

Die unterkühlte Blockschutthalde beim Pflüglhof im Maltatal

Ergebnisse von Temperatur-Dauerregistrierungen von April 2001 bis Mai 2004

Von Herwig WAKONIGG

Zusammenfassung:

Es werden die Ergebnisse einer Temperatur- und Wind-Dauerregistrierung vom April 2001 bis zum Jahresende 2004 im Bereich der unterkühlten Schutthalde beim Pflüglhof im Maltatal dargestellt, dazu wird der Mechanismus der Unterkühlung beschrieben und mit den Messergebnissen in Übereinstimmung gebracht.

Im Winter kommt es durch die unten einströmende Kaltluft zur Abkühlung des unteren Bereichs der Schutthalde bis deutlich unter den Gefrierpunkt. Im Frühjahr bildet sich dann Eis aus Schneeschmelz- und Regenwasser im Inneren der Schutthalde, wobei gleichzeitig die Temperatur durch die dabei frei gesetzte latente Wärme bis auf das Niveau des Schmelzpunktes ansteigt.

In der Folge kommt es bei abströmender Luftbewegung im Inneren der Blockhalde zum allmählichen Eisabbau bei einem recht konstanten Temperaturniveau im Bereich des Schmelzpunktes und nach Abschmelzen des Eises zu langsamer Erwärmung bis zum Herbst, in dem das Einströmen von Kaltluft erneut einsetzt und den unteren Bereich der Blockhalde wieder abkühlt.

Die Existenz von dem Sommer überdauerndem Eis ist am untersuchten Standort wenigstens in den oberflächennahen Teilen der Blockschutthalde auszuschließen.

Summary:

Results of temperature-monitoring at hyperthermia talus near the „Pflüglhof“ in the Malta Valley (Carinthia / Austria).

The above mentioned hyperthermia talus is one of the typical examples in the Eastern Alps. 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. At the same time as a result, fresh cold air enters at the corresponding holes in the lower part of the talus, thus cooling a good part of the rocky interior, usually several degrees below 0°C. During the period in which the snow melts on the surface, ice is formed in the interior from the infiltrating melted snow or rainwater as long as the temperature remains below 0°C. At the same time, as a result of this process, the interior becomes warmer at least to melting-point, due to the release of latent heat.

Following periods of 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 downward-moving air to the rocky surroundings and the ice in the lower parts by means of sensible and latent heat, thus warming the interior and melting the ice, and due to this process the temperature comes close to the melting-point as long as ice exists in the interior. Finally, after all the ice melts, the temperature of the air exuded at the lower openings rises to a few

Schlagworte:

Unterkühlte Schutthalde, Pflüglhof, Maltatal, Windröhrensystem, Bodeneis.

Keywords:

Hyperthermia Talus, Pflüglhof, Malta Valley, chimney effect, ground-ice.

degrees above 0°C. In some special locations of hyperthermia talus, ice exists evidently throughout the year.

These fundamental features of the mechanism of the development of hyperthermia talus were pointed out in 1996 in an earlier paper by the author. The present paper deals with the results of temperature-monitoring during three years at two openings (crevices) in the upper part, and three corresponding holes in the lower part of the talus, accompanied by a measurement of outside-temperature at the top of the talus and its foot as well. In addition, the wind-speed of the exuding air at one of the holes at the base of the talus was measured.

The results of the entire measurement confirm the above-mentioned theory of the mechanism of hyperthermia talus perfectly, but also differ a little from the above mentioned process. During winter the interior at the base of the talus near the openings is cooled to temperatures close to -7°C, but it can be estimated, that the deeper interior, for example the solid rocks in a greater distance from the openings cannot be cooled to more than -2 to -4°C by the end of winter. The warming to the point of melting takes place around the beginning of March to the mid of April. Unfortunately all three winters within the observation-period were characterized by an extraordinary lack of snow fall and snow cover, so that the rise of temperature up to the point of melting was not triggered by snow melt, but by the sequence of warm weather periods resp. by infiltrating rainwater and occurred in several separated periods instead of one clearly defined short and sharp leap.

On the other hand, the following period of ice-melting and isotherm temperature-development was comparatively short and not typically developed in all three years, due to the extremely warm weather periods and the remarkably strong air flow through the talus. Besides, at least two occurrences of heavy rain produced two remarkable steps of temperature raise up to 2 K within three days. The total warming of the exuding air reaches temperatures between 5,5 and 8°C, depending on local circumstances and the year by year differing influence of weather.

The temperature of the exuding air at the upper parts of the talus drops from 12 – 15°C in the late summer to 7 – 9°C at the beginning of April. Thus, the differences between the temperatures at the upper and lower openings vary between 7 K and 16 K. The maximum value of the actual warming of the air as it moves up through the talus on extraordinarily cold days in the winter reaches 27 K. Conversely, the cooling of the air along its way down through the talus on extraordinarily warm days in the summer reaches with 26 K nearly the same value.

Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die unterkühlte Blockschutthalde beim Pflüghof im Maltal ist ein typisches Beispiel für dieses mehrfach beschriebene Phänomen (siehe Literaturverzeichnis) und neben dem Vorkommen in der „Matzen“ südlich von Klagenfurt (CANAVAL 1893, GRESSEL 1962, SCHINDLER et al. 1976, WAKONIGG 1996: 211 f) wohl eines der am besten ausgeprägten in Kärnten. Eine wissenschaftliche Beschreibung dieses Standortes fehlt bislang allerdings.

Die Schutthalde befindet sich am Fuß des vom Höhenock (2124 m) gegen ESE herabziehenden Auslaufrückens, etwa 1 km Tal einwärts des Namen gebenden Hotels Pflüghof am rechten Ufer der Malta, etwa 100 m von dieser entfernt. Die Koordinaten des Haldenfußes sind: $\varphi = 46^{\circ}59'28''$, $\lambda = 13^{\circ}27'10''$. Die nordostexponierte Halde besteht aus auffallend großen Blöcken aus Zentralgneis des Ankogel-Hochalm-Kerns des Tauernfensters mit maximalen Durchmessern im Meterbereich und darüber und erstreckt sich vom Haldenfuß in rund 890 m etwa 100 Höhenmeter Hang aufwärts. Nach oben wird die Halde durch eine etwa

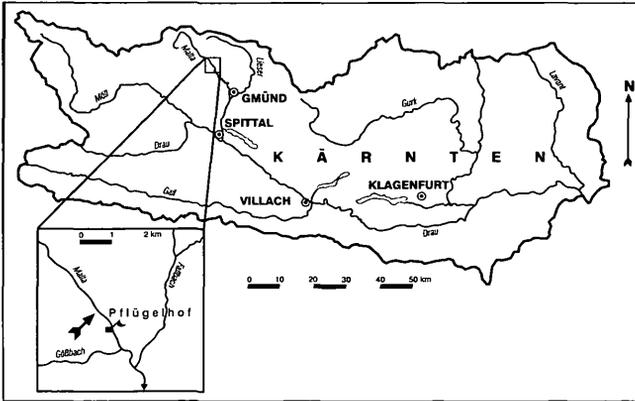


Abb. 1:
Lage des
Untersuchungsgebietes.

100 m hohe Felswand begrenzt; der darüber liegende Hang zieht sich mit einer Neigung von 40 bis maximal 50 Grad wenigstens noch 600 m aufwärts, bevor er in die weniger steilen Bereiche des Kammes übergeht.

Die Halde ist von wenig dichtem, hochstämmigem Fichtenwald bewachsen, welcher sich nach oben mehr und mehr lichtet und schließlich zu einem offenen Baumbestand aus Bergahorn, Eberesche, Grauerle, Espe, Bergulme und Hasel wird, wobei im obersten Teil der Halde die Fichte fehlt. Im Fußbereich der Halde besteht der Unterwuchs neben Schwarz- und Preiselbeeren vor allem aus verschiedenen Moosen, welche die Felsblöcke in dicken Kissen bedecken, wobei allerdings *Sphagnum* fehlt. Die Halde erfüllt daher in ihrer kalten Fußzone nicht die strengen Kriterien eines Moores nach der biologischen Definition.

Unterkühlte Schutthalden wurden vielerorts als natürliche Kühlsysteme zum Frischhalten von Lebensmitteln benutzt, wobei man die natürliche Wirkung meist durch zusätzliche Einbauten verstärkt bzw. gesteuert hat, wovon noch etliche „Kühlkeller“ zeugen, die aber durchwegs verfallen oder wenigstens außer Funktion sind. Dagegen wird die natürliche Kühlwirkung der Schutthalde am Pflügelhof nach wie vor seitens einer nahe gelegenen Baumschule genutzt, wobei im Frühjahr in der kalten Fußzone der Halde große Mengen an jungen Fichten- und Lärchenbäumchen gelagert werden, um deren Austreiben vor dem endgültigen Verpflanzen hintanzuhalten. Zur Erhöhung der Kühlwirkung wurde unmittelbar am Haldenfuß sogar eine etwa zwei Meter hohe und einige Meter lange Bretterwand errichtet, hinter welcher sich die aus der Blockhalde austretende Kaltluft staut und wo auch die meisten Bäumchen gelagert werden.

Bei windschwachem Wetter beeinflusst die austretende Kaltluft auch noch das dem Haldenfuß vorgelagerte, leicht muldenförmige, mit Gras bewachsene Gelände, wo sich an warmen Sommertagen mitunter sogar das Weidevieh einfindet, um seinerseits an der angenehmen Kühlwirkung teilzuhaben.

Der entscheidende Unterschied zu den anderen in Österreich beschriebenen Vorkommen von unterkühlten Schutthalden (Wakonigg 1996, 1998, 2001) ist die Grobblockigkeit und damit gute Wegsamkeit für den die thermischen Eigenheiten solcher Blockhalden erzeugenden Luftstrom. Diese starke Ventilation lässt aber auch vergleichsweise größere Jahresschwankungen der Temperatur des Haldeninneren erwarten und solcherart auch ein weitgehendes Abschmelzen des Eises im Laufe des Sommers, wenigstens in den oberflächennahen bzw. von außen sichtbaren Teilen.



Abb. 2:
Fuß der unterkühlten Blockhalde
mit Bretterverschlag. 01.05.2000.
Foto: H. Wakonigg

Etwa 300 Meter talauswärts, knapp vor der Stelle, an welcher der schrofige Steilhang unmittelbar an das Ufer der Malta heranreicht, ist eine weitere unterkühlte Schutthalde entwickelt, an deren Fuß noch stark verfallene Reste alter Grundmauern, offenbar von ehemaligen Kühlkellern, zu erkennen sind.

Zum Mechanismus der Unterkühlung

Der Mechanismus der Unterkühlung, d. h. der Entstehung von Temperaturen innerhalb eines Schuttkörpers beträchtlich unter dem Jahresnormalwert der Lufttemperatur der unmittelbaren Umgebung, wurde bei Wakonigg (1996: 217 f) beschrieben und wird hier zusammenfassend wiedergegeben.

Entscheidend ist ein „Windröhrensystem“, d. h. die Wegsamkeit des Haldeninneren für eine Luftzirkulation, welche je nach Temperaturdifferenz zur Außenluft entweder aufsteigend (Winter- bzw. Nachtsituation) oder absteigend (Sommer bzw. Situation tagsüber) erfolgt. Dabei wird die Fußzone der Halde durch die einströmende Kaltluft im Winter abgekühlt, während die oberen Haldenbereiche durch die einströmende Warmluft im Sommer erwärmt werden.

Üblicherweise erfolgt die winterliche Abkühlung im unteren Bereich bis deutlich unter den Gefrierpunkt, wodurch es im Frühjahr durch einsickerndes Schneeschmelz- und Regenwasser zur Bildung von Eis im Inneren der Blockhalde und gleichzeitig durch das Freiwerden von latenter Wärme zu einem Anstieg der Temperatur bis zum Schmelzpunkt kommt. Dieser Vorgang dauert in der Regel nur wenige Wochen. In der Folge kommt es durch die von oben nach unten die Blockhalde durchströmende Luft zur Zufuhr von Energie durch fühlbare und latente Wärme (Kondensation der Luftfeuchtigkeit am kalten Gestein und Eis) und dadurch zur Abschmelzung des Eises.

Solange noch Eis im Inneren der Blockhalde vorhanden ist, bleibt die Temperatur des Systems und damit auch jene der ausströmenden Kaltluft nahe dem Nullpunkt und steigt erst nach völliger Eisabschmelzung auf höhere Werte. Gegenüber dem raschen Temperaturanstieg während der Eisbildung dauert die Phase der Eisabschmelzung und weitgehenden Temperaturkonstanz wesentlich länger, d. h. einige Monate und kann sogar bei den Sommer überdauerndem Eis (z. B. im Falle der Matzen) bis zum folgenden Herbst anhalten, in dem die neuerliche Abkühlung beginnt.

Solcherart bewirkt absteigende Luftströmung im Inneren der Blockhalde grundsätzlich Zufuhr von Energie, Eisabschmelzung, Erwärmung und meist auch Kondensation von Luftfeuchtigkeit, während aufsteigende Luftströmung immer Entzug von Energie, Abkühlung und meist auch Verdunstung von Gesteinsfeuchte bewirkt. Die unten ausströmende Kaltluft zeigt also keineswegs an, dass irgendwo im Inneren „Kälte erzeugt“ wird.

Diese Vorgänge wurden bis in die Gegenwart meist grob missverständlich bis vollkommen widersinnig gedeutet und beschrieben, wobei vor allem sommerliche Verdunstung, Eisbildung und Abkühlung beschworen wurden, obwohl diese nie beobachtet worden sind und auch nicht beobachtet werden können (Zitate bei WAKONIGG 1996: 214 ff, 2001: 43 f). Auch bei MÖSELER und WUNDER (1999: 45) werden noch sommerliche Abkühlung durch Verdunstung und „Verdunstungskälte“ genannt und noch bei RIST (2002: 8 f) wird – im Widerspruch zum tatsächlichen Vorgang – von einem Absinken des Dampfdruckes der einströmenden Kaltluft gesprochen.

Die prinzipielle Richtigkeit des beschriebenen Mechanismus wird auch durch verschiedene Messungen und Darstellungen bestätigt (z. B. bei WAKONIGG 1998:123, Abb. 1; 126, Abb. 2 und 2001: 45, Abb. 2; 50, Abb. 3). Auch die Abbildung bei MÜLLER und MOLEND (1999: 114, Abb.2) steht damit in Übereinstimmung. Ansonsten wird der Mechanismus nur bei GUDE et al. (2003) gleichsinnig beschrieben, wenn auch nicht konsequent zu einer Theorie ausformuliert. Auch die dort beigegebene Abbildung deckt sich in ihrer Aussage bestens mit jener der oben zitierten Abbildungen bzw. bestätigt den beschriebenen Mechanismus.

Nicht eindeutig geklärt ist die Frage der Konfiguration des von der Luft durchströmten Hohlraumsystems, wobei vom Verfasser als Voraussetzung für die Funktion des Windröhrensystems die oberflächliche Abdichtung der Blockhalde zwischen den unteren und oberen Luftaustausch-Öffnungen als nötig erachtet wurde (WAKONIGG 1996: 211), was von RIST (2002: 39) nicht bestätigt werden konnte. Auch bei MOLEND (1996: 13) zeigt der schematische Querschnitt durch eine Schutthalde mit Windröhrensystem Luftzu- bzw. austritte im Mittelteil der Halde. Andererseits konnten an den beiden am besten bekannten Beispielen („Toteisboden“ bei Schladming und „Pflüghof“) im mittleren Haldenbereich durchwegs keinerlei Öffnungen mit erkennbarem Luftaustausch bzw. schneefreie Flächen im Winter als Beleg für den Austritt von wärmerer Luft beobachtet werden.

Unbestritten ist aber die Notwendigkeit, dass auch in schneereichen Wintern die unteren Einströmöffnungen nicht zugeschneit werden und für die einströmende Luft zugänglich bleiben (WAKONIGG 1996: 219 f, GUDE et al. 2003), was im Falle von besonders grobem Blockwerk – wie eben beim Pflüghof – selbst bei hoher Schneelage gewährleistet ist. Zwar bilden sich dann auf den Felsblöcken beachtliche Schneehauben, doch verbleiben jeweils reichlich schneefreie Öffnungen, insbesondere unter schräg einwärts geneigten Flanken der Blöcke.

Ergebnisse von Stichprobenmessungen

An der Schutthalde am Pflüghof wurden schon vor bzw. auch nach der automatischen Temperaturregistrierung einige Stichprobenmessungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit einem Aßmann'schen Aspirationspsychrometer vorgenommen, durch welche vor allem die Eignung des Standortes für eine Langfrist-Beobachtung bzw. die volle Funktion des Windröhrensystems bestätigt werden konnte. Die Stichprobenmessungen erfolgten am 19.08. und 07.10.1999, 06.01. und 01.05.2000, 07.04.2001, 22.01.2005 und zuletzt noch am 21.01.2006.



Abb. 3:
Eisbildungen in einer der unteren Öffnungen. 1. 5. 2000.
Foto: H. Wakonigg



Abb. 4:
Eisbildungen in einer der unteren
Öffnungen. 01.05.2000.
Foto: H. Wakonigg

Die Messungen am 19.08.1999 erfolgten zu Mittag bei relativ warmer Sommerwitterung und ergaben in neutraler Umgebung im Wald eine Temperatur von 18,0°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 94%, was bei einem Dampfdruck von 19,9 hPa sogar leichte Schwüle bedeutet. In der Freifläche vor dem Bretterverschlag wurden nur noch 10,0°C und 90%, innerhalb des Verschlags sogar nur 5,5°C und 94% gemessen.

Die aus dem Schuttkörper austretende Luft hatte an drei Stellen Temperaturen von 3,1, 3,2 und 3,3°C, wobei die Austrittsstelle mit der Temperatur von 3,2°C zum Messpunkt „MU2“ der Dauerregistrierung wurde. An zwei tieferen Stellen wurden sogar nur 1,8 und 1,9°C gemessen, was die Existenz von Rest-Eis in tieferen Lagen durchaus wahrscheinlich macht und an einer etwa fünf Meter

höher gelegenen Stelle mit besonders auffallendem Kaltluftaustritt („MU3“) 2,1°C. In allen Fällen waren die Werte am trockenen und feuchten Thermometer identisch, wodurch sich neuerlich bestätigte, dass die austretende Kaltluft praktisch immer feuchtigkeitsgesättigt ist. Dadurch erübrigt sich nicht nur die Mitteilung der Feuchtigkeitswerte, sondern auch deren Registrierung durch das Messprogramm.

Bei der zweiten Messung am 07.10.1999 unter herbstlichem Schönwetter am späten Vormittag herrschte bei einer Außentemperatur von 7°C Stagnation, d. h. bei thermischem Gleichgewicht zwischen Innenbereich und Außenluft war die Durchlüftung zum Erliegen gekommen und der einzige gemessene Wert von 2,5°C hat kaum Aussagekraft.

Der Besuch am 06.01.2000 wurde bei klarem Winterwetter mit markanter Temperaturinversion durchgeführt, wobei die Außentemperatur vor Sonnenaufgang unmittelbar Tal einwärts von Gmünd -14°C, beim Pflüghof -9°C bis -11°C, und im Umkreis der oberen Öffnungen um 8:30 Uhr -0,7°C betrug. Am Fuß der Halde wurden um 11:00 Uhr nach dem lokalen Sonnenuntergang -5,7°C registriert (Sonnenaufgang im oberen Haldenbereich war um 8:45 Uhr, Sonnenuntergang um 9:35 Uhr).

Dieser Besuch galt der Auffindung der oberen Austrittsstellen, welche schließlich etwa 75 bis 80 Meter über dem Haldenfuß angetroffen wurden. Bei bescheidener Schneelage und weitgehender Schneefreiheit unter dichterem Fichtenkronen waren die Austrittsstellen auch nicht durch auffallende Schneefreiheit innerhalb einer geschlossenen Schneedecke zu erkennen, zumal sie sich im Gegensatz zu den unteren Austrittsstellen auch nicht als markante Öffnungen präsentierten, sondern nur als „zufällige Stellen“ innerhalb des unregelmäßigen Schuttes.

Trotzdem wurden mehrere Austrittsstellen entdeckt und Temperaturen von 5,2, 6,2, 7,8 („MO2“), 9,4, 9,8, 10,2 und 10,2°C („MO3“) gemessen. Damit lagen die Werte in derselben Größenordnung wie am „Toteisboden“ bei Schladming.

Die Messungen am 01.05.2000 sollten die Situation mit reichlich Eis innerhalb des Blockwerks und sicherem Austritt von Kaltluft erfassen. Bei 12,7°C und 73%RF in der Außenluft wurden am Vormittag bei MU3 0,4°C, bei MU2 0,1°C und an einer neuen Stelle (MU4) -0,5°C gemessen. Innerhalb der Luftaustrittsstellen gab es reichlich Eis in Form von Eiszapfen und Eiskrusten, dazu noch etliche Schneereste im Umkreis der Austrittsstellen bzw. überhaupt im unteren

Haldenbereich. Zu Mittag wurden noch an drei Stellen bei den oben erwähnten verfallenen Grundmauern 2,5, 1,5 und 0,5°C gemessen, aber nur mehr ganz bescheidene Reste von Eis angetroffen.

Die nächsten Messungen wurden im Zuge des Aufbaus der Messeinrichtungen für die Dauerregistrierung am 07.04.2001 bei regnerischem Wetter vorgenommen und ergaben am Vormittag 5,3°C Außentemperatur, 3,2°C am „Vorplatz“ und 1,3°C im Verschlag. Bei MU3 wurden 0,0°C und bei MU2 und MU4 -0,5°C gemessen, an einer anderen Stelle -0,6°C. Die oben genannten zwei Öffnungen mit den kältesten Temperaturen im August 1999 konnten nicht für die Dauerregistrierung herangezogen werden, da sie noch zu tief von Schnee bedeckt bzw. durch ganze Stapel von gelagerten jungen Bäumchen verdeckt waren.

Die nächste Stichprobenmessung am frühen Nachmittag des 22.01.2005 ergab an den oberen Öffnungen bei einer Außentemperatur von -0,3°C und 51%RF 8,0°C bei MO2 und 10,6°C bei MO3. Schließlich wurden am 21.01.2006 bei hoher Schneelage, leichtem Nordföhn und 4,4°C Außentemperatur bei MO3 9,3°C gemessen. Alle gemessenen bzw. mitgeteilten Temperaturen passen widerspruchslös in die Vorstellung des Mechanismus einer unterkühlten Schutthalde.

Ergebnisse der Temperatur-Dauerregistrierungen

Messeinrichtung und Messprogramm

Das von der Firma Umwelt-Messtechnik PILZ eingerichtete Messnetz diente der Messung der Lufttemperatur an drei Austrittsstellen am Fuß der Blockhalde (Messpunkte MU2 bis MU4), der Messung der „neutralen“ Lufttemperatur in der Nähe des Haldenfußes im Wald (MU1), der Messung der Lufttemperatur an zwei Austrittsstellen im oberen Haldenbereich etwa 80 Meter über dem Haldenfuß (MO2 und MO3) sowie der Messung der „neutralen“ Lufttemperatur in der Nähe der oberen Austrittsstellen im lockeren Baumbestand (MO1). Die Benennungen der Messpunkte verstehen sich als Abkürzungen „M“ für Maltatal, „U“ bzw. „O“ für unten und oben. Die „neutralen“ Lufttemperaturen der Umgebung werden als „Außentemperaturen“ bezeichnet.

Die Temperaturmessungen erfolgten in allen Fällen mittels Widerstands-Temperaturfühlern (Typ NTC), und wurden 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 07.04.2001 und endeten offiziell am 22.01.2005 (MO-Messpunkte), während die Messungen an den MU-Messpunkten wegen der Zerstörung der Übertragungskabel durch Viehverbiß (!) nur bis zum 24.05.2004 reichen.

In der geräumigen Öffnung MU2 wurde auch ein Schalenanemometer mit einer Ansprechempfindlichkeit von $0,3 \text{ m sec}^{-1}$ zur Erfassung der Luftströmung installiert, wobei nur die Strömungsgeschwindigkeit, nicht aber die Strömungsrichtung erfasst wurde.

Die Durchströmung der Blockhalde

Bei der Durchströmung der Blockhalde ist grundsätzlich zwischen dem „Sommertyp“ mit im Inneren absteigender Luftbewegung und dem „Wintertyp“ mit im Inneren aufsteigender Luftbewegung zu unterscheiden. Dazu kommt noch weitgehende Stagnation bei

Temperatur- und Dichtegleichgewicht zwischen Innen- und Außenluft, sowie tagesperiodischer Richtungswechsel bei starker Tagesschwankung der Außentemperatur, insbesondere in den Übergangsjahreszeiten.

Die Strömungsrichtung kann nur indirekt aus dem Temperaturverhalten an den jeweiligen Öffnungen erschlossen werden. Dabei gilt die Regel, dass die aus der Blockhalde sowohl unten als auch oben ausströmende Luft weitgehend konstante Temperatur besitzt, welche weder vom Tagesgang der Außentemperatur noch von kurzfristigen Witterungsänderungen beeinflusst wird, sondern nur langfristigen Schwankungen im Sinne des Jahresganges bzw. den bereits oben beschriebenen, physikalischen Vorgänge unterliegt.

Eine diesbezügliche Ausnahme konnte allerdings am „Toteisboden“ bei Schladming beobachtet werden, wo zur Zeit massiver Schneeschmelze auch bei der ausströmenden Kaltluft Tagesschwankungen in der Größenordnung von 1 bis maximal 1,5 K gemessen wurden. Das lässt sich durch das Zusammenwirken des Tagesrhythmus des einsickernden Schmelzwassers und der Luftströmung erklären. Dabei führt der größere Wasserandrang am Nachmittag gemeinsam mit stärkerer Luftströmung zu einem deutlichen Temperaturanstieg, während das Ausbleiben des Schmelzwassers nachts und morgens bei gleichzeitiger Stagnation der Luftströmung den Temperaturanstieg unterbricht bzw. sogar geringfügige Wiederabkühlung bewirkt. Diese außergewöhnliche Situation dauerte aber nur wenige Tage bis höchstens zwei Wochen an und konnte sich nur in der Zeit der raschen frühjährlichen Erwärmung von winterlichen Temperaturen auf die Temperaturen nahe des Phasenüberganges Eis/Wasser (0°C) einstellen. Dagegen wurden nennenswerte Tagesschwankungen der Temperatur der unten austretenden Kaltluft im Bereich der Schutthalde Pflüghof wohl mangels größerer Schneehöhen in allen drei Wintern nicht beobachtet.

Umgekehrt spiegelt die einströmende Luft die Temperaturen der Außenluft wider, unterliegt also sowohl deutlichen Tagesschwankungen als auch solchen des kurzfristigen Witterungswechsels, wobei sich aber die Temperatur der einströmenden Luft im Bereich der möglichst tief in das Blockwerk versenkten Temperaturfühler durch Kontakt mit dem Gestein schon stark von der Außentemperatur unterscheiden kann. In den meisten Fällen hat man sich das „Einströmen“ der Luft nicht als deutliche Luftbewegung, sondern nur als leichtes „Einsickern“ der Luft vorzustellen, wobei genug Zeit für eine stärkere Temperaturänderung bleibt.

Diese Änderung ist erwartungsgemäß bei extremen Außentemperaturen am größten, d.h. sehr kalte Winterluft erwärmt sich beim unteren Einsickern bis zu den Messfühlern um einen gewissen Betrag, wie umgekehrt sich die sehr warme Sommerluft beim Einsickern in die oberen Öffnungen bis zu den Messpunkten abkühlen kann. Die Änderung kann aber auch in umgekehrter Richtung erfolgen, wobei sich die oben einsickernde Luft in den kalten Morgenstunden bis zu den Messfühlern etwas erwärmt, während sich die unten einsickernde Luft bei Übergang zu milderem Wetter nach einer sehr kalten winterlichen Witterungsphase bis zu den Messfühlern auch um einige Grade abkühlen kann.

Als Maximalwerte der Abkühlung der oben einsickernden Luft bis zu den Messfühlern konnten an warmen Frühjahrs- und Sommernachmittagen 8 bis 9 K beobachtet werden, als Maximalwerte der Erwärmung in kühlen Morgenstunden 7 bis 8 K. Die maximale Abkühlung der unten einsickernden Luft bis zu den Messfühlern an milden Winternachmittagen kann 9 bis 10 K betragen, während

Erwärmung kaum beobachtet wurde und meist nur Werte bis 1 K, ausnahmsweise 4 K erreichte. Starke Differenzen sind wohl nur bei sehr geringer Luftbewegung bis weitgehender Stagnation möglich, wobei nur die „allgemeine Tendenz“ auf Einströmen gerichtet ist.

Dazu kommt, dass bei einer Außenwitterung ohne nennenswerte Tagesschwankung der Temperatur (meist bei Regen- oder Schneefall) bzw. bei nur sehr schwachem Einsickern auch bei einwärts gerichteter Luftströmung an den Messfühlern kaum Tagesschwankungen der Temperatur zu erkennen sind. Die Regel, dass Temperaturkonstanz Ausströmen bedeutet und dass Einströmen durch deutliche Tagesschwankung angezeigt wird, oder gar, dass die Temperatur der einströmenden Luft mit jener der Außenluft übereinstimmt, gilt also nur sehr bedingt und die jeweilige Situation kann nur durch sorgfältige Analyse aller Daten und vor allem durch den Vergleich der Temperaturen des oberen und unteren Haldenbereichs und der zusätzlichen Beachtung der Geschwindigkeit der Luftbewegung erfasst werden, wobei noch einige fragliche oder nicht schlüssig zuzuordnende Fälle verbleiben. Die Ergebnisse werden in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tab. 1:
Häufigkeit der Strömungsrichtung nach Tagen innerhalb der Blockhalde Pflüghof vom 08.04.2001 bis zum 24.05.2004 in Prozenten. Auf = überwiegend oder ausschließlich aufwärts gerichtet, W/St = tagesperiodischer Wechsel und Stagnation, Ab = überwiegend oder ausschließlich abwärts gerichtet.

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Auf	90	84	25	13	1	-	-	-	8	40	89	95	36
W/St	10	16	69	55	13	3	-	4	51	46	11	5	24
Ab	-	-	6	32	86	97	100	96	41	14	-	-	40

Insgesamt ergibt sich ein leichtes Übergewicht bei der Häufigkeit der abwärts gerichteten Luftströmung, was aber im Vergleich mit den Ergebnissen vom „Toteisboden“ bei Schladming, wo das Verhältnis Ab zu Auf mit 39 zu 27% eingeschätzt wurde (WAKONIGG 2001: 48, Tab.1), durchaus gut ausgewogen erscheint.

Dazu ist eine starke Asymmetrie im Jahresgang zu erkennen, wobei in den bezüglich der Außentemperatur weitgehend gleich temperierten, symmetrisch angeordneten Frühjahrs- und Herbstmonaten, d.h. März/ November, April/ Oktober und Mai/ September die aufwärts gerichtete Strömungskomponente im Herbst deutlich überwiegt. Das ist auf den stark verzögerten Jahresgang der Temperatur im Haldeninneren zurückzuführen, wobei der Herbst im Haldeninneren (als Mittel der Temperaturen aller 5 Öffnungen) um wenigstens 4 K wärmer ist als das Frühjahr (Werte nach Tab. 3 und 4).

Was die Strömungsgeschwindigkeit anlangt wurde schon angedeutet, dass die Ventilation der Schutthalde beim Pflüghof vergleichsweise recht zügig erfolgt, was auch durch die Ergebnisse der Windregistrierung in der Öffnung MU2 (Abb. 5 – 8) bestätigt wird. Dabei lässt sich das Strömungsverhalten wie folgt charakterisieren:

Allgemein erfolgt das Ausströmen stärker als das Einströmen und dazu bei ungestörtem Strahlungswetter mit hoher Tagesschwankung der Temperatur der Außenluft mit auffallendem Tagesgang, wobei die durchschnittlichen Geschwindigkeiten zwischen etwa 1 und 1,5 m * sec⁻¹ schwanken. Dagegen sind beim Einströmen geringere Geschwindigkeiten und vielfach Windstillen (d.h. < 0,3 m * sec⁻¹) sowie kaum Tagesgänge zu beobachten (besonders im November 2003).

Die kurzfristigen Spitzenwerte erreichen über 4 m * sec⁻¹ (max. 4,7 m * sec⁻¹ am 17. 12. 2001) und werden durch Störungen von außen bedingt, meist wohl durch stürmischen Nordföhn, haben also mit der tatsächlichen Durchströmung des Blockwerks wenig zu tun. Wertet man alle Tage mit Spitzenwerten von wenigstens 3 m * sec⁻¹ als starke außenbedingte Störungen, dann lassen sich zwischen dem 08. 04. 2001 und 24. 05. 2004 insgesamt 32 solcher Störungen feststellen. Davon

waren allein 25 (78%) mit Arktik- oder Polarluft verbunden bzw. 21 (6%) mit Nord- oder Nordwestströmungen. Zusammen mit sonstigen „Rückseitenwetterlagen“ sind es sogar 84%, was die überwiegende Zuordnung dieser Störungen zu Nordwestwetter recht gut bestätigt.

Temperaturverhalten im unteren Bereich

Die Temperaturgänge der verschiedenen Messpunkte werden in den Abbildungen 5 bis 8 dargestellt. Dabei wird die Außentemperatur nur für den unteren Haldenbereich dargestellt (MU1), weil die Unterschiede zur oberen Außentemperatur abgesehen von winterlichen Inversionslagen nur gering sind und ein Messpunkt zur Darstellung des allgemeinen Witterungsablaufes durchaus ausreicht. Zudem sollte

auch eine Überladung der Abbildungen vermieden werden.

Im Jahr 2001 (Abb. 5) ist die Erwärmung bis zum Phasenübergang bis zum unteren Löchern (MU2 bis MU4) zu Beginn der Messungen (08. 04.) bereits so gut wie abgeschlossen. Starke nächtliche Abkühlung der Außenluft bis $-1,9^{\circ}\text{C}$ am 10. April und schließlich ein massiver Wettersturz mit Zufuhr von Arktikluft am 13. mit Nachtfrost am 14. bis $-5,5^{\circ}\text{C}$ und am 15. bis $-4,0^{\circ}\text{C}$ reaktivieren das „winterliche“ Einströmen mit aufwärts gerichtetem Luftstrom

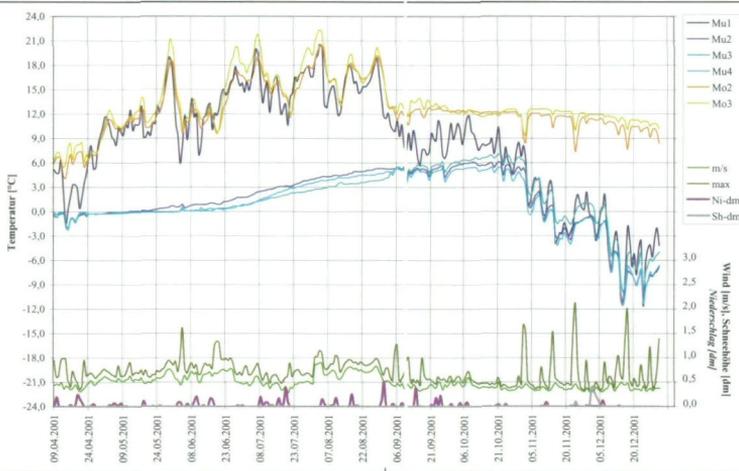


Abb. 5: Beobachtungsergebnisse aus dem Jahr 2001: Mu1 = Tagesmittel der Temperatur der Außenluft im unteren Haldenbereich. Mu2 bis Mu4 = Tagesmittel der Lufttemperatur in den Öffnungen im unteren Haldenbereich. Mo3 = Tagesmittel der Lufttemperatur in der wärmeren der beiden Öffnungen im oberen Haldenbereich. D-Wind = Tages-Durchschnitt der Geschwindigkeit der Luftströmung in der Öffnung Mu2. M-Wind = Mittel der Geschwindigkeit der Luftströmung aus jeweils 48 Halbstunden-Maxima, d.h. Mittel der „Spitzenböen“. Ni-dm = Tages-Niederschlags-höhe in dm an der Station Malta. Sh-dm = Schneehöhe in dm an der Station Malta.

innerhalb der Halde, was durch Abkühlung bis unter -2°C (kurzzeitig bis -4°C) an den unteren Löchern erkennbar wird. Diese „Störungen“ sind besonders deutlich am 14., 15. und 18., dagegen später, am 23. und 27. nur mehr kurzfristig und im Tagesmittel nicht mehr erkennbar.

Ab dem 28. April erfolgt dann im Wesentlichen nur mehr Ausströmen bei abwärts gerichtetem Luftstrom, welches ohne größere Störungen bis zum 9. September anhält. Die einzigen erkennbaren Störungen fallen auf den 4. und 12. Juni und sind durch Wetterstürze bedingt, die das Ausströmen zum Erliegen bringen bzw. kurzfristig das Einströmen oder wenigstens die Zufuhr von nur unwesentlich wärmerer Luft gestatten.

Die Zeit mit weitgehender Isothermie im Niveau des Phasenübergangs dauert bei MU3 und MU4 etwa bis zum 17. Juni, bei MU2 nur bis zum 22. Mai. Das ist deutlich kürzer als am „Toteisboden“ bei Schladming, wo die Zeit der Isothermie in zwei Jahren gleichermaßen bis gegen den 20. Juli andauerte (WAKONIGG, 2001: 50, Abb. 3).

Die darauf folgende Erwärmung beginnt nicht nur früher, und dauert damit entsprechend länger, sondern erfolgt auch rascher (steiler), wodurch auch ungleich höhere Temperaturen als am „Toteisboden“ erreicht werden, d.h. bis zum Zeitpunkt der ersten witterungsbedingten Störung am 10. September wenigstens 5°C an allen drei Messpunkten.

Die Zeit vom 10. September bis zum 4. November ist dann eine typische Übergangszeit, in der es sowohl tagesperiodischen Richtungswechsel, weitgehende Stagnation und verschiedene Störungen durch markanten Wetterwechsel, etwa Kaltluftnebrüche

oder stürmische Winde gibt. Tagesperiodischer Richtungswechsel ist am auffallendsten bei ungestörter antizyklonaler Witterung mit starken Tagesschwankungen der Außentemperatur entwickelt, insbesondere um die Mitte des Oktobers bei Schwankungen um 8 K, was aber in der Abbildung wegen der Darstellung der Tagesmittel nicht zum Ausdruck kommt.

Nach relativ milder Herbstwitterung mit dominierendem Ausströmen wird die Höchsttemperatur an den unteren Löchern am 22. Oktober mit 5,5 bis 7°C erreicht. Ab dem 23. Oktober dominiert das Einströmen, wodurch sich der Temperaturgang an den unteren Löchern wenigstens im Tagesmittel weitgehend der Außentemperatur anpasst und gleichzeitig wieder stark absinkt, was im Rhythmus des Witterungsablaufes geschieht und schon am 14. und 24. Dezember die winterlichen Minima von -11,5°C im Tagesmittel bzw. -13°C als Tagesminimum bewirkt. Weitere Kältehöhepunkte folgen am 4. und 18. Jänner 2002 (Abb. 6).

Diese Temperaturen sind aber keineswegs als „Milieutemperaturen“, d.h. als durchschnittliche Temperaturen des gesamten unteren Schuttkörpers zu verstehen, sondern nur als Lufttemperaturen im Bereich der Messfühler. Die durchschnittliche Gesteinstemperatur bleibt dagegen sicher beträchtlich darüber und kann bestenfalls an Tagen mit Stagnation oder leichtem Ausströmen bei wärmerer Witterung grob abgeschätzt werden.

Auffallend milde Witterung zwischen 20. Jänner und 14. Februar 2002, die schon etliche Phasen mit Stagnation bzw. tagesperiodischem Strömungswechsel bewirkte, führt auch an den unteren Löchern zu starker Erwärmung bis auf ein Niveau von -3°C bei MU2 und MU4 bzw. -1°C bei MU3, was man nun eher als „Milieutemperatur“ ansprechen könnte. Es folgt wieder eine Übergangszeit mit wechselnden Strömungsbedingungen bis etwa zum 18. April, an welche die Phase mit eindeutigem und überwiegend Ausströmen bis zum 11. September anschließt.

Entscheidend ist die Frage nach der Erwärmung auf das Niveau des Phasenübergangs am Ende des Winters im Sinne des im Kapitel 2 angesprochenen Mechanismus, bei dem die Schneeschmelze die entscheidende Rolle spielen sollte. Leider gab es im Winter 2001/02 keinerlei nennenswerte Schneedecke. An der nur 6,5 km entfernten Messstation Malta des Hydrographischen Dienstes wurden in diesem Winter nur 9 Tage mit Schneedecke registriert, bei einer maximalen Schneehöhe von nur 4 cm schon am 1. Dezember. Die folgenden Monate blieben praktisch schneefrei, wodurch ein Schneeschmelzeffekt gar nicht auftreten konnte.

Als Regenniederschlag fielen in der in Frage kommenden Zeit 30 mm vom 28. 2. bis 2. 3., 26 mm vom 19. bis 22. 3. und 32 mm vom 11. bis 16. 4. Dabei ist noch am ehesten bei dem letzten Ereignis ein

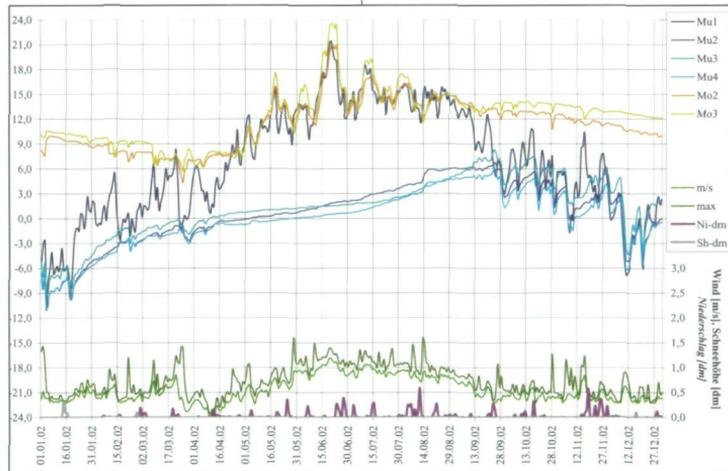


Abb. 6:
Beobachtungsergebnisse aus dem Jahr 2002: Erläuterungen bei dem Abb. 5.

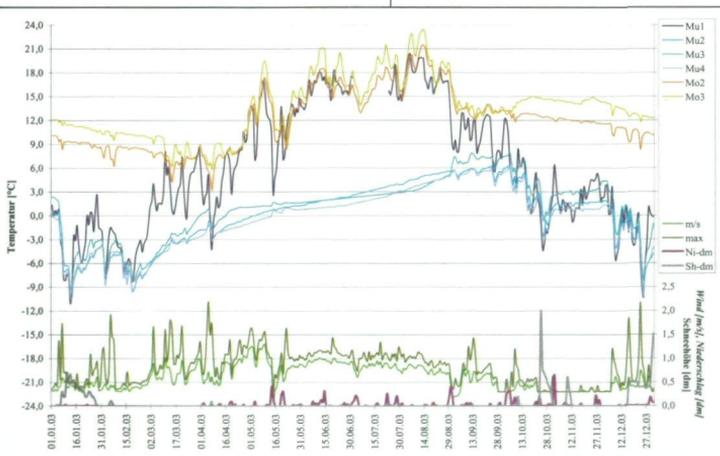
Zusammenhang zwischen einsickerndem Regenwasser und Erwärmung herzeleiten. Da auch die Erwärmung der Luft eher allmählich bzw. in kleineren Schritten und nicht in Form einer einzigen kräftigen Wärmewelle erfolgte, ist auch an den unteren Öffnungen nur ein allmählicher Temperaturanstieg mit der entscheidenden Phase vom 28. März bis 8. April zu beobachten. Dabei wird das Niveau des Phasenübergangs etwa am 13. April erreicht, aber in der Folge auch nicht wirklich längere Zeit konstant gehalten, was mit zu geringer Eisbildung aber auch ausnehmend warmer Witterung erklärt werden könnte. Immerhin war der Juni 2002 mit einer Abweichung von etwa 3 K der wärmste innerhalb der letzten 100 Jahre und auch der Mai war um wenigstens 2,5 K zu warm.

Bei MU4 kann von Isothermie im Niveau des Phasenübergangs bis 9. Juni gesprochen werden, bei MU2 nur bis zum 17. Mai, während bei MU3 eine solche Phase gar nicht wirklich ausgebildet ist. Für den „Knick“ bzw. die auffallend rasche Erwärmung bei MU2 um fast 2 K vom 13. zum 14. August ist sicher jenes Niederschlagsereignis verantwortlich, bei dem es in Malta vom 4. bis zum 12. 8. 172 mm geregnet hat, davon allein am 11. fast 60 mm. Der massive Eintrag von vergleichsweise warmem Regenwasser wirkte geradezu als Energieschub für den auf einem Niveau von nur 3 bis 4°C befindlichen Schuttkörper. Dazu kam wohl auch die Wirkung von heftigen Windböen, die durch die in der Öffnung MU2 gemessene maximale Windgeschwindigkeit von 2,8 m * sec⁻¹ belegt sind.

Am 12. September beginnt die herbstliche Übergangszeit ohne eindeutig vorherrschende Strömungsrichtung, aber schon ab dem 23. September, nach massiver Abkühlung durch einen Wettersturz, herrscht Einströmen vor und wird vom 18. November bis zum 8. März 2003 (Abb. 7) zur fast ausschließlichen Strömungsform, wenn auch markant unterbrochen durch das denkwürdige, mit Sturm und massiver Erwärmung verbundene Südfohnerereignis vom 15. bis 17. November 2002. Erst die kräftige Erwärmung am 9. März leitet wieder zu wechselnden Strömungsbedingungen über, die am 27. April vom alleinigen bzw. vorherrschenden Ausströmen abgelöst werden, welches bis zum 30. August dauert. Letzte Störungen mit wechselnden Strömungsbedingungen, bedingt durch kalte Witterungsphasen sind vom 14. bis zum 18. und am 22./ 23. Mai zu beobachten.

Auch im Jahr 2003 ist eine eindeutig-rasche Erwärmung auf das Niveau des Phasenübergangs nicht zu erkennen, da so wie im Vorjahr eine nennenswerte Schneedecke ausgeblieben ist. So wurde an der Station Malta nur eine maximale Schneehöhe von 7 cm am 10. 1. gemessen und nach dem 27. 1. blieb die Landschaft praktisch vollkommen schneefrei, d.h. auch während der Zeit der potentiellen Schneeschmelze, das wären die Warmphasen vom 10. bis 14. März, 24. März bis 6. April und 13. bis 21. April. Schlecht ausgeprägt wie im Vorjahr ist auch die folgende Isothermie im Niveau des Phasenübergangs, die

Abb. 7:
Beobachtungsergebnisse aus dem Jahr 2003: Erläuterungen bei dem Abb. 5.



bei MU4 vom 14. Mai bis etwa Ende Juni, bei MU3 vom 21. April bis 10. Juni zu sehen wäre, während sie bei MU2 überhaupt nicht mehr erkennbar ist.

Noch mehr als im Jahr 2002 sind dafür im Jahr 2003 Witterungsanomalien verantwortlich zu machen: Auf den schneearmen Winter folgten auffallend warme Monate, die schließlich im „Jahrhundertsommer“ von 2003 ihren Höhepunkt erreichten und sicher auch innerhalb der Blockhalde außergewöhnliche Bedingungen bewirkten. In dieser Region Kärntens lagen die Temperaturen im Mai um 2,5 K, Juni um 5 K (!), Juli um 1,5 K und im August um 4 K über der langjährigen Norm, was in diesem Ausmaß tatsächlich als extreme Abweichung gewertet werden muss. Bis Anfang Oktober erreichten die Temperaturen in den unteren Öffnungen sogar 6°C (MU2 und MU4) bzw. 8°C (MU3).

Auch im Sommer 2003 ist der Einfluss eines stärkeren Regenereignisses zu erkennen. So wurde der „Jahrhundertsommer“ durch einen massiven Wettersturz Ende August beendet, wobei an der Station Malta vom 28. bis 31. 8. 88 mm Regen gemessen wurden. Da durch den gleichzeitigen Temperatursturz (Minimum der Außentemperatur am 3. und 4. 9. 2 bis 3°C) der kalte Ausstrom zum Erliegen gebracht wurde, kam es bei MU3 zu einem Temperatursprung von wenigstens 2 K.

Die herbstliche Übergangszeit ist vom 31. August bis zum 14. Oktober anzusetzen, wobei darin einige Abschnitte mit dominierendem Ausströmen eingeschaltet sind; die markantesten sind vom 6. bis 10. und 19. bis 23. September. Die folgende Phase mit dominierendem bzw. alleinigem Einströmen dauert vom 15. Oktober bis zum 2. Februar 2004 (Abb. 8), worauf eine Phase mit vorherrschendem Einströmen aber häufigen Störungen durch tagesperiodischen Wechsel bis zum 12. April folgt. Die Abschnitte mit tagesperiodischem Wechsel fallen dabei auf den 3. bis 7. und 13. bis 18. Februar sowie auf den 1. bis 4. März. Die eigentliche Übergangsphase mit stark wechselnden Strömungsformen dauert vom 5. März bis 16. April, an den die Phase mit dominierendem Ausströmen anschließt.

Als Schneeschmelz- und Erwärmungsphasen für den unteren Haldenbereich können ziemlich eindeutig die Abschnitte vom 3. bis 6. 2., 3. bis 13. 3. und 23. bis 29. 3. ausgemacht werden. Die Erwärmungsphasen an den unteren Öffnungen folgen mit auffällender zeitlicher Verzögerung, die wohl auf die längere Schneebedeckung gegenüber der Station Malta zurückzuführen ist. Dadurch ist erstmals eine schneeschmelzbedingte Erwärmung auf das Niveau des Phasenübergangs in der ersten Aprilwoche einigermaßen klar erkennbar. Dazu ist der Zusammenhang mit den drei Hauptwärmewellen vom 3. bis 18. 2., 13. bis 22. 3. und 2. bis 4. 4. auffallend. Die Temperatur des Phasenübergangs wird recht unterschiedlich erreicht; bei MU3 schon am 4. April, bei MU2 um den 15. April und bei MU4 erst um den 9. Mai. Von einer raschen Erwärmung ist somit auch 2004 keine Rede.

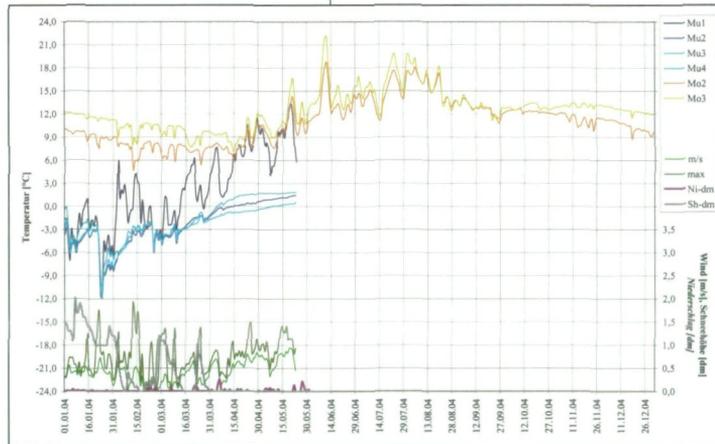


Abb. 8:
Beobachtungsergebnisse aus dem Jahr 2004: Erläuterungen bei der Abb. 5.

Tab. 2:
Temperaturverhältnisse an jenen Tagen im Spätwinter, an denen erstmalig nach kälteren Witterungsphasen eindeutiges Ausströmen an den unteren Öffnungen um die Mittagszeit beobachtet wurde. Max. außen = Tagesmaximum der Außentemperatur. Temp. Öff. = Temperaturbereich in den drei unteren Öffnungen in °C.

Datum	28. 01. 02	12. 02. 02	27. 01. 03	28. 02. 03	10. 03. 03	03. 02. 04	14. 03. 04
Max. außen	8 / 9	12 / 13	~ 7	~ 7	~ 12	~ 9	~ 8
Temp. Öff.	-5 / -6	-2 / -4	-3 / -5	-6 / -7	um -4	um -6	-3

Insgesamt stehen die Ergebnisse unter dem Einfluss außergewöhnlich schneearmer Winter – besonders in den Jahren 2001/ 02 und 2002/ 03, starker Temperaturanomalien in den Sommern 2002 und 2003, sowie allgemein relativ starker Durchströmung des Blockwerks, wodurch die Temperaturen auf die Außenwitterung ungleich sensibler reagieren als beim „Toteisboden“ bei Schladming. Am besten passen noch die Ergebnisse des Jahres 2001 in das allgemeine Schema des Bildungsmechanismus und des „normalen“ Temperaturganges in einer unterkühlten Schutthalde.

Die Erwärmung während des Sommers oberhalb des Niveaus des Phasenüberganges erfolgt jeweils ziemlich gleichmäßig, wobei auffallende Störungen durch extreme Regenereignisse eher Ausnahmen darstellen. Das soll aber nicht heißen, dass die vergleichsweise reichlichen Sommerniederschläge nicht einen ganz wesentlichen Anteil an der Erwärmung haben.

Mangels Kenntnis der Masse des abgekühlten Blockwerks und der gleichzeitig durch den Luftstrom eingebrachten fühlbaren und latenten Wärme ist die quantitative Einschätzung dieses Anteils allerdings unmöglich.

Die Frage nach der üblicherweise vor Eintreten der Schneeschmelze erreichten tiefsten Milieutemperaturen kann nicht eindeutig beantwortet werden. Am besten wären sie an solchen Tagen zu ermitteln, an denen es erstmalig zum Ausströmen der Kaltluft kommt, was am ehesten an wärmeren Spätwintertagen um die Mittagszeit der Fall sein sollte. Aber selbst dann darf die Temperatur der ausströmenden Luft nicht als durchschnittliche Temperatur des gesamten Blockschutts im unteren Haldenbereich verstanden werden, da die Temperatur im Kern der auffallend großen Gesteinsblöcke von jener ihrer Oberflächen abweichen kann, an die sich die Temperatur der ausströmenden Luft wohl weitgehend angepasst hat. Bei den am ehesten dafür in Frage kommenden Tagen ergeben sich folgende Bedingungen:

Damit wird die winterliche Abkühlung des unteren Haldenbereiches wenigstens grob umgeschrieben und kann durchaus mit den Bedingungen am „Toteisboden“ bei Schladming verglichen werden (WAKONIGG 2001: 49 f.).

Temperaturverhalten im oberen Bereich

Für das Temperaturverhalten im oberen Haldenbereich bzw. der Luft innerhalb der oberen Hohlräume spielt Eisbildung keine Rolle, da die Temperaturen ganzjährig beträchtlich über dem Nullpunkt bleiben und Eisbildung ausschließen. Im Gegensatz zum unteren Haldenbereich wirkt die Schneeschmelze oben abkühlend und zwar im Bereich der Austauschöffnungen schon während der Schneefälle, wobei der Schnee sofort geschmolzen wird und sich eine Schneedecke gar nicht ausbilden kann. In den nach unten anschließenden Bereichen erfolgt die Abkühlung erst bei der frühjährlichen Schmelzung der aufgebauten Schneedecke durch das mit einer Temperatur von anfangs Null Grad einsickernde Schmelzwasser.

Die permanente Schneefreiheit und das Ausströmen von gleich bleibend warmer Luft auch an den kältesten Wintertagen wird offenbar

auch durch das Rotwild genutzt, worauf im Umkreis der Öffnungen etliche Spuren von Einständen und Betten hinweisen.

Gleich wie im unteren Haldenbereich bewirkt winterliches bzw. nächtliches Ausströmen oben Isothermie an den Öffnungen, während das sommerliche Einströmen die tagesperiodischen und witterungsbedingt unperiodischen Temperaturschwankungen der Außenluft mit den im Kapitel „Die Durchströmung der Blockhalde“ angesprochenen Modifikationen nachzeichnet. Auch oben sind die Phasen mit unterschiedlichen Strömungsbedingungen recht gut auseinander zu halten, darüber hinaus lassen sich auch die erreichten Milieutemperaturen recht genau feststellen. Der Temperaturgang an den oberen Messpunkten (MO2 und MO3) wird ebenfalls in den Abbildungen 5 bis 8 dargestellt.

Im Jahr 2001 (Abb. 2) zeigt sich das überwiegende Einströmen zwischen 28. April und etwa 9. September im parallelen Kurvenverlauf zwischen der Temperatur der Außenluft und jener der Öffnungen bei dazu noch fast gleichem Temperaturniveau, wobei die witterungsbedingten Schwankungen in der Öffnung gedämpft und teilweise auch etwas verzögert erscheinen. Schon in der folgenden Übergangszeit, in der das Ausströmen ab dem 22. Oktober überwiegt, bleibt die Temperatur innerhalb den Öffnungen auffallend konstant und lässt die wärmste Milieutemperatur auf einem Niveau von etwa 12°C recht gut abschätzen. Mit der aufwärts gerichteten Strömung beginnt auch die Abkühlung, wobei die markanten Störungen – z.B. um den 1./ 2. und 24. November, 17. Dezember usw. auf heftigen Nordföhn zurückzuführen sind. Die Milieutemperatur sinkt dann bis Ende März/ Anfang April 2002 (Abb. 6) auf das Niveau von 7 bis 8°C, bleibt also beträchtlich über Null Grad.

Im Jahr 2002 wiederholt sich der Ablauf weitgehend gleichsinnig zum Vorjahr, wobei die Milieutemperatur aufgrund der positiven Temperaturabweichung der Sommerwitterung an der Monatswende vom September zum Oktober bei 13 bis 14°C anzusetzen ist. Von da an fällt sie recht gleichmäßig bis auf etwa 8°C um den 21. April 2003 (Abb. 7). Die vorausgegangenen tieferen Temperaturen im März und April können als kurzfristige witterungsbedingte Störungen angesehen werden und spiegeln nicht die Milieutemperatur im Blockwerk wider.

Nach dem ausnehmend warmen Sommer 2003 pendeln sich die oberen Milieutemperaturen bei aufwärts gerichteter Strömung ab dem 15. Oktober bei knapp 13 – 15°C ein, was als einmaliger Höchstwert gedeutet werden kann. Die darauf folgende Abkühlung erreicht schließlich am 10. April 2004 (Abb. 5) ein Niveau von knapp 8 – 9,5°C, womit auch beim Minimum als Konsequenz der starken Temperaturanomalie des Jahres 2003 höhere Werte als in den Vorjahren erzielt werden. Nach dem weniger warmen Sommer 2004 liegen die Milieutemperaturen Mitte Oktober mit ca. 12 – 13°C schon wieder etwas unter jenen des Vorjahres.



Abb. 9:
Schneefreier Bereich der oberen Öffnungen. Schneehöhe in der Umgebung ca. 0,5 m. 21.01.2006.
Foto: H. Wakonigg

Im Gegensatz zur Erwärmung an den unteren Öffnungen erfolgt die Abkühlung oben durchwegs recht gleichmäßig, weil dafür eine Beeinflussung bzw. Steuerung durch den latenten Wärmestrom frierenden Wassers oder schmelzenden Eises innerhalb des Blockwerks keine Rolle spielen kann. Wenn man von den außergewöhnlichen witterungsbedingten Abweichungen absieht, d.h. nur die Werte von 2001 und 2004 heranzieht, dann liegen auch die maximalen Milieutemperaturen des oberen Haldenbereichs, in der gleichen Größenordnung wie jene am „Toteisboden“ bei Schladming, während die minimalen Milieutemperaturen doch deutlich über jenen des „Toteisbodens“ (dort um 4°C) bleiben (WAKONIGG 2001: 53 f.).

Gesamtsystem und Außentemperatur

Die Messung der Außentemperatur erfolgte strahlungsgeschützt in 2 m Höhe über Grund und so weit von den jeweiligen Ausströmöffnungen entfernt, dass eine Beeinflussung durch aus dem Blockwerk ausströmende Luft ausgeschlossen werden kann. Die Durchschnitte der jeweiligen Monate aus dem Zeitraum April 2001 bis Mai 2004 werden in der Tabelle 3 wiedergeben. Wegen der z. T. extremen Abweichungen wurden die Temperaturen nach der Methode der konstanten Differenzen mit Hilfe der etwa 23 km entfernten Station Spittal an der Drau auf den Zeitraum von 1961 – 1990 reduziert.

Tab. 3:
Durchschnittswerte der Außentemperaturen im oberen (MO1) und unteren (MU1) Haldenbereich von April 2001 bis Mai 2004 in °C. Reduz = auf den Zeitraum von 1961 – 1990 reduziert.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
MO1	-1,8	-0,4	3,4	5,4	11,3	15,1	15,9	16,5	10,1	7,0	3,2	-1,6	7,0
reduz	-2,1	-1,3	2,3	5,1	10,1	12,5	14,6	14,1	10,5	5,9	0,7	-3,0	5,8
MU1	-2,2	-1,4	2,5	5,3	10,8	14,6	15,6	15,7	9,5	6,1	2,5	-2,3	6,4
reduz	-2,5	-2,3	1,4	5,0	9,8	12,0	14,3	13,3	9,9	5,0	0,0	-3,7	5,2

Tab. 4:
Durchschnittstemperaturen in den Öffnungen im Blockwerk von Mai 2001 bis Mai 2004 in °C. Diff. = Differenz zwischen dem Mittel aus den oberen und unteren Öffnungen (bei den Differenzen können sich rundungsbedingte Abweichungen ergeben).

Der Beobachtungszeitraum erweist sich demnach im Jahresdurchschnitt gegenüber dem langjährigen Normalwert um 1,2 K zu warm, die höchsten Abweichungen sind mit 2,6 K im Juni, 2,5 K im November bzw. 2,4 K im August, während der September um 0,4 K zu kalt erscheint. Im oberen Haldenbereich ist die Lufttemperatur im Jahresdurchschnitt um 0,6 K wärmer als im unteren, am größten ist die Differenz mit 1,0 K im Februar sowie 0,9 K im März und Oktober, am geringsten mit 0,1 K im April. Die Jahresdurchschnittstemperatur als Mittel von MO1 und MU1 ist 6,7°C bzw. auf den langjährigen Zeitraum reduziert 5,5°C.

Für die Durchschnittstemperaturen innerhalb der Öffnungen im Blockwerk erhält man die unten angegebenen Temperaturen.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
MO2	9,2	8,0	7,1	7,7	11,7	14,8	15,6	16,7	13,0	12,5	11,6	10,5	11,5
MO3	11,0	9,9	8,5	8,4	12,7	16,2	16,9	17,3	13,3	13,4	13,2	12,8	12,8
Mittel	10,1	8,9	7,8	8,1	12,2	15,5	16,2	17,0	13,1	13,0	12,4	11,4	12,1
MU2	-6,1	-5,0	-2,7	-0,7	0,6	1,5	3,0	4,9	5,5	4,2	1,2	-3,3	0,3
MU3	-4,7	-3,9	-2,1	0,4	1,0	1,2	2,1	3,7	6,3	5,6	2,8	-1,5	0,9
MU4	-6,1	-4,9	-3,0	-1,2	0,0	0,6	2,0	4,0	5,0	3,4	0,4	-3,6	-0,3
Mittel	-5,6	-4,6	-2,6	-0,5	0,5	1,1	2,4	4,2	5,6	4,4	1,5	-2,8	0,3
Diff.	15,8	13,5	10,4	8,6	11,7	14,4	13,9	12,8	7,6	8,6	11,0	14,2	11,9

Demnach liegt die Jahresdurchschnittstemperatur in den oberen Öffnungen um 12°C, in den unteren um 0°C. Die Differenz zwischen den oberen und unteren Temperaturen zeigt im Jahresgang eine Doppelwelle mit Maxima im Jänner und Juni sowie Minima im April und September. Die größten Temperaturunterschiede beim Abströmen wurden mit 26 K am 19. Juni 2002 beobachtet (Außenluft oben 26,6°C, MU4 0,6°C), beim Aufströmen mit 27 K am 24. Jänner 2004 (Außenluft unten -15,5°C, MO3 11,5°C). Man kann diese Beträge mit gewissen Einschränkungen auch als maximale Erwärmungs- bzw. Abkühlungsbeträge der Luft auf ihrem Weg durch das Blockwerk ansehen, doch dürften die tatsächlichen Änderungsbeträge etwas geringer sein, da die Dauer der Durchströmung und damit die zeitliche Verzögerung zwischen Ein- und Austritt der Luft nicht bekannt sind.

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 Einströmen, die unteren Öffnungen dagegen jenes „aller kalten Tage“, d.h. entsprechend solcher mit unterem Einströmen aufweisen, was auch im wesentlichen zutreffen dürfte.

Entscheidend ist aber, dass die Jahresdurchschnittstemperatur als Mittel aus den oberen und unteren Öffnungen mit 6,2°C praktisch gleich mit dem Jahresmittel der Außentemperatur (6,7°C) ist. Damit erweist sich das Gesamtsystem als im thermischen Gleichgewicht mit der Außenluft befindlich, genauso wie die Durchschnittstemperatur jedes ungestörten „neutralen“ Untergrundes ganz allgemein, d.h. eines solchen ohne Windröhrensystem. Das Windröhrensystem einer Blockhalde spaltet gleichsam das Jahresmittel der Temperatur in einen kälteren und wärmeren Bereich auf und die Erklärung der negativen Temperaturabweichung einer „unterkühlten“ Schutthalde, d.h. streng genommen nur ihres unterkühlten Teiles, kann nicht getrennt von ihrem notwendig vorhandenen „überwärmten“ Teil vorgenommen werden.

Es ist also müßig, für den unteren unterkühlten Teil allein Überlegungen bezüglich unterschiedlicher Sommer- und Winter-Energiebilanzen anzustellen (Rist 2002: 9 f.) oder eine (physikalisch unmögliche!) sommerliche Verdunstung als Ursache der Abkühlung der Luft zu bemühen (zuletzt als „durch die Verdunstungskälte erbrachte Abkühlung“ bei MÖSELER et al. 1999: 45). Das Blockwerk im unteren Bereich wird im Winter abgekühlt und im Sommer durch den abströmenden Luftzug und Sickerwasser wieder erwärmt. Dabei wird die abströmende Luft durch den Kontakt mit dem Gestein und Eis abgekühlt, wobei im Inneren der Blockhalde folgerichtig Kondensation der Luftfeuchtigkeit auf dem kalten Gestein und Eis anzunehmen ist, keineswegs aber Verdunstung von Gesteinsfeuchtigkeit.

Umgekehrt wäre es genauso wenig zielführend, bei alleiniger Betrachtung und Beschreibung des oberen „überwärmten“ Teiles einer Schutthalde die Erklärung der positiven Temperaturabweichung getrennt von dem notwendigerweise vorhandenen unteren „unterkühlten“ Teil zu versuchen und mit Vorgängen, die ausschließlich im Bereich des überwärmten Teiles ablaufen, erklären zu wollen, was aber durchaus schon geschehen ist.

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, Klagenfurt.
- GRESSEL, W. (1962): Eisvorkommen in der Matzen in Kärnten. *Die Höhle* 13, 88-90, Wien.
- GUDE, M., DIETRICH, S., MÄUSBACHER, R., HAUCK, C. MOLEND, R. & V. RUZICKA (2003): slopes in central Europe. *Proceedings 8th International Conference on Permafrost 2003*: 331-336, Zürich.
- MOLEND, R. (1996): Zoogeographische Bedeutung Kaltluft erzeugender Blockhalden im außeralpinen Mitteleuropa: Untersuchungen an Arthropoda, insbesondere Coleoptera. *Verh. Naturwiss. Ver. Hamburg (NF)* 35, 5-03.
- MÖSELER, B. M., WUNDER, J. (1999): Kaltluftströme auf Blockhalden und ihre Auswirkungen auf Flora und Vegetation. In MÖSELER u. MOLEND 1999: Lebensraum Blockhalde. Zur Ökologie periglazialer Blockhalden im außeralpinen Mitteleuropa. *Decheniana, Beihefte* 37: 43-47, Bonn.
- MÜLLER, C. & R. MOLEND (1999): Mikroklima und Coleoptera an Blockhalden in Thüringen und angrenzenden Gebieten. In MÖSELER u. MOLEND 1999: Lebensraum Blockhalde. Zur Ökologie periglazialer Blockhalden im außeralpinen Mitteleuropa. *Decheniana, Beihefte* 37, 43-47, Bonn.
- RIST, A. (2002): Unterkühlte Blockschutthalden mit Hexenwäldi. Diplomarbeit im Fachbereich Landschaftsökologie, Davos, 59 S.
- SCHINDLER, H., KINZEL, H., BURIAN, K. (1976): Ökophysiologische Untersuchungen an Pflanzen der Matzen-Eisstandorte. *Carinthia* II 166/ 86, 269-307, Klagenfurt.
- 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, Wien.
- WAKONIGG, H. (2001): Ergebnisse von Temperatur-Dauerregistrierungen am „Toteisboden“ im Schladminger Untertal. *Mitt. Naturwiss. Verein Steiermark* 131, 41-56.

Anschrift des Verfassers:

o. Univ. Prof. Dr. Herwig Wakonigg
 Institut für Geographie und Raumforschung
 Heinrichstraße 36
 A-8010 Graz
herwig.wakonigg@uni-graz.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 2006

Band/Volume: [196_116](#)

Autor(en)/Author(s): Wakonigg Herwig

Artikel/Article: [Die unterkühlte Blockschutthalde beim Plüglhof im Maltatal \(Ergebnisse von Temperatur-Dauerregistrierungen von April 2001 bis Mai 2004\) 501-518](#)