

Messung der Wetterführung im Loferer Schacht und im Kristallcanyon, Loferer Steinberge (Österreich)

ZUSAMMENFASSUNG

Im Zeitraum von September 2006 bis September 2007 wurden im Loferer Schacht (1323/42) und im Kristallcanyon (1323/127) kontinuierliche Wind- und Temperaturmessungen durchgeführt. Durch den Vergleich mit den Lufttemperaturen nahegelegener Wetterstationen und unter Berücksichtigung der winterlichen Schneebedingungen konnten jahreszeitliche Windsysteme nachgewiesen werden.

Für die für zwölf Monate angesetzten stündlichen Messungen der Höhlenwinde wurden zwei vom Autor selbst entwickelte Langzeit-Windmesser eingesetzt und erprobt. Der Windmesser im Loferer Schacht lieferte ausgezeichnete Messwerte, deren Auswertung nachfolgend dargestellt wird. Vom zweiten Windmesser im Kristallcanyon wurden, wegen einer beim Transport herausgefallenen Speicherkarte, keine Werte aufgezeichnet. Dieser Verlust konnte aber durch sehr aussagekräftige Temperaturdaten ausgeglichen werden.

ABSTRACT

Measurement of air flow in the Loferer Schacht and the Kristallcanyon cave (Loferer Steinberge, Austria)

In the period from September 2006 to September 2007, a continuous measurement of wind and temperature was conducted in the Loferer Schacht (1323/42) and the Kristallcanyon cave (1323/127). After taking into account the snow conditions, the comparison of these data with the air temperature recorded by a nearby weather station demonstrates seasonal wind cycles. Two anemometers developed by the author were installed and used to take hourly readings of the cave winds during the twelve-month period. The anemometer installed in the Loferer Schacht provided excellent data, which are analyzed in this article. The second anemometer, installed in the Kristallcanyon, lost a memory card during transport and no data were recorded. However, this loss was balanced by the successful recording of very meaningful temperature data.

Jochen Hartig

DAV Höhlengruppe Frankfurt/Main,
Goethestraße 52, D-64839 Münster
jochen.hartig@web.de

Eingelangt: 18.11.2007
Angenommen: 5.3.2008

EINLEITUNG

Motivation

In der Saison 2004 / 2005 wurden im Loferer Schacht zwei ganzjährige Temperaturmessungen durchgeführt, eine in der Schachtzone nahe des Eingangs, die andere in der horizontalen Höhlenetage in –600 m Tiefe. Aufgrund der Daten der Messreihen in den beiden Höhlenzonen wird von zwei unabhängigen Windsystemen ausgegangen (Hartig, 2005).

Zur genaueren Untersuchung des einen Windsystems wurden in der Saison 2006 / 2007 im Loferer Schacht ganzjährige Höhlenwind- und Temperaturmessungen durchgeführt. Messpunkt 1 befindet sich im Schachtsystem des Loferer Schacht nahe des Eingangs bei –60 m, wo wegen der Luftzirkulation und des Wasser-

eintrags eine starke Abhängigkeit von der Umgebung besteht (Abb. 1).

Um die Wetterführung mit einer benachbarten, womöglich ähnlich ausgeprägten Höhle zu vergleichen, wurden im Kristallcanyon ebenfalls Höhlenwind- und Temperaturmessungen angesetzt. Messpunkt 2 liegt im fossilen Teil des Kristallcanyons in –150 m Tiefe. Zielsetzung des Unternehmens ist es, durch die Auswertung der aufgezeichneten Temperaturverläufe und Windverhältnisse sowie durch Vergleich mit den Lufttemperaturen nahegelegener Wetterstationen Windsysteme der Loferer Steinberge und deren jahreszeitliche Abhängigkeit zu beschreiben.

Höhlenwinde können u. a. durch barometrische Ungleichgewichte (barometrische Luftzirkulation) und

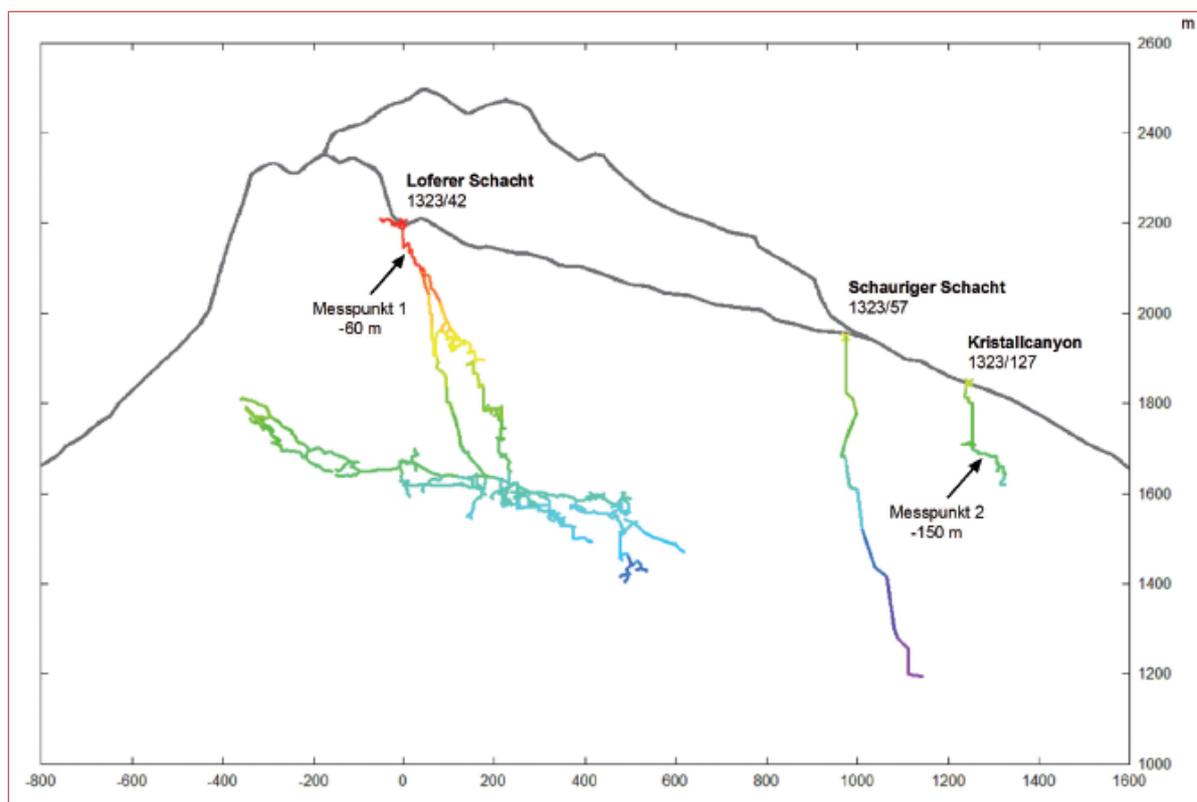


Abb. 1: Schnitt Loferer Steinberge (SW – NO).

Temperaturunterschiede (konvektive Luftzirkulation) entstehen (Filipponi, 2003: 10). Während die barometrische Luftzirkulation die kurzfristige und schwächere Komponente darstellt, kann konvektive Luftzirkulation über mehrere Tage anhalten. Im Höhleninnern ist die Luftdichte mehr oder weniger konstant. Durch die großen täglichen und jährlichen Schwankungen der Lufttemperatur vor den Höhleneingängen und der damit verbundenen Änderung der Luftdichte entstehen konvektive Höhlenwinde. Im Winter steigt die relativ wärmere und damit leichtere Höhlenluft nach oben, im Sommer sinkt die relativ kalte, schwere Höhlenluft nach unten.

Loferer Schacht

Der Loferer Schacht befindet sich in den Loferer Steinbergen (Land Salzburg, Österreich) und wird seit 1990 von der Höhlengruppe des Deutschen Alpenvereins Sektion Frankfurt/Main (www.caverender.de) erforscht. In jährlich stattfindenden Forschungsexpeditionen konnte der Loferer Schacht bis zu einer Gesamttiefe von -806 m befahren und vermessen werden. Mit einer Gesamtlänge von 7801 m ist der Loferer Schacht mit Abstand die größte Höhle der Loferer Steinberge.

Zwei Charakteristika prägen den Loferer Schacht: das Schachtsystem, welches von den drei eng beieinander liegenden Eingängen (Höhe 2200 m) nahezu senkrecht bis auf -600 m führt und eine großräumige Höhlenetage, die sich auf -600 m fast 1000 m von SW nach NO entlang einer Störungszone und parallel zum Einfallen der Schichten des Dachsteinkalks erstreckt.

Das westliche Schachtsystem des Loferer Schachts wurde in den Jahren 1983 und 1984 von polnischen Höhlenforschern aus Krakau entdeckt und vermessen (Ciszewski & Klappacher, 2007). Die DAV Höhlengruppe Frankfurt/Main unternahm 1990 und 1991 eine Neuvermessung bis in die Tiefe von -655 m. Beim Materialausbau 1992 wurde auf -106 m die Abzweigung in das östlich gelegene „Frankfurter System“ entdeckt, das zwischen 1993 und 2000 bis auf -707 m erforscht werden konnte (vergl. Höhlenbeschreibung Hartig, et al., 2003). In den Jahren 2001 bis 2007 wurde vom Horizontalsystem ausgehend eine Tiefe von -796 m erreicht.

Am Südhang des Gebirges wird auf ca. 2000 m eine Verbindung des Horizontalsystems zur Außenwelt vermutet. Bei einer 2006 durchgeführten Außenvermessung mit Hilfe von GPS konnte in sehr steilem Gelände eine Annäherung zum nächsten vermessenen Höhlenteil bis auf 225 m erreicht werden. Hier existiert eine

ausgeprägte Störungszone, deren Kluftsystem allerdings nicht passierbar ist.

Der seit 1983 bekannte Reifhornschacht E3 (1323/63), der sich ca. 15 m westlich des höchstgelegenen Eingang des Loferer Schachts befindet, konnte 2006 an den Loferer Schacht angebunden werden. Aus der erreichten Höhe von +10 m über dem Eingang ergibt sich eine Gesamttiefe von –806 m. Der Höhlenplan des Loferer Schachts ist im Internet veröffentlicht (Hartig, 2007).

Kristallcanyon

Der Eingang des Kristallcanyons befindet sich ca. 1200 m nordöstlich des Loferer Schachts auf einer

Höhe von ca. 1800 m und wurde 2005 von der DAV Höhlengruppe Frankfurt/Main entdeckt. In den Jahren 2006 und 2007 erfolgte die Erforschung und Vermessung auf einer Länge von 463 m und bis zu einer Tiefe von –228 m.

Wie der Loferer Schacht orientiert sich auch der Kristallcanyon an einer, für die Loferer Steinberge typisch verlaufenden Störungen von SW nach NO. Der Kristallcanyon liegt in der gleichen Störung wie der 754 m tiefe Schaurige Schacht (1323/57) und ca. 250 m nordwestlich der parallel verlaufenden Störung des Loferer Schachts, zu der keine befahrene Verbindung besteht. Der Höhlenplan des Kristallcanyons ist im Internet veröffentlicht (Hartig, 2007).

DATENERHEBUNG

In der Saison 2006 / 2007 wurden im Loferer Schacht und im Kristallcanyon stündliche Höhlenwind- und Temperaturmessungen durchgeführt. Für die weitere Analyse wurden die Daten folgender Messgeräte bzw. Wetterstationen genutzt (Tab. 1).

Langzeit-Windmesser

Die eingesetzten Langzeit-Windmesser (Abb. 2) sind eine Eigenentwicklung, bei der die besondere Herausforderung darin bestand, die Stromversorgung für den über einjährigen Betrieb in einer Umgebungstemperatur nahe dem Gefrierpunkt sicherzustellen (Hartig, 2006).

Als Windmesser wurde ein modifiziertes Flügelradanemometer Skywatch Xplorer1 (www.jdc.ch) eingesetzt. Am magnetischen Flügelrad wurden zwei Magnetfeldsensoren im Winkel von 90 Grad angebracht, so dass Drehfrequenz und Rotationsrichtung durch eine entsprechende Elektronik gemessen werden können (Abb. 3). Die Kalibrierung erfolgte direkt gegen die interne Anzeige des Anemometers. Mit dem Gerät können Windgeschwindigkeiten zwischen 0 und

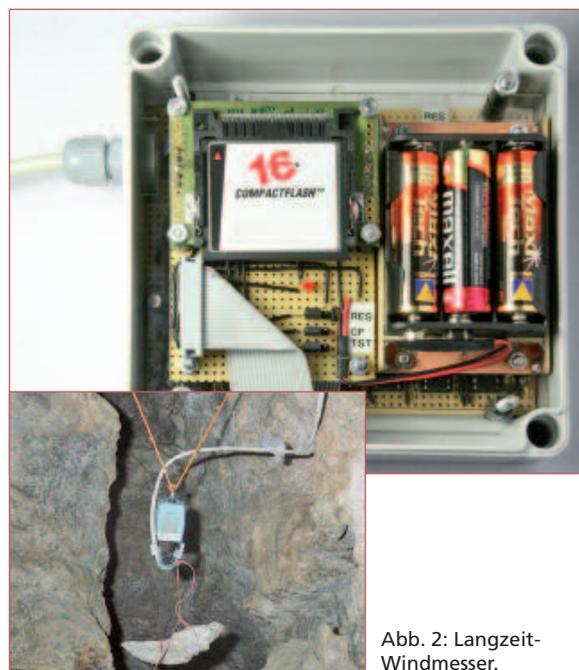


Abb. 2: Langzeit-Windmesser.

60 km/h aufgezeichnet werden, die Genauigkeit beträgt 3 %, die Auflösung 0,25 km/h.

Tab. 1: Datenerhebung

Messpunkt	Messung	Von	Bis	Bemerkung
Loferer Schacht, 1323/42	Wind	04.09.2006	31.07.2007	Batterie nach 11 Monaten verbraucht
Messpunkt 1, –60 m	Temperatur	04.09.2006	19.09.2007	Vollständiger Datensatz
Kristallcanyon, 1323/57	Wind	-	-	Speicherkarte beim Transport verloren
Messpunkt 2, –150 m	Temperatur	07.09.2006	06.07.2007	Vollständiger Datensatz
Wetterstation Loferer Alm Höhe 1623 m	Lufttemperatur	04.09.2006	19.09.2007	Vollständiger Datensatz

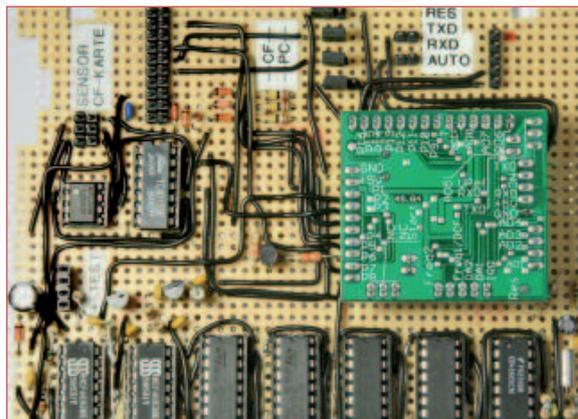
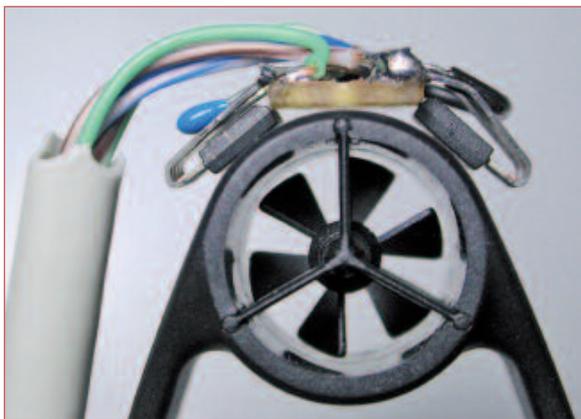
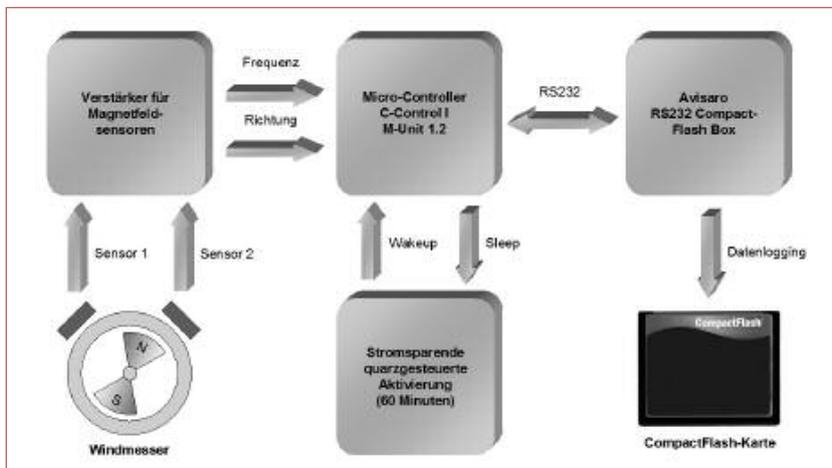


Abb. 3: Modifizierter Anemometer (oben links) und Elektronik (oben rechts).

Abb. 4: Architektur Windmesser (rechts).

Abb. 5: Temperaturlogger (unten).



Temperaturlogger

Zur Messung des Temperaturverlaufs wurde der Temperaturlogger M-Log 1 der Firma GeoPrecision (www.geo-precision.com) eingesetzt. Mit dem robusten und wasserdichten Gerät können bis zu 125.000 Temperaturwerte mit einer Auflösung von 0,01 °C und einer Genauigkeit von 0,05 °C gespeichert werden. Der Startzeitpunkt der Messung und der Messzyklus (5 s bis 12 h) sind einstellbar. Mit einer Lebensdauer der Lithium-Batterie von bis zu fünf Jahren ist ein mehrjähriger Einsatz im Hochgebirge bzw. in Höhlen problemlos möglich (Abb. 5).

Wetterstationen

Die benötigten Daten von Wetterstationen wurden vom Datenservice des Deutschen Wetterdienstes (www.dwd.de) zur ausschließlichen Verwendung für Forschung und Lehre zur Verfügung gestellt. Die dem Loferer Schacht am nächsten gelegene Wetterstation ist die Station Loferer Alm (DWD11139, Höhe 1623 m). Von dieser Wetterstation liegen stündliche Daten zu Lufttemperatur, Niederschlagshöhe, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie Luftdruck vor.

Der Kern der Auswertungselektronik besteht aus einem Micro-Controller mit Basic-Programm, der quartzgesteuert einmal pro Stunde aktiviert wird. Die Messwerte werden in Windgeschwindigkeit und -richtung umrechnet und zusammen mit Datum und Uhrzeit in eine Textdatei auf einer CompactFlash-Karte gespeichert (Abb. 4).

Ein Messvorgang ist nach zwei Sekunden abgeschlossen, so dass der Micro-Controller wieder deaktiviert werden kann. Durch den Stromsparmmodus ist ein einjähriger Betrieb mit sechs AA Lithium-Batterien möglich.

MESSUNGEN IM LOFERER SCHACHT

Die im Loferer Schacht an Messpunkt 1 (-60 m) gemessenen Temperaturen liegen im Messzeitraum zwischen 0,25 und 3,2 °C. Die Tagesdurchschnittswerte korrelieren über längere Perioden sehr gut mit den Außentemperaturen, dagegen wird untertäglich keine signifikante Abhängigkeit beobachtet.

Wie bereits in der Saison 2004 / 2005 kann aufgrund des Vergleichs der stündlichen Messwerte der Höhlentemperatur mit den Lufttemperaturen der Wetterstation Loferer Alm eine komplexe Abhängigkeit von lokalen Faktoren angenommen werden. Diese sind u. a. die Außentemperatur im näheren Bereich des Eingangs, der Wassereintrag durch Niederschlag und Schmelzwasser sowie die Stärke der Oberflächen- und Höhlenwinde.

Anhand der mehrere Monate relativ konstant bleibenden Tagesdurchschnittstemperaturen im Loferer Schacht lässt sich zumindest eine grobe Aussage über die Dauer des winterlichen Schneeverchlusses machen (Abb. 6, Schneeverchluss von Anfang Januar bis Mitte Juni 2007). Durch die nachfolgende Auswertung der durchgeführten Windmessung wird dieser Zeitraum weiter konkretisiert.

Die Windmessung am Messpunkt 1 wurde an einer Engstelle mit einem Querschnitt von ca. 2 m² durchgeführt. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten

(Abb. 7) liegen im Messzeitraum zwischen 7,25 km/h abwärts und 10 km/h aufwärts. Windgeschwindigkeit und -richtung sind keineswegs konstant, es treten vielmehr ca. 30 mal mehrere Stunden bis Tage andauernde Winde auf, deren Verteilung jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt.

Im Sommer treten vorwiegend Abwinde auf, die in Summe über einen Zeitraum von 30,9 Tagen gemessen wurden. In Gegensatz dazu konzentrieren sich die wesentlich kürzeren Aufwinde im Herbst, die in Summe über einen Zeitraum von 7,4 Tagen beobachtet wurden. Im Winter und Frühjahr sind wegen des Schneeverchlusses keine Winde nachweisbar (Abb. 8). Besonders aufschlussreich ist die Gegenüberstellung der Windmessungen mit den Lufttemperaturen an der Wetterstation Loferer Alm (Abb. 9). Aufwinde treten überwiegend in Zusammenhang mit Temperaturstürzen auf. Beispielsweise erreichte der Aufwind seinen Maximalwert von 10 km/h, als um den 30.10.2006 die Temperatur innerhalb von 42 Stunden um 22 °C bis weit unter den Gefrierpunkt sank.

Für das Auftreten von Abwinden sind hohe Außentemperaturen erforderlich. Grob kann man davon ausgehen, dass ein Abwind dann auftritt, wenn die Tagesdurchschnittstemperatur über die mittelfristige Trendtemperatur ansteigt.

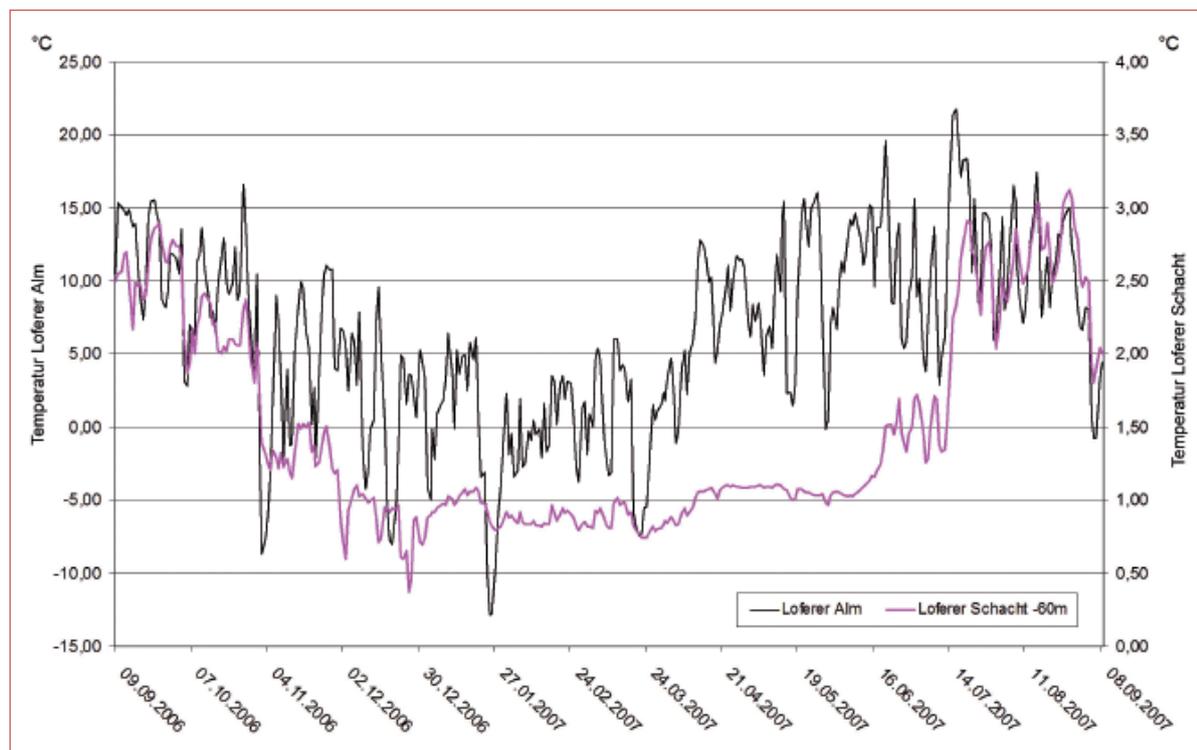


Abb. 6: Temperaturmessung im Loferer Schacht.

Hartig / Messung der Wetterführung im Loferer Schacht und im Kristallcanyon, Loferer Steinberge (Österreich)

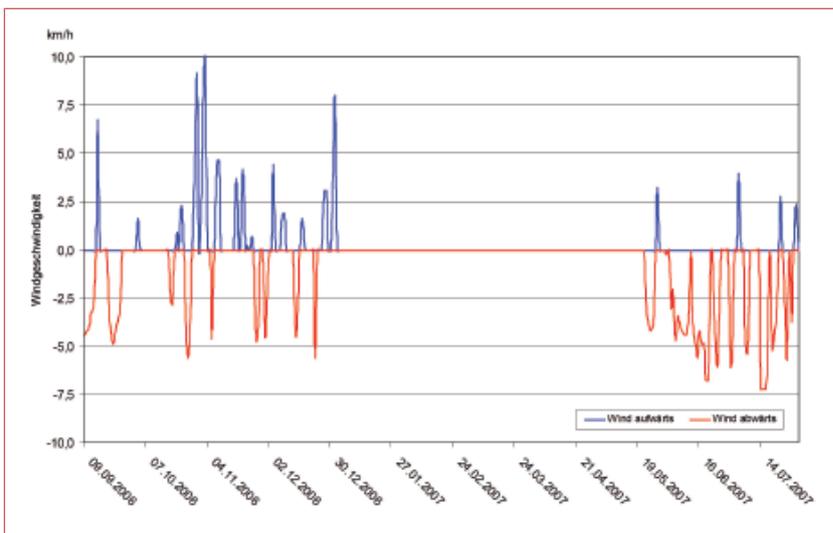


Abb. 7: Windmessung im Loferer Schacht.

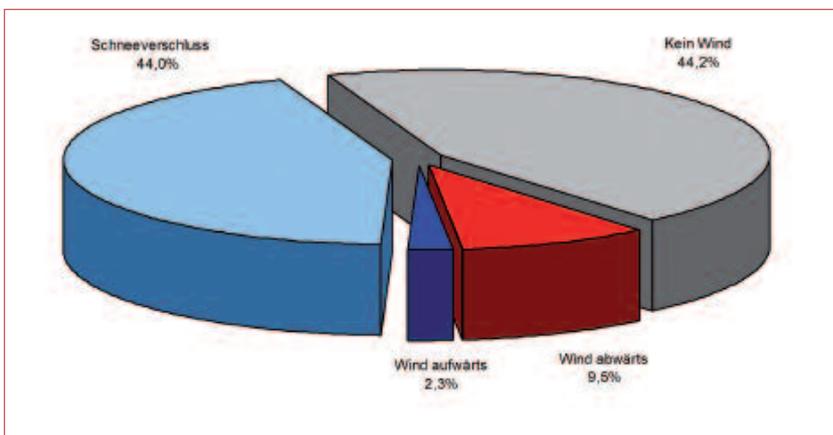


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Windsysteme.

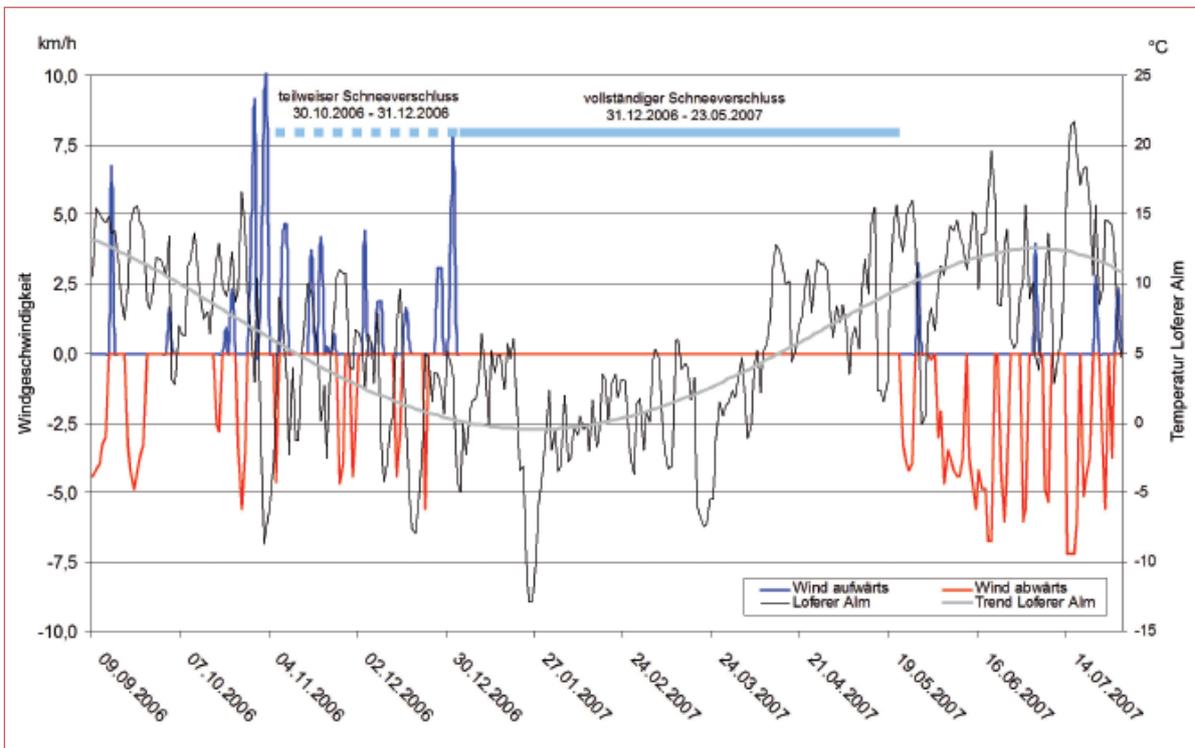


Abb. 9: Vergleich von Windmessung mit der Außentemperatur.

Hartig / Messung der Wetterführung im Loferer Schacht und im Kristallcanyon, Loferer Steinberge (Österreich)

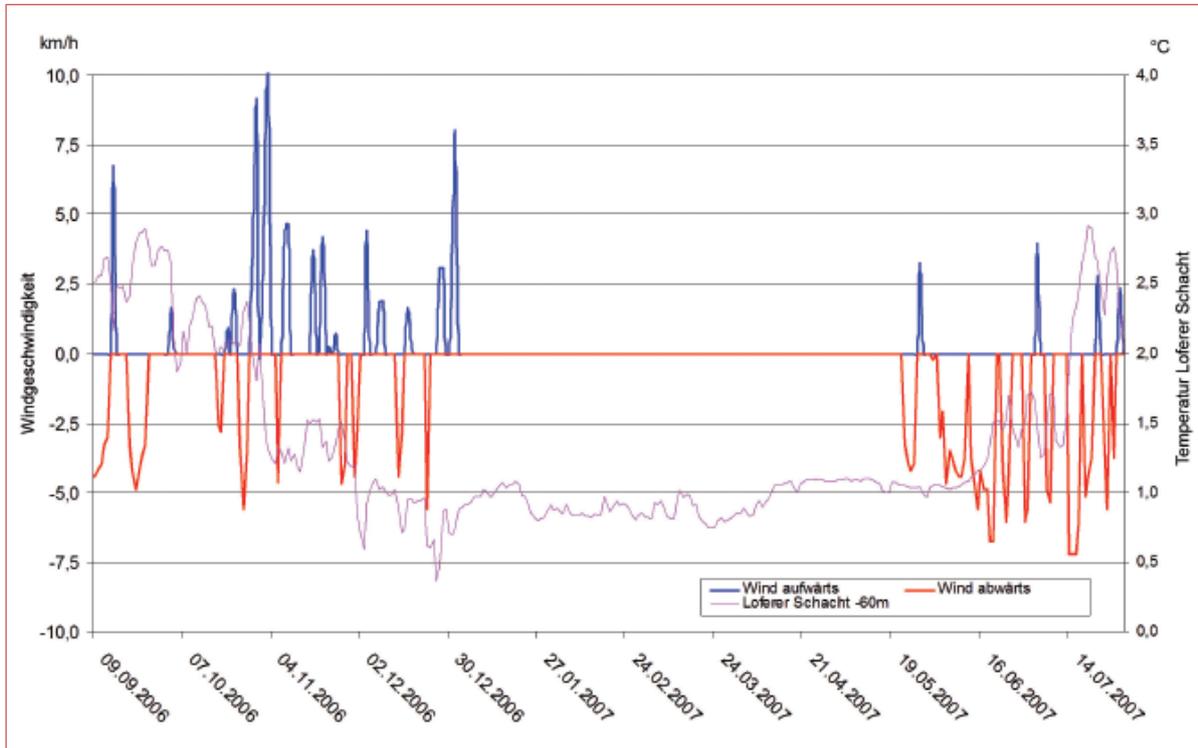


Abb. 10: Vergleich Windmessung mit der Temperatur in -60 m.

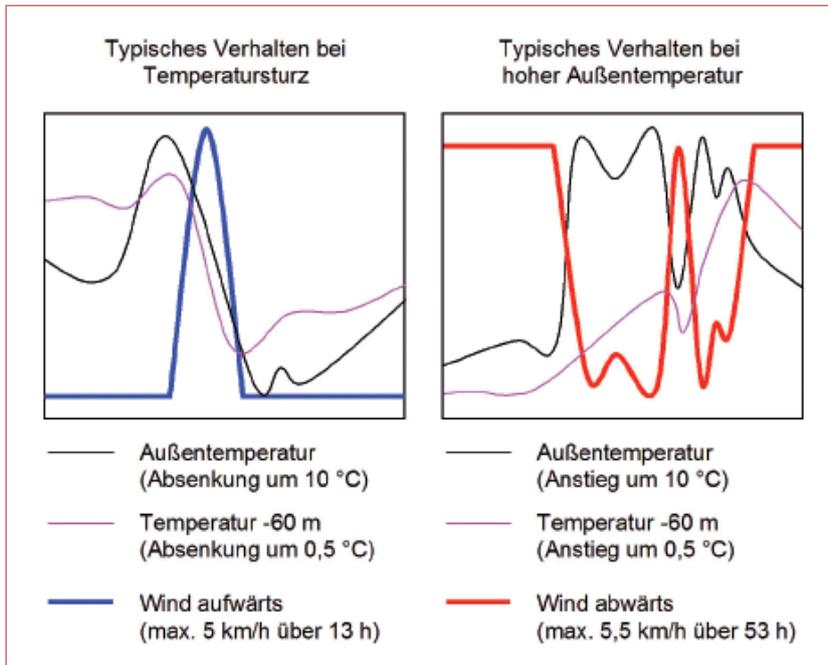


Abb. 11: Schematische Darstellung des typischen Wind- und Temperaturverhaltens.

Die Auf- und Abwinde wirken sich direkt auf die gemessenen Temperaturen am Messpunkt 1 in -60 m aus. Die Abwinde transportieren warme Umgebungsluft in den Loferer Schacht, Aufwinde ziehen kühle Luft aus tiefer gelegenen Öffnungen an (Abb. 10). Die im Schnitt kleineren Amplituden der Aufwinde bestätigen den Einfluss konvektiver Luftzirkulation.

Im Falle eines Sturzes der Außentemperatur unter die durchschnittliche Höhlentemperatur von 1,5 °C entsteht typischerweise ein im Schnitt ca. 13 Stunden anhaltender Aufwind. Die in der Regel mit einem Temperatursturz einhergehende Abnahme des Luftdrucks weist auf barometrische Luftzirkulation hin, wobei der Vergleich mit dem an den Wetterstationen gemessenen Luftdruck noch nicht durchgeführt wurde (Abb. 11).

Das Verhalten bei hohen Temperaturen ist dagegen stabiler. Die kältere und schwerere Höhlenluft sinkt nach unten, wobei die Abwinde im Schnitt ca. 53 Stunden anhalten. Die Windstärke verhält sich proportio-

nal zur Außentemperatur und bestätigt eine konvektive Luftzirkulation. Die Temperatur in -60 m steigt durch den andauernden Eintrag warmer Umgebungsluft sukzessive an.

MESSUNGEN IM KRISTALLCANYON

Im Kristallcanyon wurde am Messpunkt 2 (-150 m) ein vom Loferer Schacht völlig abweichender Temperaturverlauf gemessen (Abb. 12). Die Temperaturen liegen im Messzeitraum zwischen 0,24 und 1,4 °C. Die im Frühjahr und Sommer relativ konstante Temperatur um ca. 1 °C deutet für diese Jahreszeit auf ein von der Oberfläche unabhängiges großes Windsystem hin.

Mit dem Auftreten der ersten Fröste bzw. Schneefälle Ende Oktober 2006 sinkt die Temperatur im Kristallcanyon bis auf das Minimum von 0,24 °C ab, was auf einen kalten lokalen Windeintrag schließen lässt. Die Messungen zwischen dem 21.01.2007 und 09.04.2007 weisen auf einen vollständigen Schneeverchluss im Umfeld des Kristallcanyons hin. In diesem Zeitraum verhalten sich die Temperaturen im Kristallcanyon exakt gegensätzlich zu den Außentemperaturen der Wetterstation Loferer Alm. Ein Absinken der Außentemperatur um z. B. 10 °C ruft einen Anstieg der

Höhletemperatur um ca. 0,50 °C hervor und umgekehrt.

Die Aufzeichnung der Windmessungen an Messpunkt 2 ist aufgrund einer beim Transport herausgefallenen Speicherkarte leider misslungen. Daher kann nur vermutet werden, dass das beobachtete Phänomen auf einen, durch Konvektion hervorgerufenen „Kamineffekt“ zurückzuführen ist, der im Kristallcanyon einen warmen Aufwind aus dem Tal hervorruft. Je tiefer die Außentemperatur sinkt, desto stärker ist der Wärmetransport des Aufwinds. Der über drei Monate andauernde Kamineffekt ist lediglich unter einer absolut geschlossenen Schneedecke möglich, wobei die Luft in den steilen Flanken des Gipfelbereichs wieder austritt. Mit der Schneeschmelze und der damit verbundenen Öffnung von Klüften bricht der Aufwind im Frühjahr unvermittelt zusammen.

Es ist geplant, die Windmessung in der Saison 2008 / 2009 erneut anzusetzen.

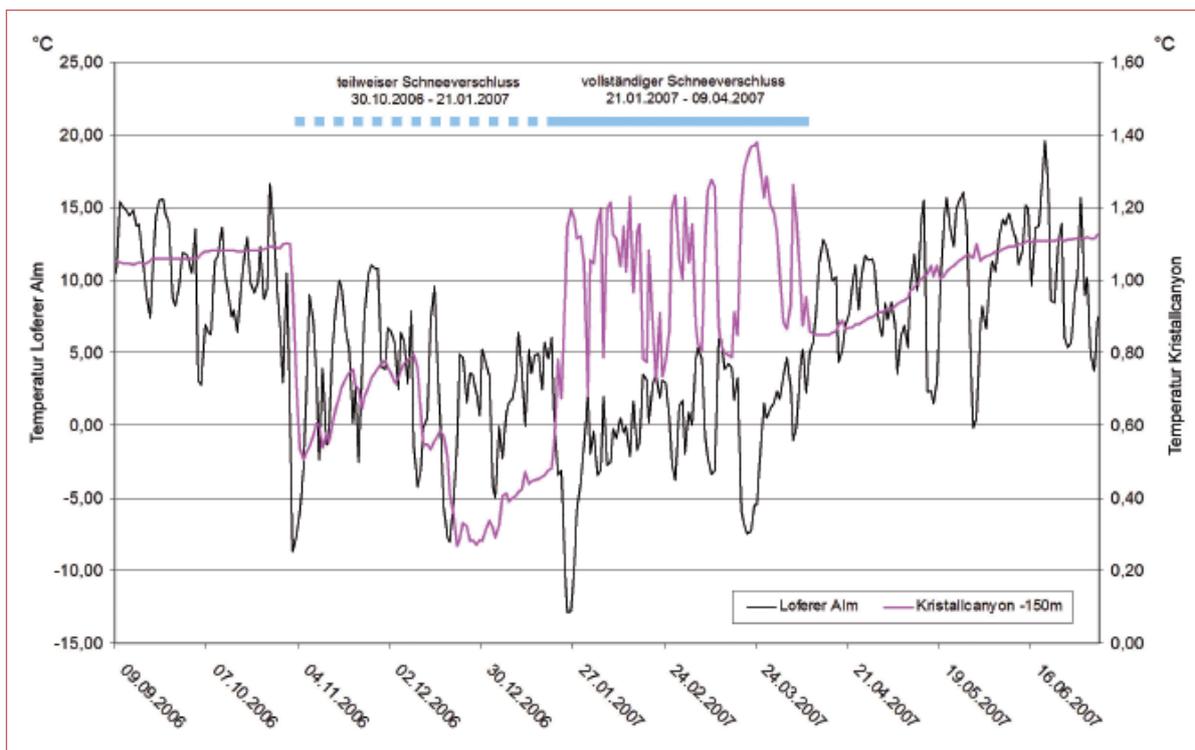


Abb. 12: Temperaturmessung im Kristallcanyon.

WINDSYSTEME DER LOFERER STEINBERGE

Aufgrund der durchgeführten Temperatur- und Windmessungen lassen sich drei prinzipielle Windsysteme in den Loferer Steinbergen annehmen. Im Frühjahr und im Sommer treten in den Höhlensystemen aufgrund der warmen Außentemperaturen vermutlich anhaltende Abwinde auf, die von den Klüften in der Südwand des Gebirges ausgehen. Diese werden bei hohen Temperaturen durch den nachgewiesenen Windeintrag über den Loferer Schacht verstärkt (Abb. 13). Sinkende Außentemperaturen im Herbst führen zu andauernden Aufwinden

den, die u. a. kalte Luft in den Kristallcanyon einziehen und bei Temperaturstürzen zu starken Aufwinden im Loferer Schacht führen (Abb. 14). Eine vollständig geschlossene Schneedecke verursacht im Winter und Frühling andauernde Aufwinde aus tiefer gelegenen wärmeren Höhlenteilen (Abb. 15).

Der Umfang der vermuteten sommerlichen Abwinde bzw. winterlichen Aufwinde am Boden des Loferer Schachts sollen in der Saison 2008 / 2009 mit einer Windmessung in -600 m nachgewiesen werden.

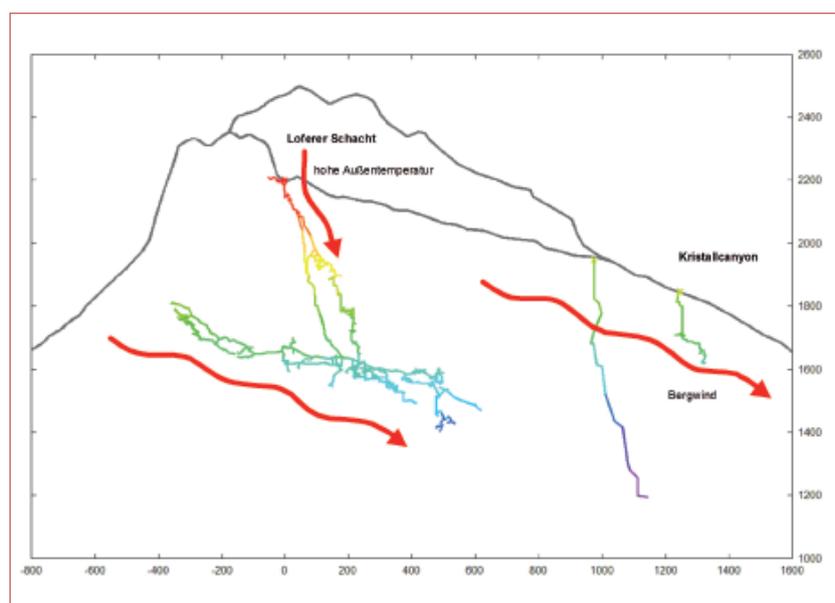


Abb. 13: Windsysteme im Frühjahr und im Sommer.

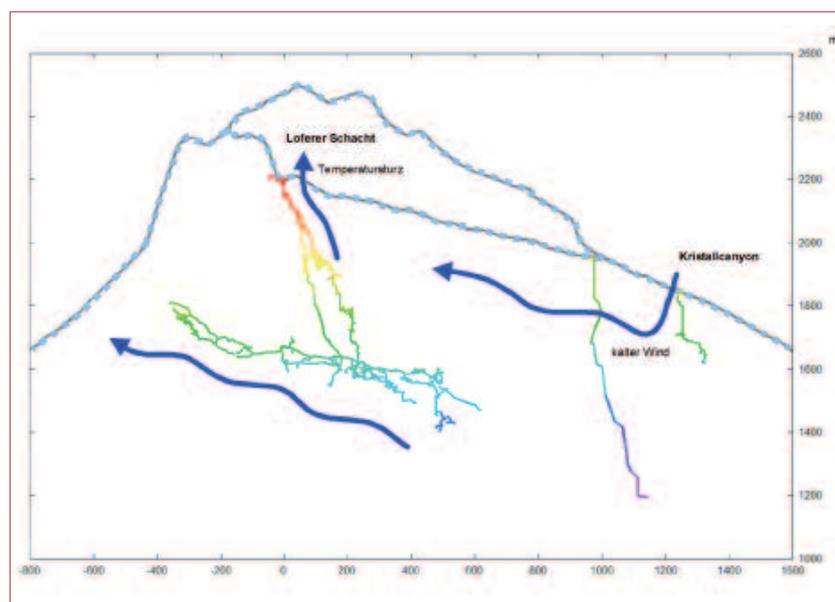


Abb. 14: Windsysteme im Herbst (teilweiser Schneeverschluss).

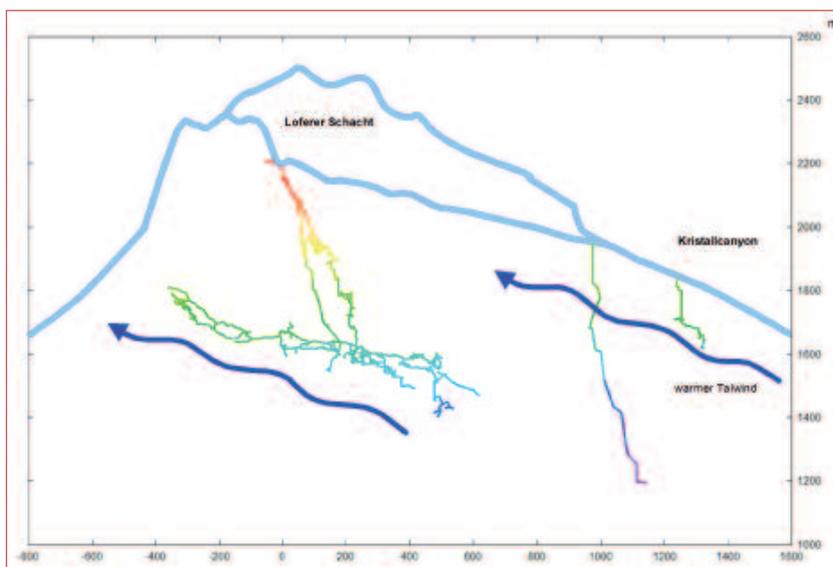


Abb. 15: Windsysteme im Winter und im Frühjahr (vollständiger Schneeverchluss).

DANKSAGUNG

Die Forschung in den Loferer Steinbergen wurde durch die freundliche Unterstützung folgende Einrichtungen ermöglicht:

- Deutscher Alpenverein Sektion Frankfurt am Main e.V.
- Deutscher Wetterdienst
- Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg
- Österreichische Bundesforste AG
- Salzburger Landesregierung
- Schmidt-Zabierow-Hütte



LITERATUR

- Ciszewski, A. & Klappacher, W. (2007): Polnische Forschungen in den Höhlen Salzburgs - Teil 1: Die Erfolge der Krakauer Höhlenforscher (KKTJ). Die Höhle 58 (1-4): 35-49.
- Filipponi, M. (2003): Das Klima der Schratthöhle - Auswertung einer 10-jährigen Messreihe. - Semesterarbeit an der ETH-Zürich, Download unter http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/semarb/semarb_45.pdf.
- Hartig, J., Kube, O. & Roth, J. (2003): Loferer Schacht, Erforschung durch die DAV Höhlengruppe Frankfurt/Main von 1990-2003. - Mitt. des Verbands deutscher Höhlen- und Karstforscher, 2003 (4): 94-101.
- Hartig, J. (2005): Temperaturmessung im Loferer Schacht. ATLANTIS 3-4/05: 25-34 und <http://www.caverender.de/temperatur/temperatur.htm>, aufgerufen am 19.02.2008.
- Hartig, J. (2006), Bauanleitung Langzeit-Windmesser, <http://www.caverender.de/wind/windmesser.htm>, aufgerufen am 19.02.2008.
- Hartig, J. (2007), DAV Höhlengruppe Frankfurt/Main, Forschungsberichte und Höhlenpläne Loferer Schacht und Kristallcanyon, <http://www.caverender.de/davhgffm/davhgffm.htm>, aufgerufen am 19.02.2008.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: [059](#)

Autor(en)/Author(s): Hartig Jochen

Artikel/Article: [Messung der Wetterführung im Loferer Schacht und im Kristallcanyon, Loferer Steinberge \(Österreich\) 3-12](#)