keiner längeren Phase von der Eisabschmelzung im Inneren gesteuert erscheint. Dort ist es durchwegs wärmer als bei SU-E und es erfolgen auch an Tagen mit starkem Wind, z. B. Föhnsturm, markante Störungen, wobei kurzfristig, d. h. innerhalb weniger Stunden Erwärmungen bis zu 8 K über die vorher gleichmäßige Ausströmtemperatur vorkommen können. Selbst als Tagesmittel sind diese „Ausreißer“ nach oben in der Abbildung 3 gut zu erkennen. Auffallendstes Ereignis war der Föhnsturm vom 6. und 7. November 1997 (Außentemperatur bis 17°), als die Temperatur bei SU-W von 0° am 5. bis 10° am Morgen des 7. anstieg. Bei SU-E stieg sie gleichzeitig nur von -2° auf 0°.

Diese positiven „Ausreißer“ sind auch mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten in der Öffnung selbst verbunden. Das in der Öffnung SU-W angebrachte Messgerät hat eine Ansprechempfindlichkeit von nur $0,3 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ und zeigte daher in den langen Perioden mit nur schwacher Durchströmung bzw. Stagnation keine Luftbewegung an. Andererseits wurden an Starkwindtagen kurzfristige Spitzenwerte bis $2,8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ registriert (7. 11. 1997). Wertet man alle Tage mit wenigstens $1 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ als stärkere außenbedingte Störungen, dann lassen sich zwischen 6. 8. 1997 und 31. 10. 1999 48 solcher Störungen feststellen, von denen allein 26 auf die Monate April bis Juni entfielen, während die drei Wintermonate davon frei blieben.

4.3 Temperaturverhalten im oberen Bereich

Der Temperaturgang an den oberen Öffnungen SO-E und SO-S wird ebenfalls in der Abbildung 3 dargestellt (die Öffnung SO-W ist offenbar so ungünstig platziert und so stark von Außenwirkungen beeinflusst, dass auf ihre Darstellung verzichtet wurde).

So wie bei den unteren Öffnungen wurde auch bei den oberen danach getrachtet, nur die tatsächliche „Milieutemperatur“ zu erfassen und nicht die Spitzenwerte an warmen Sommertagen bei einströmender Luft. Die höchsten Außentemperaturen wurden oben am 21. 7. 1998 mit 29,1° und am 5. 7. 1999 mit 29,3° als Halbstundenmittel erreicht, wobei gleichzeitig in SO-E 21,1 bzw. 25,8°, in SO-S 19,1 und 18,7° erreicht wurden. Als Milieutemperaturen wurden im Sommer nur solche anerkannt, an denen nach Kaltluft- bzw. Schlechtwettereinbrüchen bei anhaltender Stagnation und nach mehreren Tagen mit einer um 5 bis 6 K kälteren(!) Außentemperatur sich die Temperatur nach einer Phase verzögerten Absinkens einigermaßen einem konstanten Wert angenähert hat. In den Monaten April bis August der beiden Jahre 1998 und 1999 wurden solcherart für SO-E nur 17 Tage und für SO-S 18 Tage herangezogen, davon in den Monaten Mai bis Juli 1998 jeweils nur einer, was aber zur Darstellung des Jahresganges durchaus ausreichend war (in der Abb. 3 am gestreckten Verlauf der Temperaturlinie zwischen den weitabständigen Knicken in den beiden Sommern zu erkennen). Die herangezogenen Tage weichen zwischen SO-E und SO-S nur geringfügig ab.

Es zeigt sich dabei, dass die maximale Milieutemperatur nach anhaltenden Warmwetterperioden in den Monaten Juli oder August bei SO-E 16° und bei SO-S etwa 15° erreicht. Aber schon an den ersten Tagen mit anhaltend aufsteigendem Luftstrom (14.–18. 10. 97, 19.–21. 10. 98, 4.–8. 10. 99) sind es nur mehr 12–14° bei SO-E bzw. 11–12° bei SO-S.

Der auffallendste Unterschied im Temperaturverlauf zu den unteren Öffnungen ist aber jener, dass sowohl winterliche Abkühlung als auch sommerliche Erwärmung auffallend gleichmäßig erfolgen, wobei die Unstetigkeiten im Juni besonders im Jahr 1999 durch markante Kaltlufteinbrüche bedingt waren. Es gibt also keinerlei Modifi-

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
 kation des Temperaturganges durch Eisbildung, und bezogen auf die ausströmende Luft auch nicht durch kurzfristige Witterungsunterschiede (letzteres gilt auch für die unten ausströmende Luft). Die Jahresschwankung der Milieutemperatur beträgt oben bei SO-E 10,5 (1999) bis 12,0 K (1998), bei SO-S 9,7 (1999) bis 11,0 K (1998). Am Fuß der Halde, wo die Milieutemperatur im Winter schwerer zu erfassen ist, beträgt die Jahresschwankung dagegen nur 8–9 K. Die tiefsten Temperaturen werden oben jeweils an der Monatswende März/April mit etwa 4 (1998) bis 6° (1999) erreicht.

Der Jahresgang der Milieutemperatur oben verläuft außerdem ziemlich asymmetrisch, wobei die Zeit der Erwärmung nur vier bis fünf Monate gegenüber sieben bis acht Monaten mit Abkühlung dauert.

4.4 Gesamtsystem und Außentemperatur

Der Gang der in 2 m Höhe gemessenen Lufttemperatur wird ebenfalls in Abb. 3 dargestellt. Als besonders beachtenswert gelten dabei der abrupte Einbruch von Arktikluft Ende Oktober 1997, die föhnlige Erwärmung im darauffolgenden November sowie die ganz außergewöhnliche Warmphase im Februar 1998, die nicht nur das gesamte Wintermittel über den Normalwert hob, sondern auch einen markanten Anstieg der unteren Milieutemperatur bewirkte, wobei die winterliche Phase permanenten Aufwärtsströmens schon am 10. Februar von einer solchen mit überwiegendem Abwärtsströmen abgelöst wurde. Erst zwischen 8. und 26. März stellte sich die nächste Phase mit überwiegendem Aufwärtsströmen ein.

Markant sind auch die Rhythmik des Temperaturganges in den beiden Sommern mit ihrem Wechsel zwischen Wärme- und Kältewellen sowie die Perioden mit auffallenden Inversionen in den beiden Wintern während antizyklonaler Witterungsabschnitte unabhängig vom jeweiligen Temperaturniveau. Die Inversionsbeträge erreichen als Tagesmittel Höchstwerte bis über 8 K (6. 1. 1998), als mehrtägige Periodenmittel 3 bis 6 K (Abb.4), wobei die Inversionsstärke praktisch keinem Tagesgang unterliegt, zumal die Tagesschwankung im oberen Haldenbereich eher größer ist als im unteren.

Die monatlichen Durchschnittswerte der Lufttemperatur werden in Tabelle 2 mitgeteilt.

Tab. 2: Monatliche Durchschnittswerte der Außenluft-Temperaturen von November 1997 bis Oktober 1999.

Monthly mean temperatures of the outside air from November 1997 to October 1999.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
oben	-1,4	-1,4	0,9	5,1	10,4	12,9	14,4	14,0	10,6	6,0	-0,1	-1,7	5,8
unten	-4,3	-3,2	-0,2	4,7	9,9	12,3	13,9	13,4	10,0	5,3	-1,0	-3,2	4,8

Auffallend ist, dass der obere Haldenbereich im Sinne der „warmen Hangzone“ durchwegs wärmer bleibt als der untere und dieser Vorsprung selbst im Jahresmittel noch 1 K beträgt. Trotz des nur zweijährigen Beobachtungszeitraums ist der Jahresgang schon recht ausgeglichen, und kaum durch störende Abweichungen geprägt. Gegenüber langjährigen Mittelwerten muss allerdings eine positive Abweichung angenommen werden. Bei Einbeziehung der Monate September und Oktober 1997 bleibt die mittlere Temperatur im September gleich, während sie im Oktober um 0,6 bis 0,7 K kälter wird.

Nach einer Überlegung von Bock (1913: 129) müssten bei einem „Windröhrensystem“ mit entsprechend langen Wegstrecken die oberen Öffnungen das Temperaturmittel „aller warmen Tage“, d. h. sinngemäß aller Zeitabschnitte mit oberem Einstrom-

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
men, die unteren Öffnungen dagegen jenes „aller kalten Tage“, d. h. entsprechend solcher mit unterem Einströmen aufweisen. Im Bereich des Toteisbodens beträgt die mittlere Lufttemperatur aller Tage an denen sie über dem Jahresmittel liegt oben 11,7°, unten 11,0°, jene der Tage an denen sie unter dem Jahresmittel liegt oben -0,4° und unten -1,8°. Damit ergibt sich eine Differenz von 11,3 K oben bzw. 12,8 K unten zwischen den beiden Durchschnitten.

Die mittlere Milieutemperatur an den oberen Öffnungen beträgt entsprechend den ausgewählten Terminen bzw. aufgrund einer Berechnung mittels Interpolation 10,9° bei SO-E bzw. 10,3° bei SO-S und liegt damit um 0,8 bis 1,4 K unter dem Mittel der Lufttemperatur aller wärmeren Tage, wohl weil in den jeweiligen Sommern zu viele wärmere Situationen nicht als echte Milieutemperaturen anerkannt wurden. Die mittlere Milieutemperatur unten beträgt bei SU-E -0,9° und liegt damit um 0,9 K über dem Mittel der Lufttemperatur aller kälteren Tage. Auch hier ist die Abweichung durch das Weglassen zahlreicher sehr kalter Einzelwerte erklärbar, die nicht mehr als Milieutemperaturen anerkannt wurden.

Jedenfalls erscheint die Bock'sche Überlegung doch weitgehend erfüllt, wenn gleich von einer konstanten Temperatur an den jeweiligen Öffnungen, welche dieser Überlegung offenbar zu Grunde liegt, keine Rede sein kann, wo doch Jahresschwankungen von 8–11 K registriert werden.

Zur besseren Übersicht werden die Jahresgänge der Differenzen der Milieutemperaturen zwischen der oberen Öffnung SO-E und der unteren Öffnungen SU-E bzw. SO-S und SU-W in Abbildung 4 dargestellt. Hier geht es weniger um die tatsächlichen Beträge der Abkühlung bzw. Erwärmung der durch die Blockhalde zirkulierenden Luft als um die Darstellung der jahreszeitlichen Unterschiede. Wie schon aus Abb. 3 abzuschätzen sind die geringsten Differenzen unmittelbar nach der unteren Erwärmung durch das Schneeschmelzwasser auf knapp über Null Grad zu erwarten, während die Temperatur oben gerade ihr Minimum erreicht. Bezogen auf SO-E und SU-E sind es 4 bis 5,5 K. Ab diesem Zeitpunkt nimmt die Differenz ununterbrochen zu, da die Milieutemperatur oben zunimmt, unten aber wegen der Steuerung durch das Eis unverändert bleibt. So wird ein erstes sommerliches Maximum Ende August (1998) bzw. Mitte Juli (1999) mit 14 bis 16 K erreicht.

In der Folge nehmen die Differenzen wegen der rascheren Abkühlung oben bis zum Frühwinter wieder ab, aber nach Einsetzen der Frostperiode erreichen sie im Hochwinter ihr zweites Maximum, wenn die beschleunigte Abkühlung unten der oberen vorausseilt. Die Differenzen zu SU-W sind zwar prinzipiell ähnlich, aber wegen der starken „Außenbeeinflussung“ der Temperaturen bei SU-W bezüglich der typischen Milieutemperaturen wenig aussagekräftig.

Was die Änderung der Temperatur der durchströmenden Luft im System selbst anlangt, so ergibt sich als größte Abkühlung, verstanden als Differenz zwischen der Außenluft-Temperatur oben und der Ausströmtemperatur bei SU-E unten ein Wert von 28 K am 21. 7. 1998 bzw. 28,8 K am 5. 7. 1999. Die größte Erwärmung der Luft auf dem Weg nach oben, verstanden als Differenz zwischen der Außenluft-Temperatur unten und der Ausströmtemperatur oben hat mit 28,2 bis 28,5 K praktisch den selben Betrag.

In der Abbildung 4 sind auch die 10tägig geglätteten Differenzen der Außenluft-Temperatur zwischen oben und unten dargestellt. Abgesehen von den erwarteten und beschriebenen Inversionssituationen im Hochwinter ist es auch in den übrigen Jahreszeiten meist im oberen Haldenbereich wärmer. Die auffallende Rhythmik wird insofern vom Witterungsablauf gesteuert, als geringe Differenzen bzw. niedrigere Temperaturen oben durch zyklonale, wolken- und windreiche Witterungsphasen verursacht werden, während die Abschnitte mit deutlich wärmeren Temperaturen oben auf antizyklonales

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
Wetter zurückgehen, bei welchem die nächtlich-morgendlichen Inversionen auch die Tagesdurchschnitte im unteren Bereich im Durchschnitt um 1 K (in Einzelfällen meist um 2 K) unter die Temperaturen der „warmen Hangzone“ drücken.

Literatur

- BOCK H. 1913: Mathematisch-physikalische Untersuchung der Eishöhlen und Windröhren. In: Höhlen im Dachstein von H. Bock et al., Graz, 102–147.
- CANAVAL R. 1893: Ein Eiskeller in den Karawanken. Carinthia II 83, 178–180.
- FRANEK W. 1995: Kondenswassermoore im Naturpark Sölkäler – eine ökologische Rarität. 106. Naturschutzbrief 2/95. Graz, 15–16.
- FURRER E. 1966: Kümmerfichtenbestände und Kaltluftströme in den Alpen der Ost- und Innerschweiz. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 117, 720–733.
- PFAFF W. 1933: Die Eislöcher in Überetsch. Ihre Vegetationsverhältnisse und ihre Flora. Schlern-Schriften 24, 1–72.
- SCHAEFTLEIN H. 1962: Ein eigenartiges Hochmoor in den Schladminger Tauern. Mitt. Naturwiss. Verein Steiermark 92, 104–119.
- STEINER G. M. et al. 1992: Österreichischer Moorschutzkatalog⁴. Wien 1–509.
- WAKONIGG H. 1996: Unterkühlte Schutthalden. In: Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich. Arb. Aus d. Inst. f. Geogr. d. Univ. Graz 33, 209–223.
- WAKONIGG H. 1998: Neue Beobachtungen an unterkühlten Schutthalden. Mitt. d. Österr. Geogr. Gesellsch. 140, 115–130.