

# Höhlenklimabeobachtungen im Bauerloch

## Im Zusammenhang eines Höhlenklima-Workshops im JuHöFoLa 2000

von Marco Filipponi  
[hoehlenklima@hotmail.com](mailto:hoehlenklima@hotmail.com)

*Im Rahmen des JuHöFoLa 2000 durfte ich einen Workshop über Höhlenklima durchführen. Ein Teil des Workshops bestand aus der Aufgabe die Lufttemperaturmessungen, die die Geologiegruppe während einigen Tagen im Bauerloch bei Neuffen gemacht hatte, zu interpretieren.*

### 1 Wieso Höhlenklimatologie?

Wieso soll man sich überhaupt mit dem Klima der Höhlen befassen? Grundsätzlich ist das Höhlenklima ein integraler Bestandteil des Karstes und somit eine Disziplin der Speläologie. Die Erkenntnisse aus diesen Arbeiten fließen in ganz verschiedene Bereiche, zum Beispiel:

- **Exploration:** Der Höhlenwind mit seiner Energie kann uns Informationen geben, wieviel Hohlraum sich hinter einer Engstelle befindet, und somit, ob es sich lohnt, die Engstelle zu erweitern, oder ob zwischen zwei Messstationen ein noch unentdeckter Nebengang existiert.
- **Höhenschutz:** Wie viele Besucher dürfen die Höhle in einem bestimmten Zeitintervall begehen, dass sich die Höhle von selbst wieder erholen kann? - Sensibilität der Höhle auf Besucher.
- **Entwicklung der Höhle:** Die Kondenswassertröpfchen, die sich an den Höhlenwänden niederschlagen, bilden mit der Zeit eigene Erosionsformen. Finden wir diese Formen an verschiedenen Stellen in der Höhle, kann es möglich sein, daraus die Entwicklung der Höhle zwischen den Eingängen zu rekonstruieren.
- **Paläogeographie und -klimatologie:** Können wir die ehemalige Windzirkulation rekonstruieren, so gewinnen wir Informationen über die Talentwicklung und das damalige Klima.
- **Belüftungssysteme:** Die Erfahrungen aus den "natürlichen" Belüftungssystemen fließen in die "künstlichen", sprich in die Belüftung im Bergbau und in Tunnels.

### 2 Methodik

Die Klimatologie befasst sich mit dem mittleren physikalischen Zustand der Atmosphäre, wobei sich der Zustand nicht nur auf zeitliche Mittelwerte bezieht (mittlere Temperaturen, Windgeschwindigkeiten, ...), sondern auf höhere statistische Momente (Varianzen, Kovarianzen, Korrelationen, ...). Damit enthält der Begriff "Klima" nicht nur Angaben über das mittlere Wetter, sondern eben auch Informationen über die typische Variabilität und die typische Abfolge innerhalb des Klimasystems.

Bei der Erforschung eines noch unverstandenen Sachverhaltes macht es oftmals Sinn, dessen Erscheinungsformen anhand messbarer Parameter zu typisieren und einzuteilen. In der Klimatologie bedient man sich daher den Klimatelementen.

Klimatelemente sind einzelne Eigenschaften oder Bedingungen, die zusammen den physikalischen Zustand der Atmosphäre beschreiben.

traditionelle Klimatologie	Höhlenklimatologie
Lufttemperatur	Lufttemperatur
Luftfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit
Windrichtung	Windrichtung
Windstärke	Windstärke
Luftdruck	Luftdruck
Niederschlag	Kondensation
Strahlung	Wassertemperatur
<i>Typische Klimatelemente</i>	

Die Definition des Klimas deutet schon an, dass zur Beschreibung eines Klimas jeweils mehrere Klimazustände (z.B. Sommer und Winter, Regenperiode und Trockenperiode, ...) beobachtet werden müssen. Üblicherweise werden Messstationen aufgestellt, die in regelmässigen Zeitabständen Messungen durchführen. Die dabei entstehenden Datensätze werden auf Zusammenhänge untersucht.

Zur Zeit beschränken sich die meisten Messreihen in der Höhlenklimatologie aus Kostengründen auf Temperaturmessungen:

Temperatur, Wind, Luftfeuchtigkeit sind Energiereservoirs. Die Messung der Temperatur ist einfach und günstig und gibt uns wichtige Informationen über den Energiegehalt der Luft und des Wassers. Nimmt die Temperatur zwischen zwei Stellen in der Höhle zu, erfolgt dies auf Kosten eines andern Energiereservoirs und umgekehrt (sofern kein weiterer Wärmefluss dazu kommt, zum Beispiel durch eine Wassereintrittsstelle oder von einem Höhlenwind eines Nebenganges).

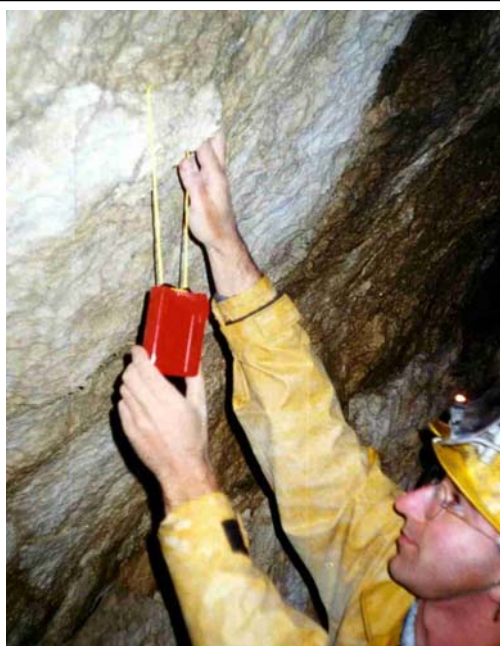
In der Regel werden zur Interpretation noch Messreihen des lokalen Aussenklimas und höhlenklimatische Tourenbeobachtungen (Windrichtung, Windstärke, Wasserverhältnisse, ...) beigezogen.

Gemessen wird meist mit Dataloggern. Datalogger sind Einheiten, die selbständig Messungen steuern und die Werte speichern. Datalogger können mit verschiedenen Fühlern ausgerüstet werden (Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, ...), die die Art und Genauigkeit der Messung bestimmen.

Messgeräte, die in der Höhlenklimatologie zum Einsatz kommen, zeichnen sich aus durch:

- hohe Messgenauigkeit (z.B. Temperatur  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ )
- Wasserdichte (Luftfeuchtigkeit, Hochwasser)
- hohe Speicherkapazität (muss unter Umständen mehrere Jahre messen, bis der Speicher ausgelesen wird)
- geringen Energiebedarf
- relative Unempfindlichkeit auf mechanische Einwirkungen (Transport, Hochwasser, ...)

Im nächsten Kapitel wird ein kleines Lufttemperaturprojekt vorgestellt.



Aufhängen eines Temperaturdataloggers  
(Foto: JAJ, 2000)

## 3 Projekt Bauerloch

### 3.1 Projektbeschreibung

Das Bauerloch wurde für die Lufttemperaturmessungen ausgewählt, weil es einen aktiven und einen fossilen Höhlenteil hat und es trotz seiner leichten Zugänglichkeit und Befahrbarkeit wenig befahren wird.

Mit den Messungen erhofften wir den Einfluss des Energiereservoirs Wasser aufzuzeigen und einige Angaben über den Windtyp (konvektiv oder barometrisch) zu erhalten.

### 3.2 Messprotokoll

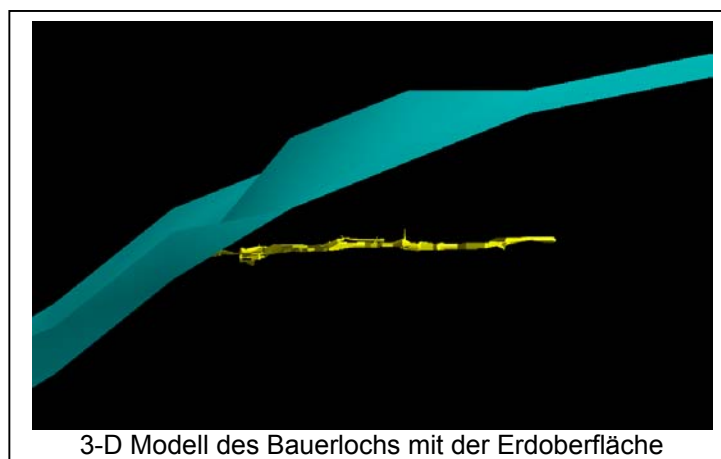
*Zu jeder Messreihe gehört eine Dokumentation. Dabei ist es wichtig, dass Tatsachen getrennt von Interpretationen notiert werden. Die Klimagruppe der Schweizerischen Gesellschaft für Höhlenforschung (SGH) hat ein Messprotokoll entworfen, worin eine Reihe von Punkten aufgeführt ist, die eine minimale Beschreibung der Messsituation darstellt.*

#### 3.2.1 Angaben zur Höhle

- **Kurze Beschreibung des Karstgebietes und der Lage des Höhleneinganges**

„Der Eingang des Bauerlochs liegt etwa 2 km ESE Neuffen (Lkrs. Esslingen) am oberen Ende der Bauerlochschlucht am Fusse der sie abschliessenden Felswand. [...] In trockenen Jahreszeiten entspringt am unteren Ende der Bauerlochschlucht auf etwa 520 m ü.NN der Dürrenbach. [...] Bei Schneeschmelze und nach Wolkenbrüchen entströmt der Bach jedoch dem Eingang des Bauerlochs, der auf 590 m ü.NN liegt. Dann stehen grosse Teile der Höhle ganz unter Wasser. [...] Einzigartig für die Schwäbische Alb ist der Nachweis einer Vulkantuff führenden Kluft in der Höhle.“ (H. M. Luz, 1990)

- **Oberflächenskizze**



### 3.2.2 Angaben zum Messpunkt

Messstation	Koordinaten relativ zum Höhleneingang [m]	Ganglänge von Höhleneingang bis zur Messstation	Entfernung zur Oberfläche	
			Horizontal	Vertikal
Eingangsbereich <sup>1</sup>	13 / -13 / 1	25	15	15
Abzweigung <sup>2</sup>	33 / -38 / 1	60	40	40
Ende Alter Teil <sup>3</sup>	89 / -68 / 7	140	110	70
Ende Neuer Teil <sup>4</sup>	160 / 14 / 7	290	150	75

Lage der Messstation im Gangprofil					
	links	rechts	oben	unten	Bemerkung
Eingangsbereich <sup>1</sup>	2,8	0	0	1,7	in Nische
Abzweigung <sup>2</sup>	1,6	0	0	2,5	in Nische
Ende Alter Teil <sup>3</sup>	1,5	2,5	0	2	in Nische
Ende Neuer Teil <sup>4</sup>	10	0	0,6	1	

### 3.2.3 Angaben zum Witterungsverlauf

Die Messungen im Bauerloch fanden zu einem interessanten Zeitpunkt statt. Es zog ein grösseres Tiefdruckgebiet über das Einzugsgebiet des Bauerlochs.

Der 1. August war ein sonniger, warmer Tag mit einer darauf folgenden klaren Nacht.

Der 2. bis 4. August waren regnerische, warme Tage mit leicht bewölkten Nächten.

Der 5. August war regnerisch und kühl.

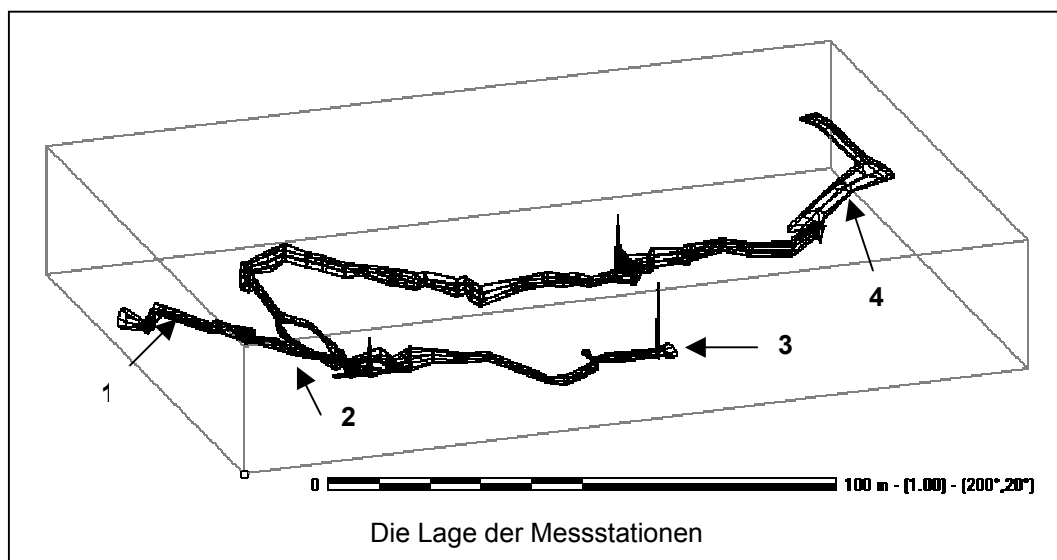
Der 6. August war wieder sonnig und warm.

### 3.2.4 Angaben zur Hydrologie der Höhle

Zwischen der Messstation im Eingangsbereich und der "Abzweigung" hatte es einige Pfützen, die zum Teil einen kleinen Höhlensee bildeten. Ansonsten fanden wir den alten Teil der Höhle ohne wesentliches Wasservorkommen vor.

Den Neuen Teil der Höhle durchfloss während der Dauer unserer Messungen ständig ein kleiner Höhlenbach. Am 6.8.2000 haben wir kurz vor der "Schluckstelle" eine Schüttung von 3 l/s gemessen. Vermutlich hatten die Niederschläge mindestens ein kleineres Hochwasser verursacht.

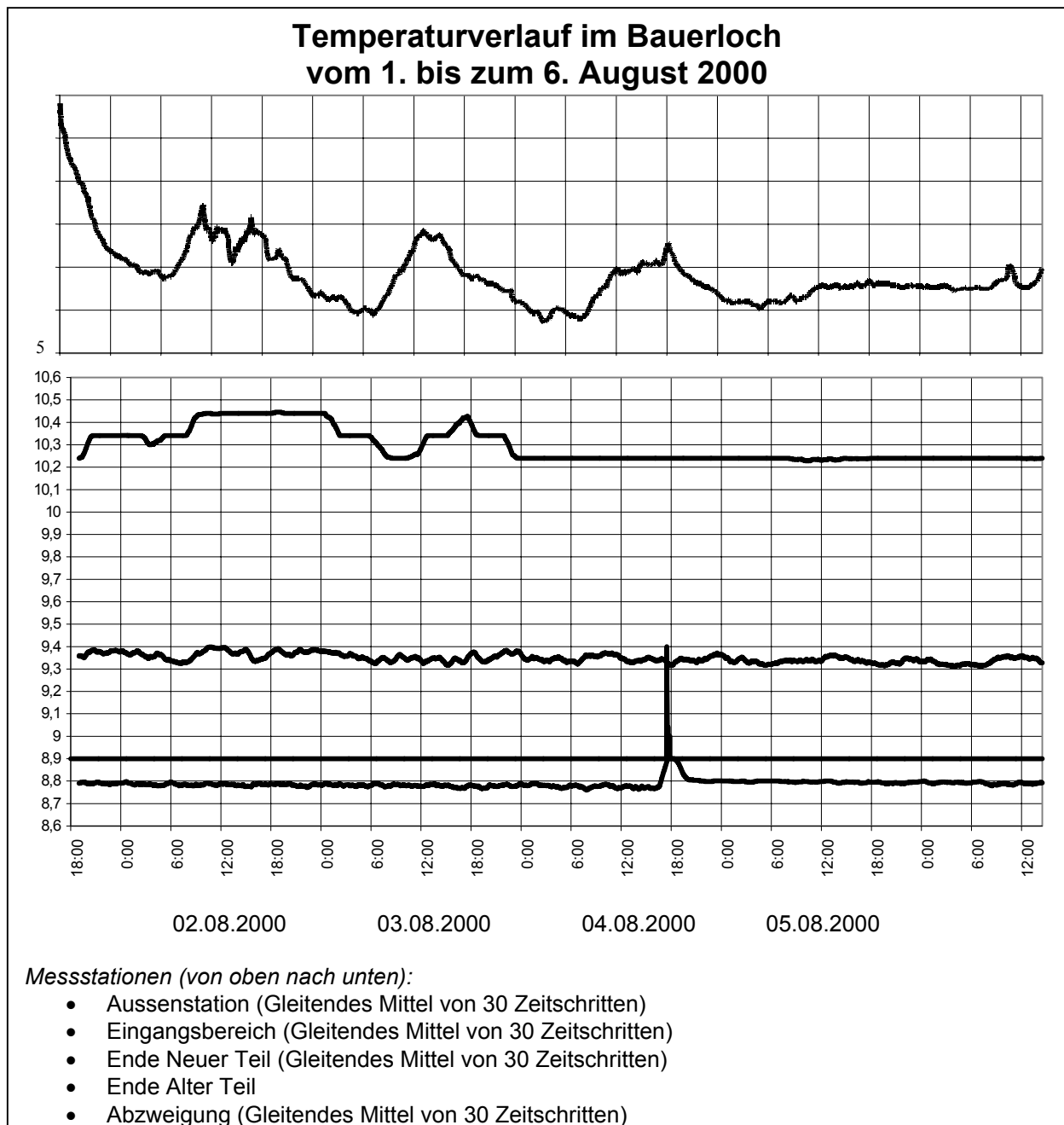
### 3.2.5 Dokumentation im Höhlenplan



### 3.2.6 Messgeräte und Messdauer

	<i>Eingangsbereich<sup>1</sup></i>	<i>Abzweigung<sup>2</sup></i>	<i>Ende Alter Teil<sup>3</sup></i>	<i>Ende Neuer Teil<sup>4</sup></i>	<i>Aussenstation</i>
Messgerät	Elpro, Hotdog DT3	Elpro, Hotdog DT2	Elpro, Hotdog DT1	Elpro, Hotdog DT0	Elpro, Hotdog DT1
Seriennummer	38300	38297	38117	38299	36013
Klimaelement	Lufttemperatur	Lufttemperatur	Lufttemperatur	Lufttemperatur	Lufttemperatur
Auflösung	0,1 °C	0,1 °C	0,1 °C	0,1 °C	0,1 °C
Absolute Genauigkeit	± 0,1 °C	± 0,1 °C	± 0,1 °C	± 0,1 °C	± 0,1 °C
Beginn der Datenreihe	17.08.2000 17,00	17.08.2000 17,00	17.08.2000 17,00	17.08.2000 17,00	17.08.2000 17,00
Ende der Datenreihe	06.08.2000 13,30	06.08.2000 13,30	06.08.2000 13,30	06.08.2000 13,30	06.08.2000 13,30
Messintervall	1 Minute	1 Minute	1 Minute	1 Minute	1 Minute

### 3.3 Messresultate



### 3.4 Diskussion der Messresultate

Aussagekräftige Rückschlüsse über das Klima des Bauerlochs aus den, in dieser Messreihe gewonnenen Daten zu erstellen, ist schwierig, da die Dauer der Messungen zu kurz war (in der Regel dauert eine Messreihe mindestens ein Jahr). Doch lassen sich gewisse Zusammenhänge erahnen.

Die **Messstation im Eingangsbereich** hat eine sehr hohe Lufttemperatur verglichen mit den anderen Messstationen. Sie folgt dem Verlauf der Lufttemperatur vor der Höhle mit einer Verzögerung von einigen Stunden. Da bereits eine gewisse Dämpfung der täglichen Ausschläge des Aussenklimas vorherrscht, wurden die kleinen Temperaturschwankungen vom 4., 5. und 6. August bei der Messstation kleiner als die Auflösung des Messgerätes.

Die Messstation am **Ende des Neuen Teils** des Bauerlochs erscheint in der obigen Grafik als sehr unruhig. Zwar lassen sich gewisse Parallelen mit dem Verlauf der Aussentemperatur erahnen, doch scheint dies im ersten Moment eher unwahrscheinlich, da die Kurve in den letzten 3 Tagen der Messung, in der sich die Werte der Messstation im Eingangsbereich relativ ruhig verhalten, weiterhin unruhig bleibt. Der Verlauf der Lufttemperaturkurve wird bei dieser Messstelle vermutlich durch den Höhlenbach bestimmt, der diesen Höhlenteil durchfließt, dass wir vermutlich einen Wärmetransport in die Höhle durch das in den Boden versickernde Regenwasser haben. Es ist schwierig, einzelne Regenperioden zu unterscheiden, da wir hier eine Vielzahl von Faktoren haben, die wir nicht kontrollieren können (z.B. nicht alles Wasser, das zum selben Zeitpunkt in den Boden versickert, durchfließt auch die Messstelle zum selben Zeitpunkt; Boden erwärmt sich nicht gleichmässig und gibt nicht überall gleichviel Wärme an das Sickerwasser ab ...)

Ob die generell höhere Temperatur der Messstation verglichen mit den Messstationen "Abzweigung" und "Ende alter Teil" auf eine noch vorhandene Wärmeausstrahlung der Vulkantuffintrusion zurückzuschliessen ist, konnte rein aus den Daten nicht erkannt werden. Doch ist dies eher unwahrscheinlich.

Die sehr konstante Kurve am **"Ende des alten Teils"** des Bauerlochs zeigt einen einzigen Peak am 4. August. Die Lufttemperatur springt um 16.28 Uhr von 8.9 °C auf 9.4 °C an und fällt bis 16.51 Uhr allmählich wieder auf die konstanten 8.9 °C zurück. Was ist passiert? Da wir im Zeitintervall von einer Minute gemessen haben, lässt sich ein kleinwenig "Speläokriminalistik" betreiben. Die Annahme, dass der Ausschlag von einem Höhlenbegeher verursacht wurde, liegt nahe. Da wir bereits um 16.29 Uhr eine Lufttemperatur von 9.3 °C messen, hat sich der Besucher nicht lange am Ende der Höhle aufgehalten. Ausserdem können wir auch davon ausgehen, dass er kein routinierter Höhlenforscher war, denn so anstrengend ist die Befahrung auch nicht, dass man so verschwitzt am Ende der Höhle ankommt, dass man das ganze Luftvolumen in der kleinen Raumerweiterung in einer Minute um 0.5 °C erwärmt – (Dass der Besucher das Messgerät angefasst hat und dadurch den steilen Anstieg der Kurve verursacht hat, ist auszuschliessen.).

Interessant ist, dass dies die einzige Messstation ist, bei der sich der Besuch so klar abzeichnet. (Vermutlich liegt dies daran, dass er bei den anderen Messstationen nicht so verschwitzt hat.)

Die tiefsten Temperaturen haben wir bei der Messstation **"Abzweigung"** gemessen. Einen plausiblen Grund hierfür ist anhand dieser kurzen Messreihe schwierig zu erkennen. Ob die Luft, die aus dem neuen in den alten Höhlenteil strömt dafür verantwortlich ist? Kann der Höhlenbach in neuen Teil die Lufttemperatur zwischen den Messstellen am „Ende des alten Teils“ und "Abzweigung" so weit herabsetzen?

Leider konnten wir die **Luftzirkulation** nie richtig beobachten, da sie oft zu schwach war, um eine klare Richtung zu bestimmen. Es machte jedoch den Anschein, dass der Luftzug im Neuen Teil auswärts gerichtet war. Im Alten Teil hinter der "Abzweigung" war nicht einmal ein leichter Luftzug zu erkennen. Doch scheint der konvektive Anteil der Luftzirkulation über dem barometrischen zu dominieren.

### 3.5 Zukunft

Das Bauerloch würde sich sicherlich eignen, um weitere, längerandauernde Klimamessungen durchzuführen. Jedoch sollten die Messungen mit einer Niederschlags- und Wasserstandsmessung kombiniert werden.

## **4 Weitere Informationen zum Thema**

Weitere Informationen zum Thema Höhlenklima im Netz unter:

*Höhlenklimaprojekte der Arbeitsgemeinschaft für Speläologie Regensdorf*

<http://n.ethz.ch/student/marcof/klima/>

*Höhlenklimagruppe der Schweizerischen Gesellschaft für Höhlenforschung und des Schweizerischen Institutes für Speläologie und Karstforschung*

<http://www.isska.ch/climat>

## **5 Dank**

Dank gebührt der Firma Elpro AG in Buchs (CH), die 5 Temperaturdatalogger für den Workshop zur Verfügung gestellt hat, Hans Martin Luz, für die Messdaten des Bauerlochs, Petra und Markus Boldt für die Organisation im Hintergrund, Oliver Hitz für das konstruktive Gegenlesen des Textes.

## **6 Literatur**

Luz, H. M. (1990): Das Bauerloch bei Neuffen (7422/07) – Laichinger Höhlenfreund 25 (1); Laichingen  
Filipponi, M (2000): Höhlenklima Skript - Arbeitsgemeinschaft für Speläologie Regensdorf; Regensdorf