

Höhlenklima-Projekt im O17 – Schlussbericht

✍ Marco Filipponi

In der Schachthöhle **O17** (Gamsalp-Zone O, Churfirten) haben wir zwischen Juli 2000 und Juli 2002 das Klima mittels automatischer Messgeräte untersucht. Die Höhle O17 ist eine der längsten und tiefsten der Gamsalp.

Die Messungen beschränkte sich auf die Lufttemperatur (siehe auch AGS-INFO 2/00 und 2/01), mit den Zielen:

- Den Temperaturverlauf der Luft in den verschiedenen Höhlenteilen des O17 zu beschreiben.
- Anhand des Lufttemperaturverlaufs die Intensität der Wechselwirkungen zwischen dem Höhlenklima und dem Aussenklima abzuschätzen.
- Den Einfluss von Hoch- und Schmelzwässern auf die Lufttemperatur in der Höhle zu untersuchen.

Kurze Höhlenbeschreibung

(siehe auch AGS-Info 2/98)

Der Eingang der Schachthöhle O17 befindet sich auf 1870 m ü. M. in der Westflanke des Gamserruggs in den Churfirten. Die Höhle besteht aus einem Hauptgang und zwei Nebengängen. Der Hauptgang führt über mehrere Schachtstufen bis in eine Tiefe von -185 m.

Auf -105 m führen zwei Nebengänge horizontal weg: Der Stollen endet nach rund 100 m in einem unpassierbaren Siphon; der Mäander führt zum Dom, der vermutlich mit dem Eingangsschacht zusammenhängt, jedoch oben verstürzt ist.

Vom Dom her fließt fast ganzjährlich ein kleiner Bach durch den Mäander in den Hauptschacht. Dieser Bach kann bis ans Ende der Höhle verfolgt werden und hat eine Schüttung, die stark vom Niederschlag abhängig ist. Der Bach schwillt bei einem Gewitter schnell an und kann bis zu rund 20 l/s führen.

Die Höhle O17 hat keine ausgeprägte Bewetterung. Der Höhlenwind ist meist nur kaum wahrnehmbar, jedoch scheint es, dass ihm der konvektive Mechanismus zugrunde liegt (d.h. im Sommer strömt die Luft abwärts und im Winter aufwärts).

Messanordnung (vgl. AGS Info 2/01)

Die Messungen erfolgten mittels Messgeräten (Minilog TX von VEMCO), die automatisch im 1.5-Stunden-Takt die Temperatur mit einer Genauigkeit von ± 0.2 °C messen.

Im Juli 2000 wurden an elf Standorten im O17 gemessen, um geeignete Messstandorte zu finden für den "Langzeitversuch"

Im ersten Messjahr (2000/2001) wurde an fünf Stellen in der Höhle gemessen: -11 m, -85 m, -105 m, Stollen (-111 m), -182 m. Messgeräte wurden frei hängend an die Felswand platziert.

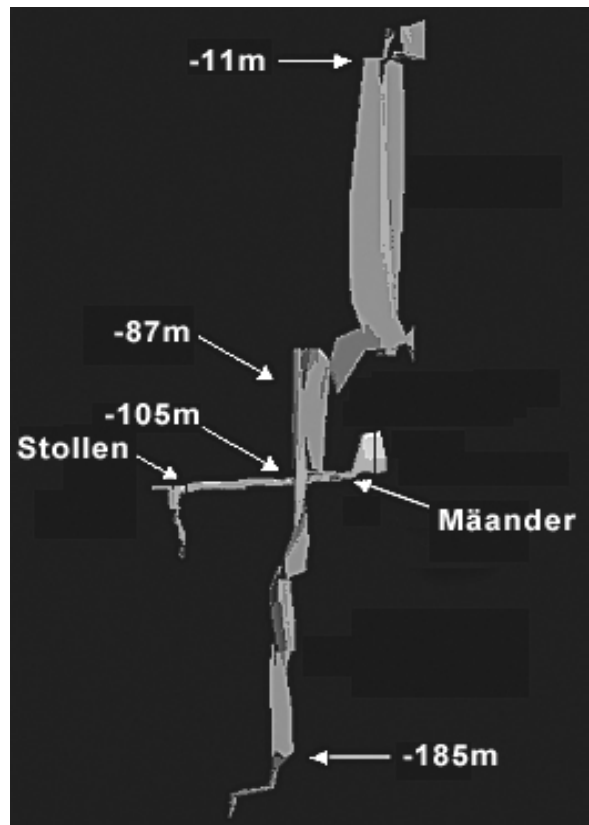


Abb. 1: 3D-Darstellung des O17 mit den Messstationen.

Im zweiten Messjahr (2001/2002) wurden dieselben Messstandorte wie im Jahr zuvor gewählt. Nur derjenige aus dem Stollen wurde neu im Mäander zum Dom platziert. Dieses Messgerät wurde 20 cm über der Gangsohle aufgehängt (Abb. 5), in der Hoffnung, dass mit dessen Messung Informationen über das Schüttungsverhalten des Höhlenbachs gewonnen werden könnten.

Messresultate

Die Messgeräte massen alle 1.5 Stunden die Temperatur. Um die Datenmenge besser handhaben zu können und die Messgenauigkeit zu erhöhen wurden jeweils Tagesmittel errechnet.

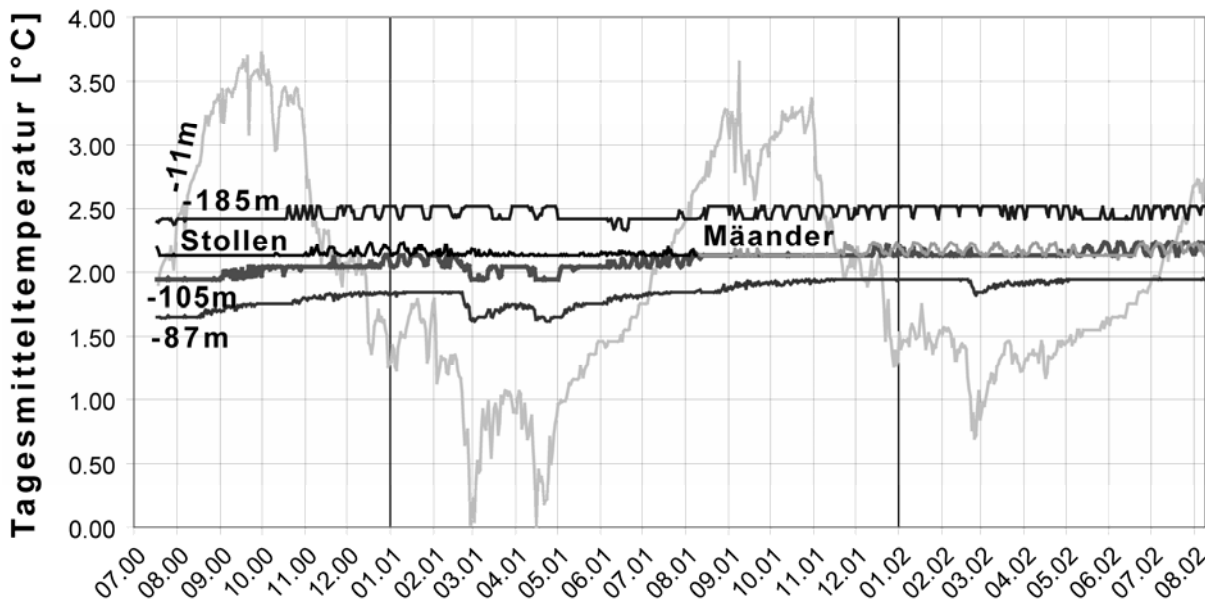


Abb. 2: Messung der Lufttemperatur im O17 (vgl. auch Abb. 7)

Jahreszeiten im O17

Die Messreihen zeigen einen Jahreszyklus, der mit zunehmender Tiefe immer weniger ausgeprägt ist, sowohl in Intensität als auch Dauer (Tab.1). Es lässt sich ein Sommer- und ein Winterklima unterscheiden. (s. AGS-Info 2/01).

Die Tagesgänge des Aussenklimas konnten nur noch bei der Station -11 m erkannt werden.

Bei der Messstation auf -11 m dauerte der Winter von November bis Mai und der Sommer von Mai bis November, wobei im Winter die Lufttemperatur von 3.3 °C auf 0 °C (Winter 00/01) resp. 0.7 °C (Winter 2001/02) fiel, und der Sommer durch einen stetigen Anstieg der Temperatur bis auf rund 3.7 °C charakterisiert ist.

Bei den Messstationen auf -87 m und -105 m dauerte der Winter 2000 von Mitte Februar bis Anfangs Juni, wobei die Temperatur bei der Station „-87 m“ von rund 1.85 auf 1.65 °C fiel und bei „-105 m“ von 2.05 auf 1.95 °C. Im Winter 2001 ist auf -87 m nur ein kürzerer und

Winter 2000 / 2001

Messstation	von ... bis ...	Min [°C]	Max [°C]	Mittelwert [°C]
-11 m	November 2000 bis Mai 2001	0	3.3	1.34
-87 m	Mitte Feb 2001 bis Juni 2001	1.65	1.85	1.70
-105 m	Mitte Feb 2001 bis Juni 2001	1.95	2.05	1.99
-185 m	Juni 2001	2.35	2.45	2.37

Sommer 2001

Messstation	von ... bis ...	Min [°C]	Max [°C]	Mittelwert [°C]
-11 m	Mai 2001 bis November 2001	1	3.5	2.42
-87 m	Juni 2001 bis Mitte Februar 2002	1.75	1.95	1.90
-105 m	Juni 2001 bis ...	1.95	2.05	2.12
-185 m	Juli 2001 bis ...	2.35	2.45	2.49

Tab 1: Die Jahreszeiten im O17 (Temperaturangaben jeweils Tagesmittel)

weniger intensiver Winter zu erkennen, der bei der Messstation auf -105 m ganz fehlt.

Bei der Messstation „-185 m“ konnte nur im Juni 2001 ein „Winter“ erkannt werden, der rund 0.1 °C tiefere Temperaturen aufwies.

Im **Dom** und im **Stollen** konnten keine Jahreszeiten erkannt werden.

Der vertikale Lufttemperaturgradient

Der vertikale Lufttemperaturgradient gibt an, um wie viel Grad Celsius die Luft abgekühlt wird, wenn man sie um einen Kilometer in die Höhe verschieben würde. Für trockene Luft (trockenadiabatisch) beträgt der theoretische Gradient $-9.8 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ und für feuchte Luft etwa $-6 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$. Für die Beurteilung der Situation im O17 wurde mit den Tagesmittelwerten gerechnet (Abb. 4).

Zwischen **-11 und -87 m** variiert der Gradient von stark positiv zu stark negativ. Dies als Folge des relativ intensiven Jahresverlaufs der Temperatur bei der Messstation **-11 m** und der relativ konstanten Temperatur bei **-87 m**.

Der in der zweiten Hälfte des Jahres jeweils positive Gradient sollte zu einer starken konvektiven Luftzirkulation führen. Eine solche konnte aber nicht beobachtet werden.

Bei der Interpretation der Messresultate ist die Beurteilung des Höhlenverlaufs wichtig: Der Eingangsschacht fällt bis auf rund **-90 m**, um dann über eine Gegensteigung in die nächste Schachtstufe weiter zu führen, in der sich die Messstation „**-87 m**“ befindet. Diese Gegensteigung wirkt wie eine Kaltluftfalle (zum Teil liegt vor ihr noch bis spät in den Sommer hinein Schnee) und ist auch verantwortlich für die starke jahreszeitliche Verzögerung in den tieferen Höhlenteilen.

Im Bereich von **-87 bis -105 m** liegt der Gradient tiefer (steiler) als der theoretische Gradient der trockenen Luft. Eigentlich wäre ein leicht höherer (flacherer) Gradient zu

erwarten gewesen, da sich keine nennenswerten Wasserläufe im Schacht befinden, jedoch die Luft dennoch eine hohe relative Feuchte haben wird. Der zu steile Gradient entsteht vermutlich durch das Zusammenspiel der Messgenauigkeit der Logger und dem relativ kleinen Höhenunterschied, dennoch scheint ein Temperaturgradienten nahe jener der trockenen Luft plausibel.

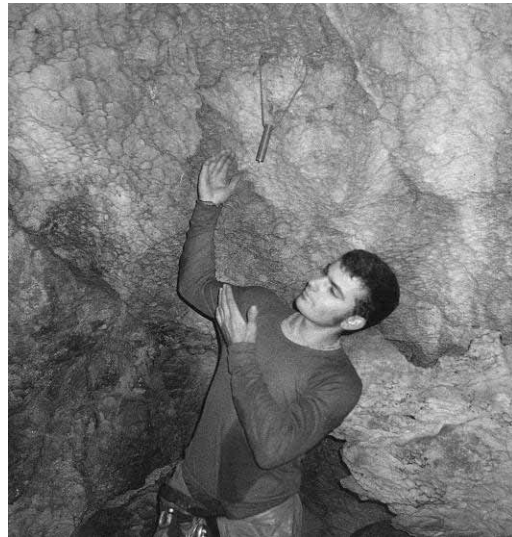


Abb. 3: Messgerät auf dem 105er-Bödeli.

In der Schachtzone zwischen **-105 und 185 m** schwankt der vertikale Temperaturgradient zwischen -4 und $-7 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ und entspricht jenem von gesättigter, feuchter Luft. Dies als Folge vom Höhlenbach, der vom Dom her in die Schachtzone fließt und bis ans Ende der Höhle im Höhlengang anzutreffen ist.

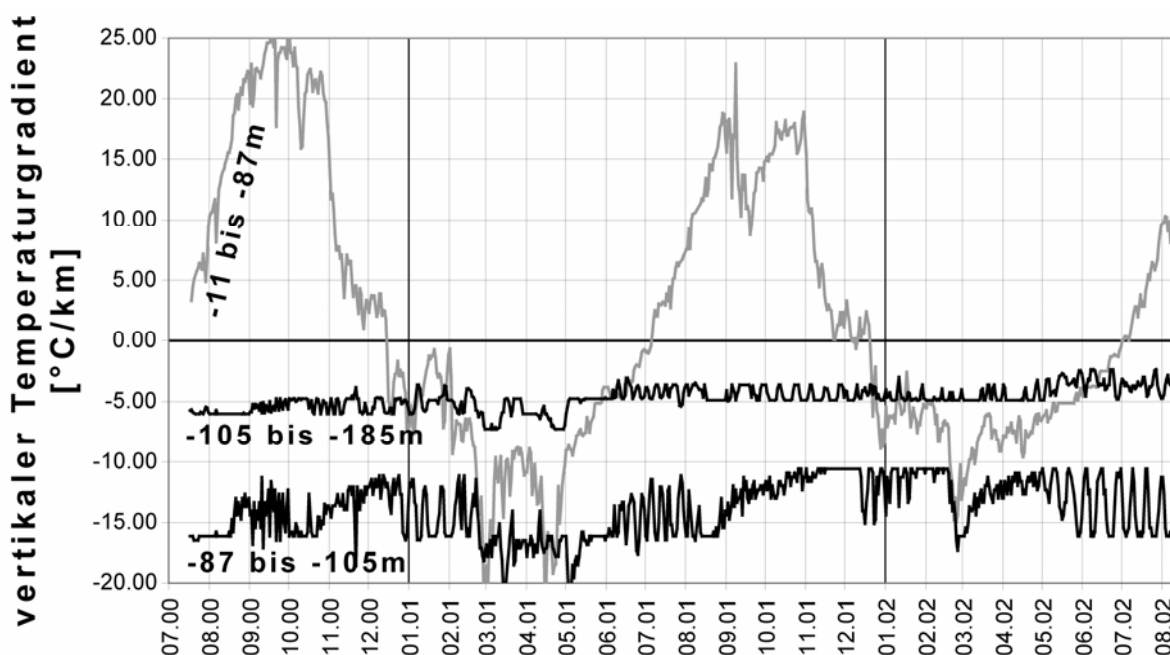


Abb. 4: Verlauf der vertikalen Lufttemperaturgradienten im O17.

Einfluss von Schneeschmelze und Gewitter auf das Höhlenklima

In der Messperiode vom August 2001 bis August 2002 wurde im Mäander der zum Dom führt, eine Messstation knapp über der Gangsohle eingerichtet (Abb. 5), in der Hoffnung damit Hochwässer durch Schneeschmelze und Gewitter zu erkennen und ihren Einfluss auf das Höhenklima abzuschätzen. Leider wurde nur ein unsicheres Ereignis aufgezeichnet: Am 7. Juni 2002 um 15 Uhr fiel die Temperatur des Messgerätes von 2.15 auf 2.05 °C. Dieses Ereignis konnte jedoch in den anderen Messstationen nicht wieder gefunden werden.

Offen bleibt, ob die Messanordnung bei Hochwasser nicht unter das Wasser geriet, oder ob die Dauer der Hochwässer jeweils so kurz waren, dass sie jeweils nicht vom Messintervall erfasst wurden oder ob das Wasser bereits nahezu im Gleichgewicht mit der Lufttemperatur ist.

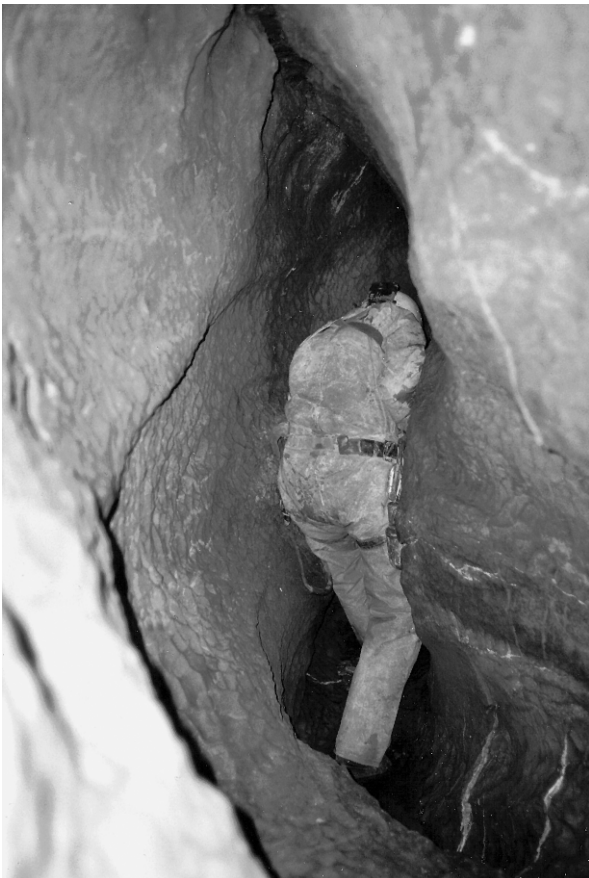


Abb. 6 Mäander zum Dom

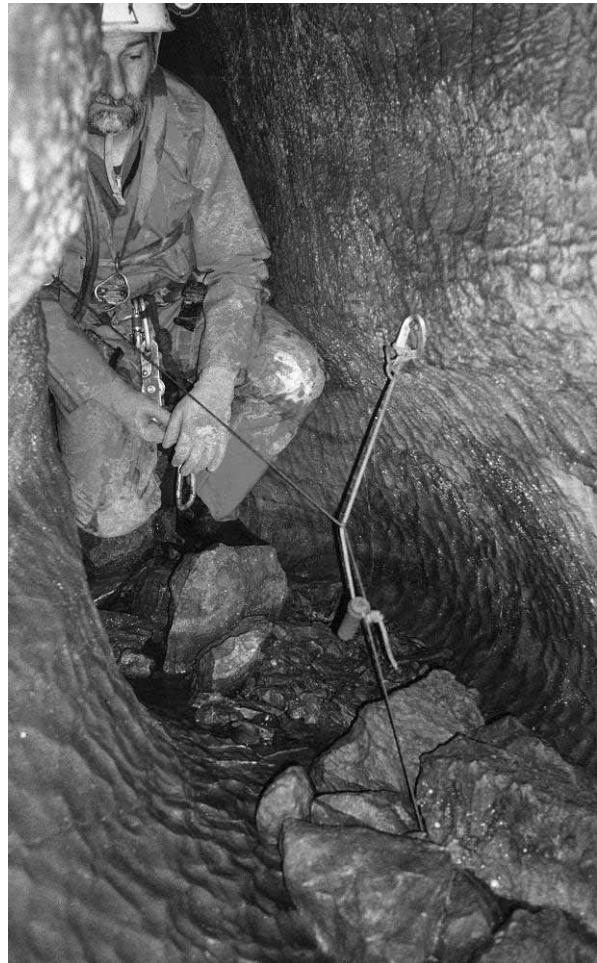


Abb. 5 Messstation im Mäander zum Dom

Periodische Temperaturschwankungen

Auffallend an den Messreihen der unteren Messstationen (-105 m, Stollen, Mäander, -185m) sind die periodischen Schwankungen mit einer Amplitude von rund 0.1 °C, die zwei bis drei Mal im Monat auftreten. Da die in Abb. 7 dargestellten Messwerte jeweils die Tagesmittel darstellen, kann von einem Artefakt der Messgeräte abgesehen werden. Ausserdem lassen sich die Schwankungen der Station -105 m, Stollen und Mäander sehr gut mit einander korrelieren. Die Station -185 m scheint bezüglich diesen verschoben zu sein. Interessant ist auch, dass es den Anschein macht, dass die Amplituden langsam anwachsen und dann wieder abnehmen (vor allem bei der Messstation im Stollen). Leider konnte für diese periodische Schwankung keine Erklärung gefunden werden.

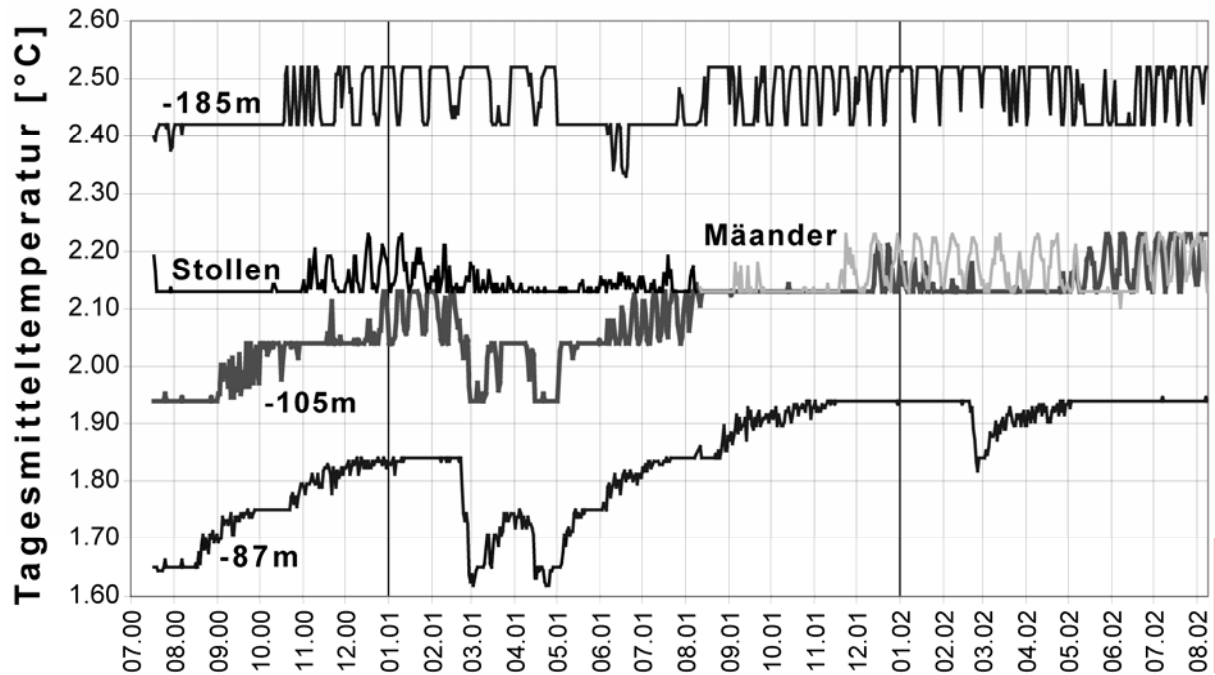


Abb. 7: Temperaturverlauf einiger Messstationen.

Fazit

Aus den zwei Messjahren (Juli 2000 bis August 2002) lassen sich folgende Schlussfolgerungen für das Klima im O17 formulieren:

- Die Bewetterung der Höhle ist sehr gering, was zu einer Verschiebung der Jahreszeiten in den verschiedenen Höhlenteilen bis zu mehrere Monate führt.
- Die Messstation auf -11 m reagiert mit geringerer Verzögerung auf die Tagesgänge des Aussenklimas (und auch mit einer viel kleineren Amplitude). Die restlichen Messstationen sind unbeeinflusst vom Tagesgang des Aussenklimas. Der Jahresverlauf des Aussenklimas liess sich im Jahre 2001 bis in die untersten Teile der Höhle (-185 m) beobachten. Im Stollen und im Dom sind keine Jahreszeiten zu erkennen.
- Die Gegensteigung am Ende des Eingangsschachts (-90 m) wirkt wie eine Kaltluftfalle und verhindert das schnelle Eindringen der kalten Luft im Winter und hemmt die konvektiv angetriebene Luftzirkulation.
- Der Einfluss von Hochwasserereignissen auf das Höhlenklima konnte nicht nachgewiesen werden.
- Bei einigen Messstationen wurden periodische Temperaturschwankungen in der Grössenordnung von 0.1 °C beobachtet, denen jedoch keine Ursache zugewiesen werden konnte.
- Es lassen sich aus klimatischer Sicht vier Höhlenteile unterscheiden:
 - ⇒ Eingangsschacht,
 - ⇒ Schachtstufe von -87 bis -105 m mit einem vertikalen Temperaturgradienten nahe jenem der trockenen Luft,
 - ⇒ Schachtserie von -105 bis -185 m mit einem vertikalen Temperaturgradienten von feuchter Luft.
 - ⇒ Der Stollen und der Dom haben ein ähnliches Verhalten und weisen im Gegensatz zu den anderen Höhlenbereichen keine "Jahreszeiten" auf.