

Andreas Tiesner

Beiträge zur Meteorologie  
der Hermannshöhle  
in Kirchberg am Wechsel

Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift "Die Höhle"

**45**

**Beiträge zur Meteorologie  
der Hermannshöhle  
in Kirchberg am Wechsel**

**von  
Andreas Tiesner**

**Wien 1993**

**Hermannshöhlen-Forschungs- und Erhaltungsverein**

Gedruckt mit Förderung des  
Institutes für Meteorologie und Geophysik  
der Universität Wien

**Titelbild : Heinz Ilming**

Eigentümer, Herausgeber und Verleger:  
Hermannshöhlen-Forschungs- und Erhaltungsverein  
Rudolf Zellergasse 50-52/3/1  
A-1238 Wien

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1 Grundsätzliches . . . . .	2
1.2 Die Hermannshöhle . . . . .	3
1.2.1 Historischer Überblick . . . . .	3
1.2.2 Der Führungsweg . . . . .	3
1.3 Das Höhlenwetter . . . . .	6
1.3.1 Die Elemente des Höhlenwetters . . . . .	6
1.3.2 Die Wetterführung . . . . .	6
<b>2 Beschreibung der Meßnetze und ein Überblick über die Daten</b>	<b>9</b>
2.1 Das Mrkos-Meßnetz . . . . .	9
2.2 Die 5-jährige Temperaturreihe aus der Hermannshöhle (Mrkos-Reihe) . . . . .	12
2.2.1 Die gesamte Periode 1987 bis 1991 . . . . .	13
2.2.2 Das Jahr 1987 (Tag Nr. 1 bis Tag Nr. 365) . . . . .	14
2.2.3 Das Jahr 1988 (Tag Nr. 366 bis Tag Nr. 731) . . . . .	16
2.2.4 Das Jahr 1989 (Tag Nr. 731 bis Tag Nr. 1096) . . . . .	17
2.2.5 Das Jahr 1990 (Tag Nr. 1097 bis Tag Nr. 1461) . . . . .	19
2.2.6 Das Jahr 1991 (Tag Nr. 1462 bis Tag Nr. 1826) . . . . .	20
2.3 Die Darstellung der Temperaturreihen der Mrkos Daten . . . . .	22
2.3.1 Die Interpolation mit Parabeln . . . . .	22
2.4 Das Meßnetz der Periode vom 21. August bis zum 4. Oktober 1991 . . . . .	24
2.4.1 Das Konzept . . . . .	24
2.4.2 Die Standorte . . . . .	25
2.5 Die Daten der Meßreihe Tag Nr. 233 bis Tag Nr. 277 aus 1991 . . . . .	29
2.5.1 Die Tagesmittelwerte der korrigierten Zeitreihen . . . . .	29
2.6 Vertikale Temperaturprofile mit Tagesmittelwerten (233.Tag bis 277.Tag)	33
<b>3 Die Sensoren und Meßgeräte</b>	<b>37</b>
3.1 Der Temperatursensor LM35 . . . . .	37
3.2 Die NTC-Sensoren der 5-jährigen Reihe 1987 bis 1991 (Mrkos-Reihe) . . . . .	37
3.3 Die Datenlogger . . . . .	38
<b>4 Spezielle Untersuchungen</b>	<b>39</b>
4.1 Lineare Regression mit zeitversetzten Reihen . . . . .	39
4.2 Test auf Normalverteilung . . . . .	41

4.3 Fouriertransformation der Zeitreihen . . . . .	42
4.4 Ergebnisse der Fouriertransformation . . . . .	44
4.5 Die äußere zeitliche Temperaturänderung im Vergleich zur zeitlichen Temperaturänderung in der Höhle . . . . .	45
4.5.1 Die Periode Tag Nr. 273 bis Tag Nr. 277 aus 1991 . . . . .	45
4.6 Korrelationen zwischen Lufttemperaturen . . . . .	49
4.6.1 Korrelation Klimastation Kirchberg-Mrkos-Reihe . . . . .	49
4.6.2 Korrelation Klimastation Kirchberg-Außentemperatur . . . . .	51
4.7 Der Führungsbetrieb und seine Auswirkungen - ein Experiment . . . . .	52
4.7.1 Die Dietrichshalle . . . . .	52
4.7.2 Großer Dom . . . . .	53
4.7.3 Die Endkammer und die Außentemperatur . . . . .	53
4.7.4 Schlußbemerkungen . . . . .	53
4.8 Ein kurzer Beitrag zum Thema Luftfeuchtigkeit . . . . .	54
<b>5 Die Graphiken der Mrkosreihe</b>	<b>55</b>
<b>6 Schlußbemerkungen</b>	<b>71</b>
<b>7 Luftströmungen, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse</b>	<b>73</b>
7.1 Temperatur und Strömung . . . . .	73
7.2 Luftfeuchte . . . . .	75
<b>Anhang</b>	<b>77</b>
Tabellen zur Umrechnung von Datum und Tag im Jahr . . . . .	77
Literaturverzeichnis . . . . .	80

# 1 Einleitung

## 1.1 Grundsätzliches

Die Hermannshöhle lernte der Verfasser im Rahmen einer meteorologischen Exkursion im Jahre 1988 kennen. Bei der Suche nach einer Diplomarbeit stieß der Verfasser wieder auf den Themenkreis Höhlenklima (Temperaturänderungen, zeitliche Varianten, Koppelung mit der Außentemperatur etc.). Weiters bestand zu dieser Zeit bereits eine vierjährige Temperaturreihe an 29 Sensoren eines Meßnetzes (2.1), die von Dipl. Ing. M r k o s<sup>1</sup> installiert und betreut wurde. Diese Reihe, die auf Einzelmessungen beruht (ohne genauen Meßzyklus), war nach einer speziellen Aufbereitung sehr wertvoll. Zur Klärung von Detailfragen (z.B. wie groß die Amplituden der Temperaturschwankungen in Zusammenhang mit der Außentemperatur sind und welche zeitlichen Verzögerungen zwischen "Außen" und "Innen" auftreten) hat der Verfasser ein Meßnetz geplant und vom 21. August 1991 bis zum 4. Oktober 1991 betrieben.

Die nun vorliegende Publikation ist eine Zusammenstellung von Daten und Ergebnissen die im Zuge einer Diplomarbeit<sup>2</sup> entstanden sind, und werden durch einen allgemeinen Teil über Hermannshöhle und Höhlenklima ergänzt.

---

<sup>1</sup>Dipl. Ing. Heinrich MRKOS, Hermannshöhlen-Forschungs- und Erhaltungsverein, 1238 Wien, Rudolf-Zeller-Gasse 50-52/3/1

<sup>2</sup>Diese Diplomarbeit mit dem Titel Temperaturverhältnisse in der Hermannshöhle (Hinweise auf komplexes Höhlenwetter) hat der Verfasser im Jänner 1993 fertiggestellt.

## 1.2 Die Hermannshöhle

Die Hermannshöhle ist die größte erschlossene Tropfsteinhöhle Niederösterreichs. Sie liegt nahe bei Kirchberg am Wechsel, etwa 80km südlich von Wien. Die folgenden Abschnitte enthalten Auszüge aus [4], [5], [6], [7].

### 1.2.1 Historischer Überblick

Entdeckung, Erforschung und Erschließung der Höhle: Das Taubenloch, der obere Eingang, war den Einheimischen schon lange bekannt (seit etwa 1790). Laut Überlieferung soll ein Hirtenknabe bei der Suche nach Wildtauben in die Höhle gestürzt sein. Seitdem heißt dieser Höhleneingang das Taubenloch. Vorher war der Name Teufelsloch gebräuchlich. Erstmals in der Literatur erwähnt wird die Hermannshöhle vom Reiseschriftsteller J.A. Krickel 1838. 1843 gelang Hermann Steiger von Amstein, nach dem die Höhle benannt ist, die erste durchgehende Befahrung bis zu den Windlöchern. (Hier befindet sich, nach künstlicher Erweiterung der zweite Zugang). Er erwarb dann das Grundstück mit der Höhle und begann die Erschließung. Bald überstieg aber das Projekt seine finanziellen Möglichkeiten und er verkaufte die Höhle an den Besitzer der Burg Feistritz, den Freiherrn von Dietrich. Nach dem Tod des Burgherrn (1853) verfielen die Steiganlagen. 1866 kehrte Hermann Steiger nach Kirchberg zurück und begann mit der Renovierung, sodaß die Höhle am 28. 6. 1868 neuerlich eröffnet werden konnte. Zu dieser Zeit waren etwa 650m Höhlengänge bekannt. Danach wechselte die Höhle mehrmals den Besitzer. Betreut wurde sie dann für einige Jahrzehnte von Engelbert Ziberl, der als Mitglied des ersten Vereins für Höhlenkunde in Wien die Verbindung zu den Wiener Höhlenforschern herstellte. Diese unternahmen in den Zwanzigerjahren zahlreiche Fahrten in neue tropfsteinreiche und schwer zugängliche Teile. 1940 wurde das Kyrlelabyrinth entdeckt, das seit 1948 auch durch einen eigens dafür gesprengten Eingang erreichbar ist. Seit 1957 ist der Führungsweg elektrisch beleuchtet. 1968 erwarb eine Gruppe von Höhlenforschern die Höhle. Diese Forscher schlossen sich zum "Hermannshöhlen-Forschungs- und Erhaltungsverein" zusammen. Im folgenden Jahrzehnt erfolgte eine komplette Neuvermessung; insgesamt sind jetzt 4237m Höhlengänge bekannt.

### 1.2.2 Der Führungsweg

Zum Höhlenplan 1.1 eine Beschreibung des Führungsweges:

1. Eingangshalle: Geräumige Halle, die mit den Windlöchern, die sind zwei enge Tagöffnungen, in Verbindung steht. Der zum Teil künstliche Eingang ist mit einer Türe verschlossen, hier beginnt die Führung.
2. Barbarastollen: Zum Großteil künstlich erweiterter Gang, in dem die Wettertüre zur Regulierung des Höhlenwindes eingebaut ist. Von diesem Gang führen zahlreiche kleine Seitengänge weg, die Decke ist stark zerklüftet.
3. Dietrichshalle: Bis zu 12m hohe Halle mit einer kleinen Plattform in 8m Höhe.

4. Kristallgang: Dieser Kluftgang verbindet, steil ansteigend, die Dietrichshalle mit dem Großen Dom.
5. Großer Dom: Von den zwei raumbestimmenden Klüften führt die südliche in die Wolfsschlucht (31), die nordwestliche in die Hohe Kluft (6). Der Dom erreicht eine Raumhöhe von 15m.
6. Hohe Kluft: Ein mäandrierender, durchschnittlich 10m hoher cañonartiger Gang.
7. Felsendom: Kuppelartige Raumerweiterung, Raumhöhe 15m.
8. Erlenschlucht: Hoher schmaler Kluftgang mit reichen Sinterbildung.
9. Karl-Ludwig-Tunnel: Künstlich erweiterte, mannshohe Tunnelstrecke, die vom Kristallgang in Richtung Drachenflug führt.
10. Drachenflug: Raumerweiterung, die im Deckenbereich mit dem großen Dom (5) in Verbindung steht. Raumhöhe bis zu 13m.

Über eine Stiege, gelangt man in die:

11. Fürstenhalle: Großer Raum in der Hauptkluft.
12. Wildschütztenhalle: Hohe Raumerweiterung, von der eine enge Kluft in Richtung Taubenloch führt.
13. Taubenloch: Über weitere Stiegen erreicht man den oberen Eingang. Hier endet die Führung.

# HERMANNSHÖHLE

BEI KIRCHBERG AM WECHSEL, NÖ.  
KAT.NR. 2871/7

GRUNDRISS



0 10 20 m

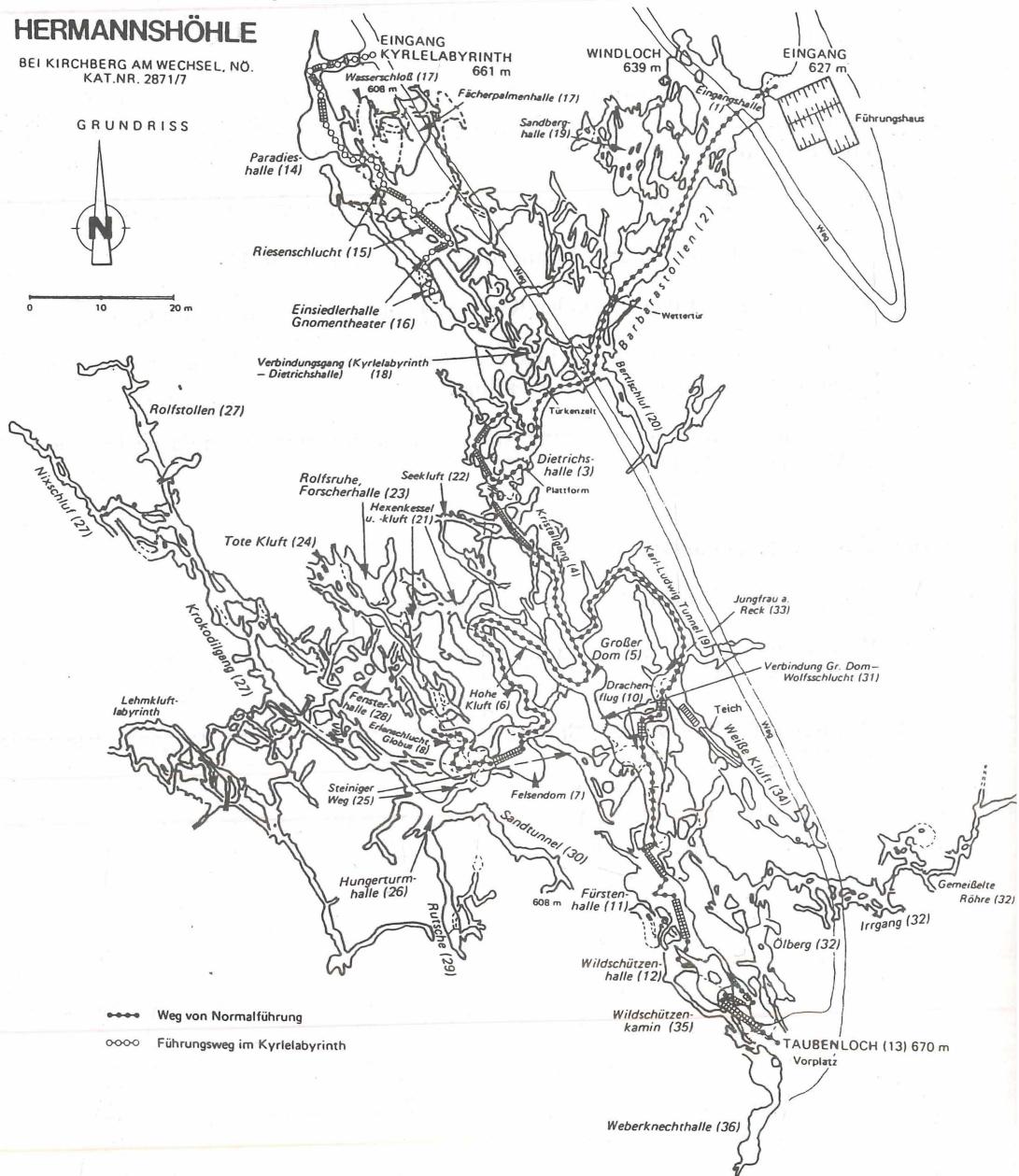


Abbildung 1.1: Höhlenplan

## 1.3 Das Höhlenwetter

In diesem Abschnitt werden einige grundlegende Bemerkungen zum Höhlenklima und dessen Darstellung in der einschlägigen (höhlenkundlichen) Literatur vorgetragen.

### 1.3.1 Die Elemente des Höhlenwetters

Unter Höhlenwetter versteht man Zustand und Veränderungen im gesamten gasförmigen Höhleninhalt<sup>3</sup>. Das Höhlenwetter ist Teil der Erdatmosphäre und besitzt so wie diese bestimmte Eigenschaften. Eine Aufstellung der Elemente des Höhlenwetters findet sich zum Beispiel in [8]:

1. **Temperatur:** Tagluft, Gesteinstemperatur, Höhlenwässer, Verdunstung, Höhleis
2. **Feuchtigkeit:** Wasser dringt ständig von der Oberfläche in die Klüfte und Spalten des (Kalk-)Gebirges ein und sickert langsam in die Tiefe. Das die Höhlen umschließende Gestein ist daher immer "bergfeucht". Dementsprechend weist die Höhlenluft einen hohen Sättigungsgrad an Wasserdampf auf; die relative Luftfeuchtigkeit liegt fast immer zwischen 95 und 100 Prozent.

### 1.3.2 Die Wetterführung

Für eine Klassifizierung der Höhlen eignet sich eine Einteilung nach der Wetterführung wesentlich besser. Eine Zusammenfassung erfolgte von Dipl. Ing. M r k o s in [6]: Wesentlicher Motor des Höhlenwetters ist ein Druckgefälle, infolge von Temperaturunterschieden. Weiters ergeben sich Unterschiede abhängig von der Zahl der Öffnungen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen statischer und dynamischer Wetterführung. Die **statische Wetterführung** tritt in Höhlen mit nur einem Eingang, sogenannten "Sackhöhlen", auf. Der Luftaustausch zwischen freier Atmosphäre und Höhle ist relativ schwach, da Ein- und Austritt der Luft durch eine Öffnung erfolgen muß. Nennenswert ist der Luftstrom erst dann, wenn die in der Höhle lagernde Luft verdrängt werden kann, bzw. wenn diese das Bestreben hat aus der Höhle auszufließen. Je nach Lage des Eingangs unterscheidet man noch zwei Untergruppen:

- a) Vom Eingang aus **absinkende Sackhöhlen**; diese weisen eine Temperatur auf, die deutlich unter dem Jahresmittel liegt. Das entsteht dadurch, daß in diese nur spezifisch schwerere Kaltluft eindringen kann. Eine Luftbewegung findet daher hauptsächlich im Winter statt und ist umso stärker je kälter es im Freien ist. Hingegen tritt bei höheren Außentemperaturen "Wetterstockung" ein, der Kaltluftsee in der Höhle bleibt ungestört und wird erst allmählich durch das umgebende Gestein erwärmt. Bei Auftreten von Eis wird der Temperaturanstieg durch den zum Schmelzen notwendigen

<sup>3</sup>Diese Definition und die folgenden Ausführungen stammen im wesentlichen aus [8]. Weitere Untersuchungen und Hinweise zum Thema Höhlenklima finden sich z. B. in [11], [12], [13], [14].

Wärmeverbrauch noch gebremst. Daher kann sich in Höhlen vom sogenannten **"Eiskellertyp"** auch bei geringer Höhenlage Eis das ganze Jahr über halten.

b) Im Gegensatz dazu speichern **aufsteigende Höhlenräume** die Wärme. Ist die Außentemperatur hoch, tritt die relativ kühle, ganz unten lagernde Höhlenluft an der Sohle des Eingangs aus. An der Decke strömt Warmluft ein und das Höhleninnere wird erwärmt. Bei diesen Höhlen findet daher der Luftaustausch vor allem in der warmen Jahreszeit statt. Kalte Luft kann in diese als **"Backofentyp"** bezeichnete Höhlen nicht eindringen. Die Durchschnittstemperatur kann mehr als fünf Grad über ihrer Umgebung liegen. Im Winter ist der auftretende Temperaturunterschied besonders bemerkbar. So nützen viele Tiere (Insekten) diese Plätze zur Überwinterung.

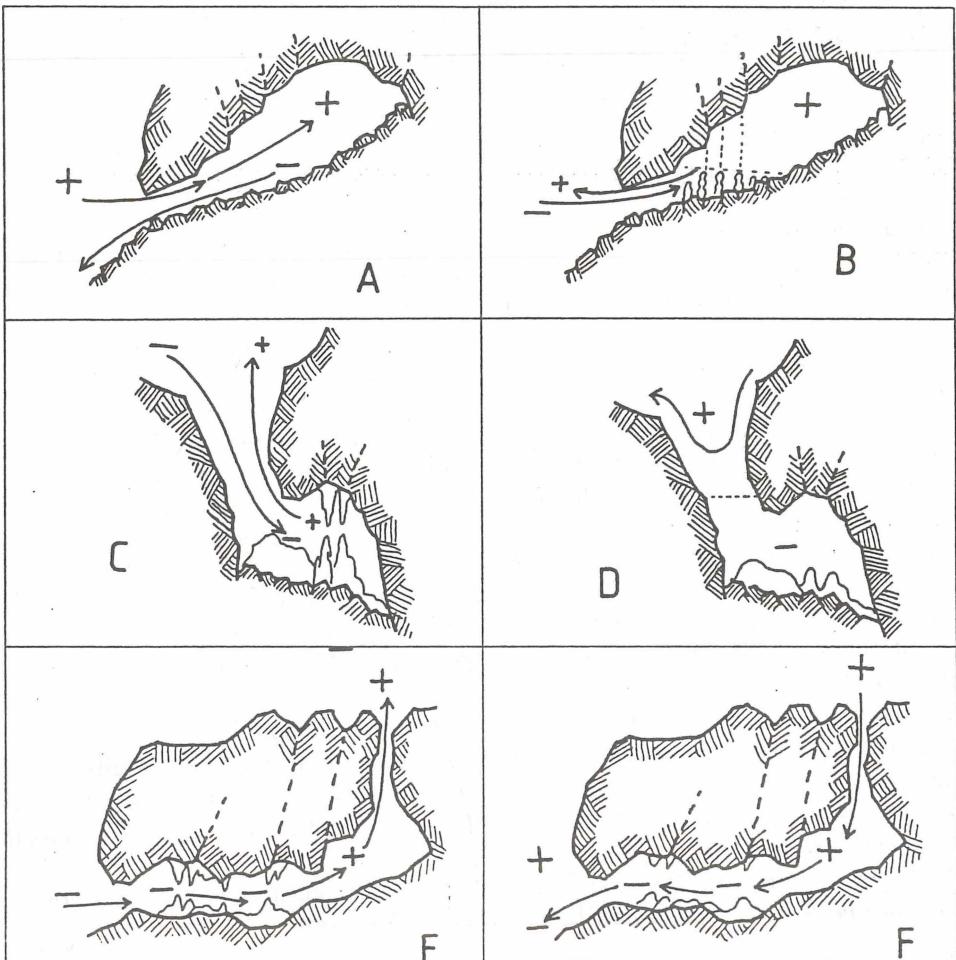
Die **dynamische Wetterführung** gibt es vor allem bei größeren oder verzweigten Höhlen, da sie oft mehr als einen Eingang haben. Der Luftaustausch ist in dynamisch bewetterten Höhlen wesentlich intensiver als bei statischer Bewetterung. Daher ist auch der Einfluß der Außentemperatur auf die tagnahen Höhlenteile sehr groß und nimmt erst allmählich gegen das Höhleninnere ab.

Das Phänomen des Richtungswechsels des Höhlenwindes bei diesem Höhlentyp wird bereits seit der Jahrhundertwende in zwei Phasen unterschieden.

a) Die **Winterphase** ist dadurch gekennzeichnet, daß die Höhlenluft an den unteren Eingängen bergwärts strömt. Dazu muß die Außentemperatur tiefer als in den Höhlenräumen sein. Die relativ wärmere Höhlenluft tritt dann bei den höchstliegenden Höhlenöffnungen aus.

b) Die **Sommerphase** tritt dann ein, wenn die Außentemperatur höher ist als jene der Höhlenluft. Die Strömung in der Höhle ist in dieser Phase abwärtsgerichtet. Relativ kalte und schwerere Höhlenluft fließt an den tieferliegenden Höhlenöffnungen aus.

In den Höhlen Österreichs sind seit Ende des vorigen Jahrhunderts immer wieder Temperaturmessungen vorgenommen worden. Diese Messungen bewiesen zwar den Einfluß des Temperaturverlaufes auf Luftbewegungen in Höhlen, doch blieb zunächst ungeklärt, welche Auswirkungen Windströmungen und Luftdruckschwankungen auf das Höhlenwetter bei Änderung der Großwetterlage haben. Es wurde nämlich immer wieder ein Stillstand oder das Umschlagen der Wetterführung beobachtet. 1952 stellte R. P i r k e r fest, daß die eindeutige Zuordnung von Sommer- und Winterphase nur dann möglich ist, wenn die Temperaturdifferenzen an allen Verbindungsstellen gleichsinnig negativ bzw. positiv sind. Er führte für den bei größeren Höhlensystemen häufig auftretenden Zustand, bei dem an bestimmten Höhlenöffnungen positive an anderen jedoch negative Temperaturdifferenzen bestehen, den Begriff **"Mittelphase"** ein. In solchen labilen Phasen könnte durchaus ein Einfluß von Luft- oder Winddruckschwankungen auf das Höhlenwetter gegeben sein.



- A **BACKOFENTYPUS - SOMMERPHASE.** Überdurchschnittliche Erwärmung des Höhlenraumes durch aufsteigende Warmluft.
- B **BACKOFENTYPUS - WINTERPHASE.** Die schwerere Kaltluft kann die in der Höhle aufgestiegene Warmluft nur im untersten Bereich verdrängen oder abkühlen - Entstehung von Eiskeulen unterhalb der deutlichen 0°-Grenze bei Tropfwassereintritt.
- C **EISKELLERTYPUS (statische Eishöhle) - WINTERPHASE.** Absinken der Kaltluft in die Höhle - bei Schmelzwassereintritt Eisbildungen.
- D **EISKELLERTYPUS (statische Eishöhle) - SOMMERPHASE.** Die in der Tiefe liegende Kaltluft kann nicht verdrängt werden - das Eis überdauert die Sommerphase.
- E **DYNAMISCHE EISHÖHLE - WINTERPHASE.** Durch obere Höhleneingänge und Spalten ausströmende Warmluft saugt Kaltluft in die Höhlenräume durch tiefergelegenen Eingang - Eisbildung bei Schmelzwassereintritt.
- F **DYNAMISCHE EISHÖHLE - SOMMERPHASE.** Ausfließen der Kaltluft durch unteren und Einsaugen der Warmluft bei oberem Höhleneingang - Abschmelzen, jedoch teilweises Überdauern des Höhleneises.

Abbildung 1.2: Eine schematische Darstellung der unterschiedlichen Höhlentypen und der verschiedenen Phasen

## 2 Beschreibung der Meßnetze und ein Überblick über die Daten

### 2.1 Das Mrkos-Meßnetz

Von Herrn. Dipl. Ing. M r k o s, der sich lange Zeit mit meteorologischen Größen in Höhlen im allgemeinen - und vor allem in der Hermannshöhle - beschäftigt, wurde neben langjährigen Temperaturmessungen, im Jahr 1987 ein Meßnetz geplant und eingerichtet. Im Endausbau bestand es aus 29 Sensoren. Im Zuge von mehreren hundert Begehungen entstand eine 5-jährige Temperaturreihe, die heute einen wesentlichen Bestandteil bei der Betrachtung der Temperaturverhältnisse bildet, stellt sie doch eine guten Überblick über die allgemeinen Temperaturverhältnisse in weiten Teilen der Höhle dar. Für die Betrachtung der Extremwerte ist diese Reihe jedoch nicht geeignet, da sie wegen der gleichsam zufällig verteilten Meßzeitpunkte nur mit geringer Wahrscheinlichkeit solche Extremwerte auch erfaßt hat. Das zeigt sich vor allem aus der vorliegenden Arbeit, die sehr kurzzeitige Schwankungen mit verhältnismäßig großen Temperaturänderungen erahnen läßt. Um die tatsächlich möglichen Extremwerte festzulegen, wäre eine über einige Jahre kontinuierliche Meßreihe erforderlich. In den Höhlenbereichen mit nur geringer Schwankung läßt sich zumindest eine jahreszeitlich Änderung der Mitteltemperatur ablesen.

Der auf Seite 10 abgebildete Höhlenplan enthält alle Meßpunkte der Mrkos-Reihe. Die Sensoren die mit einem \* markiert sind, sind jene, bei denen keine Kalibrierung nach der in 3.2 vorgestellten Methode möglich war. Diese Sensoren werden auch bei der statistischen Auswertung nicht mehr weiter berücksichtigt, da die Abweichungen zum Teil beträchtlich sind.

Die ungefähre Lage der Sensoren kann dem Höhlenplan entnommen werden, etwas präziser gibt der Name in seiner vollständigen Form Auskunft.

Die Abkürzungen und der vollständige Name der Sensoren lauten:

VORD13	Vorhalle Decke	NIAG02	Niagarafall
VORB37	Vorhalle Boden	ABSW22*	Abzweigung Weiße Kluft
ABZS04*	Abzweigung Schlot	KLTK09*	Kalte Kluft
WETD25	Wettertür Decke	WKLL12*	Weiße Kluft Links
WETB40	Wettertür Boden	HUNG19	Hungerturmhalle
DIEU28	Dietrichshalle unten	LUIU24	Luisenstollen unten
PLAL31	Dietr. Plattform Links	ZUOL23	Zugang Ölberg
PLAD03	Dietr. Plattform Decke	ROGD07	Rotunde Großer Dom
GRDB27	Großer Dom Boden	ROTO16	Rotunde oben
GRDM44	Großer Dom Mitte	FURR17	Fürstenhalle rechts
GRD005	Großer Dom Oben	WIL002	Wildschütztenhalle
HKLB35	Hohe Kluft Boden	WILK21	Wildsch. Kamin
VDDD15	Vor dem Dom Decke	WILU34*	Wildsch. unten
HKLD08	Hohe Kluft Decke	ENDK29	Endkammer
ERLG42	Erlenschluff Geländer		

# HERMANNSHÖHLE

BEI KIRCHBERG AM WECHSEL, NO.  
KAT.NR. 2871/7

## GRUNDRISS

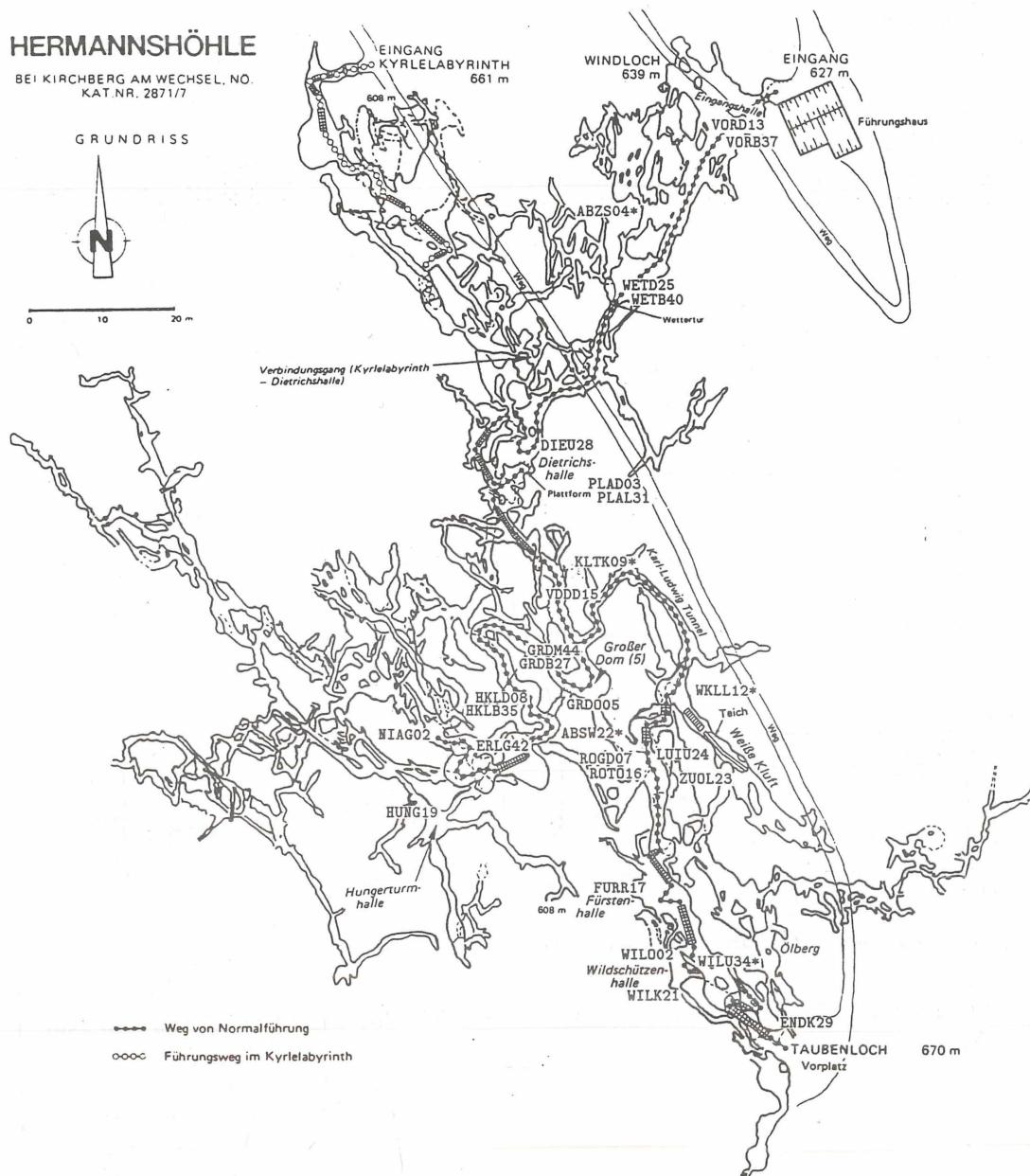


Abbildung 2.1: Höhlenplan mit den Sensoren des Mrkosnetzes

Nach dem Höhlenplan mit den Standorten der Sensoren folgen zwei Beispiele der 5-jährigen Reihe. (Eine Auswahl von Temperaturreihen ist aus Platzgründen am Ende der Arbeit ab Seite 55 zu finden.)

Die Abbildungen zeigen die 5-jährige Temperaturreihe. Die fünf Jahre sind fortlaufend übereinander angeordnet, die Punkte markieren die Datenpunkte, die tatsächlich gemessen wurden. Der gesamte Temperaturverlauf ist nach dem im Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Verfahren mit fortlaufenden Parabeln konstruiert, und stellt einen nach Maßgabe der verfügbaren Daten "möglichen" Verlauf dar. In den Abschnitten, in denen mehr Datenpunkte vorhanden sind, wird auch die Rekonstruktion zuverlässiger. Im allgemeinen ist zumindest ein guter Überblick über den Temperaturverlauf an den einzelnen Standorten gegeben. Die Abszisse bezeichnet den Tag im Jahr, fortlaufend gerechnet vom 1. 1. 1987, die Ordinate<sup>1</sup> gibt die Temperatur an.

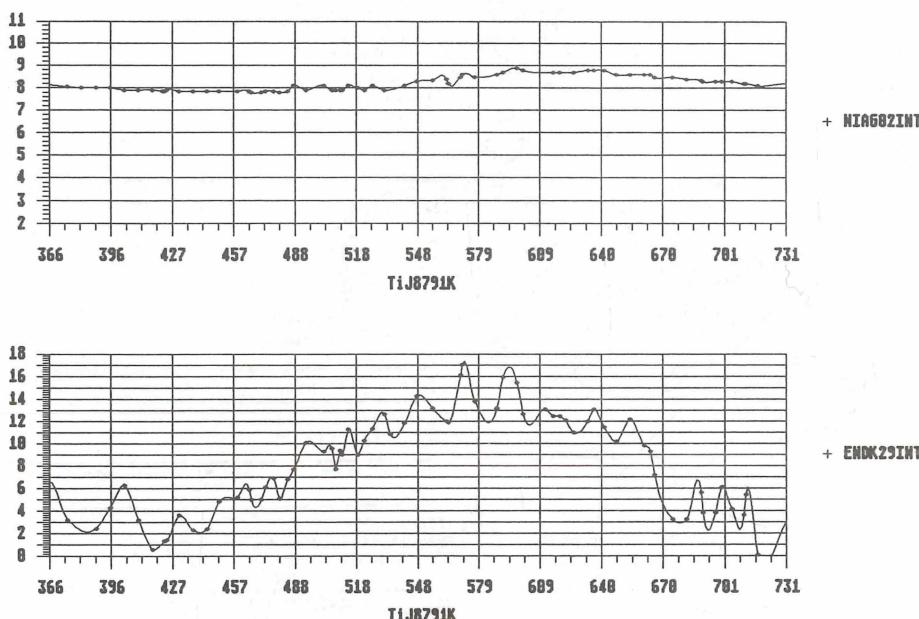


Abbildung 2.2: Die Temperaturreihe der Sensoren NIAG02 und ENDK29 aus dem Jahr 1988

<sup>1</sup>Die Skala mußte wegen der unterschiedlichen Temperaturbereiche mehrmals geändert werden, damit eine bessere Darstellung möglich wird

## 2.2 Die 5-jährige Temperaturreihe aus der Hermannshöhle (Mrkos-Reihe)

Die 5-jährige Temperaturreihe<sup>2</sup> wurde, wie schon in 2.1 erwähnt, mit Widerstandsenso- ren gemessen. Im Endausbau gab es 29 Sensoren, nicht alle sind von Beginn an (28. März 1987) installiert gewesen. In diesem Abschnitt werden diejenigen Sensoren statistisch bearbeitet, bei denen eine Kalibrierung (3.2) vorgenommen werden konnte. Der Grund für diese Vorgangsweise ist, daß bekannte Fehler möglichst ausgeschlossen werden sollen. Die Statistik umfaßt die wichtigsten Kenngrößen und nach einer Übersicht über die gesamte Periode folgen die einzelnen Jahre im Detail. Die Spalten enthalten im einzelnen:

- **Sensor:** Der Sensorname benennt den Aufstellungsort in der abgekürzten Form, und die Nummer des Sensors. Detailliert sind die Sensoren im Abschnitt 2.1 beschrieben.
- **Werte:** Die Gesamtzahl der Tage an denen gemessen wurde: maximal möglich wären zwischen 28. 3. 87 und 28. 12. 91 1739 Tage, tatsächlich gemessen wurde an höchstens 282 Tagen, das entspricht theoretisch einer Messung wöchentlich. Diese Quote wird durch einige Perioden mit größerer Dichte verfälscht.
- **Min:** Absolutes Minimum  $T_{min}$  in der Periode (1987 bis 1991 oder jährlich).  
**am:** Datum des Minimums
- **Max:** Absolutes Maximum  $T_{max}$  in der Periode  
**am:** Datum des Maximums
- **DMax:** Größte Differenz, Differenz zwischen Maximum und Minimum

$$DMax = T_{max} - T_{min} \quad (2.1)$$

- **Mittelw.:** Mittelwert der Reihe bei  $N$  als Anzahl der Werte

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (2.2)$$

Der Mittelwert gibt die mittlere Temperatur des Meßortes an, ein direkter Rück- schluss auf den Jahresmittelwert ist bei der gegebenen Inhomogenität (Fehlen von Meßwerten) nicht zulässig.

- **Stdabw:** Standardabweichung der Reihe

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}{N}} \quad (2.3)$$

<sup>2</sup>Diese Reihe wurde bei hunderten Begehungen von Dipl. Ing. Mrkos ermittelt, auf dessen Initiative das gesamte Meßnetz geplant und betrieben wurde

- **Varianz:** Varianz der Reihe

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}{N} \quad (2.4)$$

Varianz und Standardabweichung sind ein Maß dafür, wie weit numerische Daten vom Mittelwert abweichen, relativ größere Werte deuten auf größere "Unterschiede" der Temperaturen hin. So ist die Temperaturvarianz von Höhlenteilen, die z.B. stärker von der Außentemperatur beeinflußt werden, größer als die von Stellen im Inneren.

Im allgemeinen sind statistische Aussagen von der Größe der Stichprobe, also vom Datenumfang, abhängig. Die hier betrachteten Datensätze geben nur einen kleinen Ausschnitt aus dem gesamten 5-jährigen Zeitraum wieder, dadurch ist die Aussage teilweise unsicher.

### 2.2.1 Die gesamte Periode 1987 bis 1991

Da nicht alle Temperaturmeßreihen gleich lang sind, muß dieser Umstand bei Vergleichen immer berücksichtigt werden. Die **fett gedruckten Zahlen**<sup>3</sup> sind jeweils der größte und der kleinste Wert in der Spalte.

Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
VORD13	282	0.42	12.02.91	7.70	02.10.88	7.28	5.242	1.692	2.865
VORB37	281	<b>-1.90</b>	03.02.91	6.92	30.09.89	8.82	<b>4.342</b>	1.839	3.383
WETD25	282	2.10	28.03.87	<b>6.78</b>	14.09.91	4.68	5.127	1.059	1.123
WETB40	281	-0.85	03.02.91	6.95	25.08.90	7.80	4.793	1.697	2.880
DIEU28	281	2.76	08.02.91	6.92	14.09.91	4.16	5.601	0.909	0.827
PLAL31	281	5.45	28.03.87	9.02	25.09.89	3.57	6.900	0.586	0.343
PLAD03	275	6.09	13.04.87	8.14	17.08.91	2.05	7.142	0.501	0.251
GRDB27	276	5.05	08.02.91	<b>8.52</b>	17.08.87	3.47	6.954	0.781	0.610
GRDM44	274	5.90	28.03.87	10.10	24.08.91	4.20	7.537	0.944	0.891
GRDO05	276	6.42	16.02.91	10.89	17.08.91	4.47	8.015	1.057	1.119
HKLB35	275	6.12	03.04.88	8.43	30.09.91	2.31	7.254	0.512	0.262
VDDD15	275	6.40	28.03.87	10.24	17.08.91	3.84	7.913	0.946	0.895
HKLD08	275	6.95	13.04.87	<b>9.50</b>	08.09.90	2.55	7.907	0.617	0.380
ERLG42	272	6.50	28.03.87	8.95	08.09.90	2.45	7.522	0.456	0.208
NIAG02	271	<b>7.59</b>	05.04.87	9.47	17.08.91	1.88	8.307	0.416	0.173
HUNG19	133	6.51	08.02.91	7.52	26.10.91	<b>1.01</b>	7.051	<b>0.211</b>	<b>0.044</b>
LUIU24	214	4.60	08.02.91	7.68	17.08.91	3.08	6.606	0.589	0.346
ZUOL23	97	6.36	27.04.91	9.12	25.09.89	2.76	7.203	0.337	0.114
ROGD07	270	6.65	13.04.87	11.59	17.08.91	4.94	8.327	1.190	1.416
ROT016	214	7.03	24.04.88	12.07	11.08.91	5.04	8.507	1.292	1.671
FURR17	271	1.55	08.02.91	13.44	17.08.91	11.89	8.286	2.537	6.437
WILO02	214	1.40	08.02.91	<b>17.64</b>	24.07.88	16.24	<b>8.787</b>	3.804	14.471
WILK21	246	0.46	08.02.91	15.95	24.07.88	15.49	8.249	3.706	13.736
ENDK29	269	-0.91	08.02.91	17.04	24.07.88	<b>17.95</b>	8.573	<b>4.205</b>	<b>17.683</b>

<sup>3</sup>**Anmerkung:** Die Werte sind alle auf zehntel Grad genau, weitere Stellen hinter dem Komma sind nur Rechenergebnis und nicht signifikant

Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
KIR8791	1794	-18.80	13.01.87	24.80	05.07.88	-43.60	7.847	7.560	57.154

Die fünf Jahre ergeben folgendes zusammenfassendes Bild: Es wurde an höchstens 282 Tagen, mindestens aber an 97 Tagen, gemessen. Dabei lagen die Mittelwerte zwischen 4.3°C und 8.8°C (Differenz 4.5°C). Das absolute Minimum stammt mit -1.9°C vom 3. 12. 91, das absolute Maximum mit 17.64°C vom 24. 7. 91. Die kleinste Spannweite (Differenz zwischen Maximum und Minimum) ist 1.0°C die größte 17.9°C. Diese Unterschiede und die Varianz mit Werten zwischen 0.04 und 17.68 (°C<sup>2</sup>) zeigen, welche großen Variationen bei den Temperaturen in der Höhle auftreten.

Bei einem Vergleich mit der **Klimastation Kirchberg am Wechsel**<sup>4</sup> ist zu beobachten, daß die inneren Höhlenteile erst in der zweiten Sommerhälfte ihre Maxima haben, und frühere Maxima der Außentemperatur sich nur als kleine Spitzen zeigen (sofern gerade dann auch gemessen wurde). Das läßt sich dadurch erklären, daß die Höhle sich langsam erwärmt, und daß dann die eindringende Warmluft nicht mehr die starke Abkühlung erfährt und sich so auch in den weiter innen gelegenen Höhlenteilen ausbreitet. Grundsätzlich sind die Temperaturverläufe im Inneren nur durch eine einfache Welle ("Warm-Kalt") dominiert. Dieser sind kurze Schwankungen aufgesetzt. Die den Ausgängen nahen Höhlenteile zeigen aber sehr wohl (falls gemessen wurde) Schwankungen z. B. Kaltlufteinbrüche ohne Verzögerung.

Die im innersten Bereich gelegenen Höhlenteile, wie z. B. HUNG19, NIAG02 weisen erwartungsgemäß die geringsten Schwankungen mit etwa 1 bis 2 Grad auf, die mittleren Temperaturen staffeln sich nach der Höhenlage. Bei NIAG02 8.3°C und bei HUNG19 7.1°C. An der Stelle NIAG02 ist die Temperatur während der fünf Jahre nie unter 7.6 Grad gesunken, aber auch nie über 9.5 Grad gestiegen.

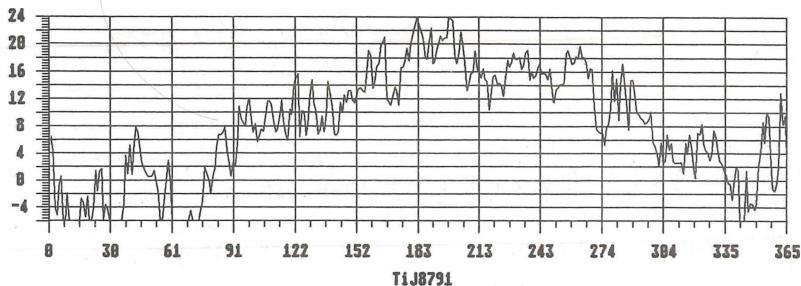
## 2.2.2 Das Jahr 1987 (Tag Nr. 1 bis Tag Nr. 365)

Um die Verhältnisse in der Höhle besser zeigen zu können, sind neben den Tabellen auch die **Tagesmittelwerte der Klimastation Kirchberg am Wechsel** (Kirchb8791), deren statistische Kenngrößen und die Reihe aus der Höhle, die dieser am nächsten kommt, aus der Endkammer (ENDK29), dargestellt. Abszisse ist der Tag an dem gemessen wurde (durchgezählt vom 1. 1. 1987 an).

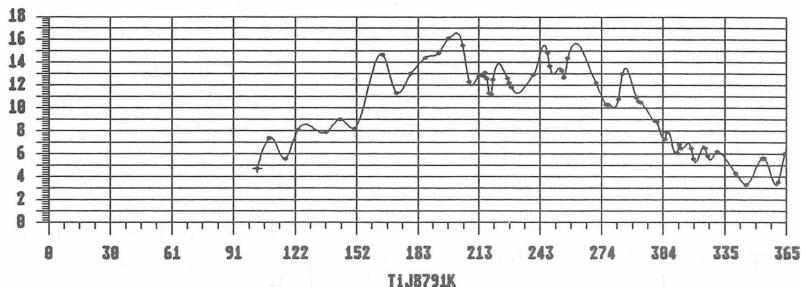
Die Punkte in dieser zweiten Graphik markieren die Tage, an denen gemessen wurde. Der übrige Kurvenverlauf ist eine Rekonstruktion mit parabolischer Interpolation nach der in 2.3.1 beschriebenen Form.

---

<sup>4</sup>Beobachtungsstation des Hydrographischen Dienstes Nr. 273, Seehöhe: ca. 581m



Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
KIR87	279	-10.50	10.12.87	24.30	17.07.87	-34.80	11.032	6.636	44.039

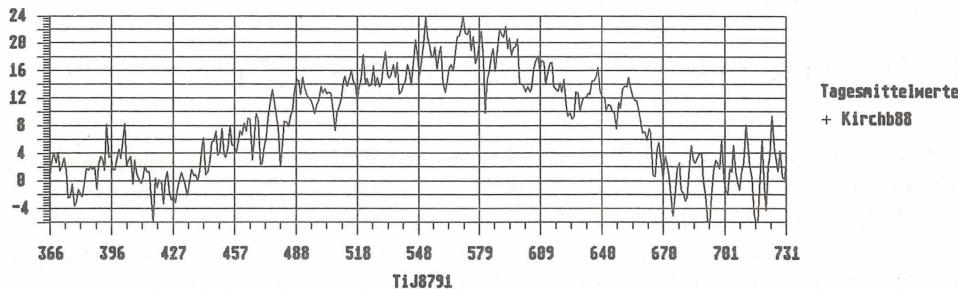


Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
VORD13	67	1.90	28.03.87	7.06	19.10.87	5.16	5.579	1.367	1.869
VORB37	66	0.90	28.03.87	6.28	27.10.87	5.38	4.689	1.324	1.754
WETD25	67	2.10	28.03.87	6.20	20.09.87	4.10	5.105	0.870	0.758
WETB40	67	1.35	28.03.87	6.29	11.10.87	4.94	5.127	1.154	1.333
DIEU28	67	3.35	28.03.87	6.31	20.09.87	2.96	5.615	0.659	0.435
PLAL31	67	5.45	28.03.87	7.51	11.10.87	2.06	6.813	0.487	0.237
PLAD03	66	6.09	13.04.87	7.87	30.08.87	1.78	7.288	0.466	0.217
GRDB27	62	5.74	05.04.87	8.52	17.08.87	2.78	7.393	0.629	0.395
GRDM44	60	5.90	28.03.87	8.91	04.09.87	3.01	7.634	0.800	0.640
GRDO05	62	6.50	28.03.87	10.17	17.07.87	3.67	8.361	0.982	0.965
HKLB35	61	6.25	28.03.87	8.00	17.08.87	1.75	7.337	0.469	0.220
VDDD15	61	6.40	28.03.87	9.63	17.07.87	3.23	8.080	0.889	0.790
HKLD08	61	6.95	13.04.87	8.60	19.08.87	1.65	7.755	0.418	0.175
ERLG42	58	6.50	28.03.87	8.10	19.08.87	1.60	7.439	0.354	0.126
NIAG02	60	7.59	05.04.87	8.69	17.08.87	1.10	8.134	0.301	0.090
HUNG19									
LUIU24									
ZUOL23									
ROGD07	56	6.65	13.04.87	10.52	14.09.87	3.87	8.503	1.051	1.105
ROT016									
FURR17	57	5.37	11.12.87	13.28	28.08.87	7.91	9.136	2.146	4.607
WILO02									
WILK21	57	3.60	11.12.87	15.89	17.07.87	12.29	9.788	3.122	9.750
ENDK29	57	3.31	11.12.87	16.09	17.07.87	12.78	9.952	3.427	11.750

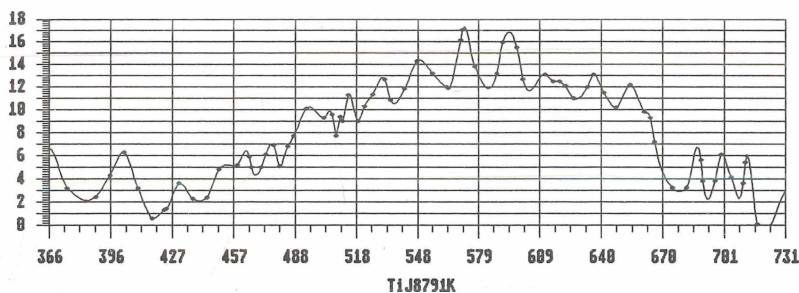
Die Minima sind bei 11 Sensoren am 23. 3. 1987 aufgetreten, die Maxima bei 4 Sensoren am 17. 7. 87. Auf diesen Tag fällt auch das Maximum der Klimastation mit 24.3°C. Erst bei einer kleineren Wärmeperiode im August reagieren weitere 5 Sensoren. Sonst bilden bei den Minima 2 mal 3 (13.4., 11.12.) Sensoren eine Gruppe. Größere Variationen des Eintrittstages gibt es bei den Minima. Nur 5 Stellen sind es am 17.8. und 4 am 17.7. Die größte Varianz (11.75) ist in diesem Jahr am kleinsten, wahrscheinlich macht sich das Fehlen der kalten Monate am Anfang des Jahres bemerkbar, die Varianz der Klimastation (80.17) ist in diesem Jahr die größte, nimmt man auch diese Monate dazu, bei der verkürzten Reihe beträgt sie hingegen 44.03. Das ist gleichzeitig ein Beispiel, wie sensibel statistische Ergebnisse auf kleine Veränderungen der Reihen reagieren können.

### 2.2.3 Das Jahr 1988 (Tag Nr. 366 bis Tag Nr. 731)

Das Jahr 1988 weist mit durchschnittlich 70 Messungen die größte Datendichte auf. Der 17.12. war an 7 Stellen der kälteste Tag (auch die Klimastation zeigt hier ihr Minimum (- 10.8°C)), im folgen der 12.3. an 3 Stellen. Die Maxima traten am 23. und 24.7. an 7 Stellen auf. Immer noch 5 Maxima aus dem Höhleninneren waren am 27.9. zu verzeichnen. Das absolute Maximum der 5 Jahre an der Klimastation (24.8 Grad am 5.7.) fällt in dieses Jahr.



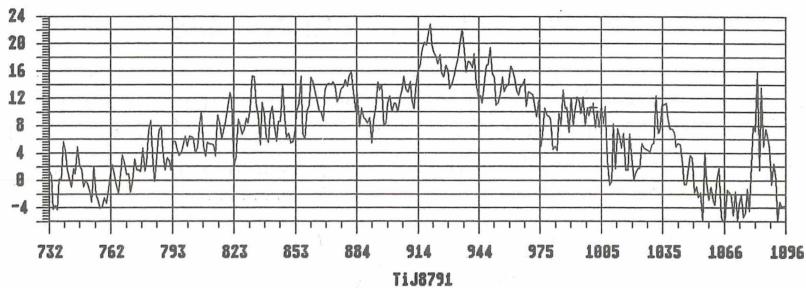
Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
KIR88	366	-10.80	17.12.88	24.80	05.07.88	-35.60	8.331	7.364	54.235



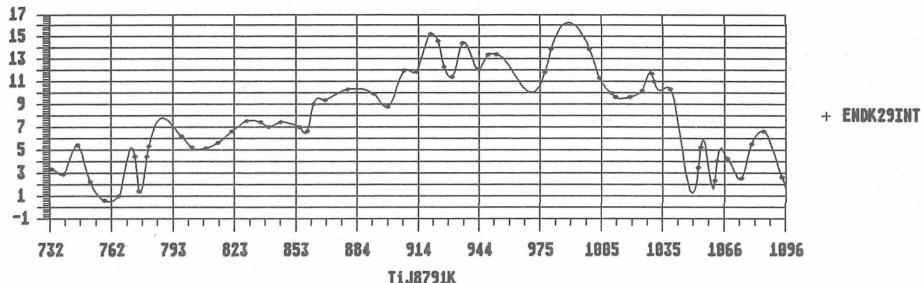
Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
VORD13	71	2.18	19.03.88	7.70	02.10.88	5.52	5.155	1.677	2.813
VORB37	71	0.51	17.12.88	6.75	08.10.88	6.24	<b>4.248</b>	1.731	2.997
WETD25	71	2.82	12.03.88	<b>6.52</b>	20.08.88	3.70	4.979	1.019	1.039
WETB40	70	1.45	17.12.88	6.58	27.09.88	5.13	4.689	1.624	2.638
DIEU28	70	3.78	27.02.88	6.54	27.09.88	2.76	5.464	0.875	0.766
PLAL31	70	5.73	12.03.88	7.72	13.08.88	1.99	6.739	0.556	0.309
PLAD03	65	6.49	12.03.88	7.82	24.07.88	1.33	7.076	0.424	0.180
GRDB27	70	5.96	25.03.88	8.07	20.08.88	2.11	6.978	0.660	0.436
GRDM44	70	6.18	27.02.88	9.23	23.07.88	3.05	7.308	0.888	0.789
GRDO05	70	6.63	19.03.88	9.90	23.07.88	3.27	7.863	0.995	0.990
HKLB35	70	6.12	03.04.88	8.01	27.09.88	1.89	7.108	0.637	0.406
VDDD15	70	6.72	26.02.88	9.45	23.07.88	2.73	7.741	0.861	0.742
HKLB35	70	6.12	03.04.88	8.01	27.09.88	1.89	7.108	0.637	0.406
ERLG42	70	6.87	05.03.88	8.03	03.09.88	1.16	7.356	0.362	0.131
NIAG02	67	<b>7.79</b>	10.04.88	8.89	20.08.88	<b>1.10</b>	8.190	<b>0.334</b>	<b>0.111</b>
HUNG19									
LUIU24	70	5.61	17.12.88	7.32	27.09.88	1.71	6.591	0.506	0.256
ZUOL23									
ROGD07	70	6.66	09.04.88	10.86	20.08.88	4.20	8.009	1.143	1.307
ROT016	70	7.03	24.04.88	11.32	20.08.88	4.29	8.431	1.225	1.501
FURR17	70	3.93	17.12.88	12.84	24.07.88	8.91	8.001	2.422	5.869
WILO02	70	2.60	17.12.88	<b>17.64</b>	24.07.88	15.04	<b>8.795</b>	3.776	14.264
WILK21	70	1.90	17.12.88	15.95	24.07.88	14.05	8.213	3.684	13.574
ENDK29	68	<b>0.10</b>	17.12.88	17.04	24.07.88	<b>16.94</b>	8.284	<b>4.313</b>	<b>18.607</b>

## 2.2.4 Das Jahr 1989 (Tag Nr. 731 bis Tag Nr. 1096)

Dieses Jahr ist fast überall mit 56 Werten repräsentiert, HUNG19 und ZUÖL23 kommen am Ende des Jahres hinzu. Die tiefste Temperatur wurde an 12 Stellen am 28.1. registriert. Auch an der Klimastation gab es zwei Tage davor ein Minimum mit -4.1. Der Tag mit den höchsten Temperaturen an 13 Stellen war der 25.9., er bezeichnet einen Abschnitt mit höheren Temperaturen im September. Beide Extremwerte sind der Hälfte der Sensoren aufgezeichnet worden; im Vergleich zu den anderen Jahren sind die Zeiträume um die Extremwerte durch geringe Änderungen gekennzeichnet.



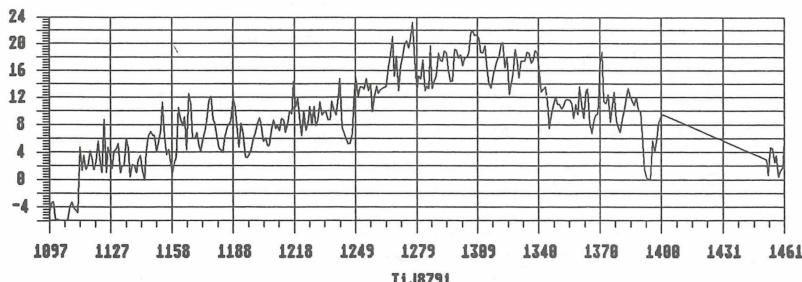
Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
KIR89	365	-8.20	27.12.89	22.80	08.07.89	-31.00	7.282	6.379	40.698



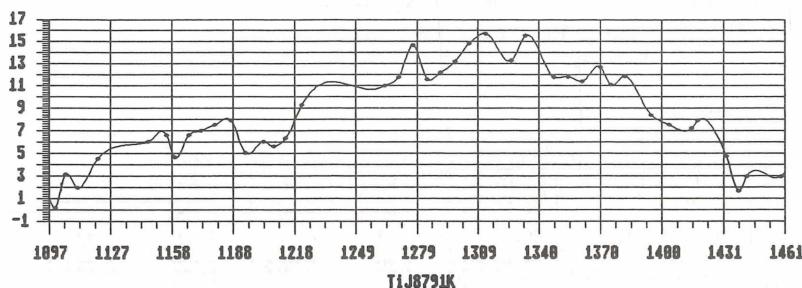
Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
VORD13	56	2.38	28.01.89	7.54	30.09.89	-5.16	5.289	1.643	2.702
VORB37	56	<b>0.10</b>	28.01.89	6.92	30.09.89	6.82	<b>4.366</b>	1.817	3.301
WETD25	56	3.24	04.02.89	<b>6.54</b>	06.10.89	3.30	5.201	0.981	0.963
WETB40	56	1.25	28.01.89	6.76	26.10.89	5.51	4.771	1.644	2.705
DIEU28	56	3.87	28.01.89	6.77	06.10.89	2.90	5.664	0.885	0.784
PLAL31	56	5.95	04.02.89	9.02	25.09.89	3.07	6.909	0.601	0.361
PLAD03	56	6.40	28.01.89	7.95	25.09.89	1.55	7.081	0.466	0.217
GRDB27	56	5.74	18.02.89	8.23	25.09.89	2.49	6.898	0.733	0.538
GRDM44	56	6.37	28.01.89	9.26	25.09.89	2.89	7.401	0.835	0.698
GRDO05	56	6.76	04.02.89	9.81	25.09.89	3.05	7.819	0.900	0.811
HKLB35	56	6.44	10.06.89	7.73	25.09.89	1.29	7.112	0.307	0.094
VDDD15	56	6.83	19.03.89	9.60	25.09.89	2.77	7.788	0.842	0.709
HKLD08	56	7.32	04.02.89	9.30	06.10.89	1.98	8.033	0.698	0.487
ERLG42	56	6.95	12.02.89	8.34	25.09.89	1.39	7.474	0.390	0.152
NIAG02	56	<b>7.79</b>	01.04.89	9.03	25.09.89	1.24	8.257	0.388	0.150
HUNG19	47	6.65	18.02.89	7.27	18.11.89	<b>0.62</b>	7.014	<b>0.148</b>	0.022
LUIU24	56	5.60	28.01.89	7.57	03.09.89	1.97	6.627	0.540	0.292
ZUOL23	10	6.86	14.12.89	9.12	25.09.89	2.26	7.351	0.608	0.370
ROGD07	56	7.01	28.01.89	10.51	25.09.89	3.50	8.143	1.061	1.126
ROT016	56	7.27	25.03.89	10.86	01.08.89	3.59	8.393	1.160	1.347
FURR17	56	4.23	28.01.89	12.29	25.09.89	8.06	7.906	2.328	5.419
WILO02	56	2.96	28.01.89	<b>15.39</b>	08.07.89	12.43	<b>8.468</b>	3.322	11.038
WILK21	31	2.20	28.01.89	8.98	25.09.89	6.78	5.325	1.552	2.409
ENDK29	56	0.61	28.01.89	15.17	08.07.89	<b>14.56</b>	7.869	<b>3.946</b>	<b>15.573</b>

## 2.2.5 Das Jahr 1990 (Tag Nr. 1097 bis Tag Nr. 1461)

Nur 40 Werte stammen aus dem Jahr 1990. Die Kälteperiode im Jänner 1990 findet sich in der Höhle am 4.1. an 5 Stellen, am 9.1. an 8 Stellen und am 15.1. an weiteren 5 Stellen. Die Minima stammen an 10 Stellen vom 25.8., an 4 Stellen vom 5.8.



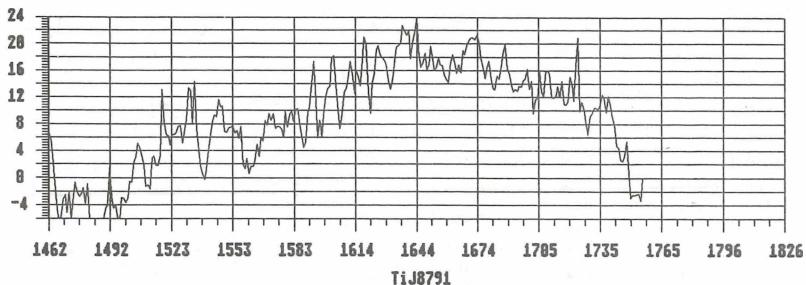
Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
KIR90	315	-14.30	07.01.90	23.20	30.06.90	-37.50	9.360	6.490	42.128



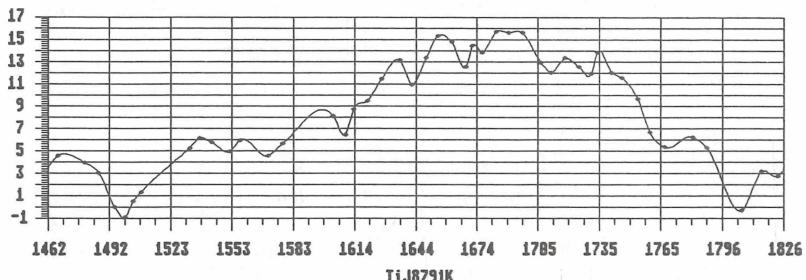
Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
VORD13	40	2.37	09.01.90	7.58	15.09.90	5.21	5.365	1.676	2.810
VORB37	40	<b>-0.15</b>	04.01.90	6.90	08.09.90	7.05	<b>4.447</b>	2.004	4.017
WETD25	40	3.27	15.01.90	<b>6.76</b>	06.10.90	3.49	5.398	1.021	1.042
WETB40	40	0.71	15.01.90	6.95	25.08.90	6.24	4.907	1.797	3.232
DIEU28	40	3.72	15.01.90	6.80	18.08.90	3.08	5.805	0.895	0.802
PLAL31	40	6.37	09.01.90	7.96	25.08.90	1.59	7.080	0.544	0.296
PLAD03	40	6.54	19.02.90	8.10	18.08.90	1.56	7.152	0.501	0.251
GRDB27	40	5.73	09.01.90	7.95	25.08.90	2.22	6.775	0.713	0.508
GRDM44	40	6.41	09.01.90	9.68	05.08.90	3.27	7.658	0.958	0.919
GRDO05	40	6.80	15.01.90	9.85	25.08.90	3.05	7.975	1.014	1.029
HKLB35	40	6.26	06.05.90	7.93	25.08.90	1.67	7.174	0.313	0.098
VDDD15	40	6.91	15.01.90	9.87	25.08.90	2.96	7.972	0.938	0.881
HKLD08	40	7.34	24.03.90	9.50	08.09.90	2.16	8.303	0.744	0.553
ERLG42	40	7.17	09.01.90	8.95	08.09.90	1.78	7.736	0.548	0.300
NIAG02	40	<b>7.99</b>	17.03.90	9.38	08.09.90	1.39	8.492	0.376	0.141
HUNG19	38	6.68	09.01.90	7.30	02.12.90	<b>0.62</b>	7.061	<b>0.200</b>	<b>0.040</b>
LUIU24	40	<b>5.36</b>	09.01.90	7.32	25.08.90	1.96	6.707	0.559	0.312
ZUOL23	40	6.68	28.02.90	7.51	08.12.90	0.83	7.210	0.251	0.063
ROGD07	40	7.37	04.01.90	10.56	25.08.90	3.19	8.403	1.072	1.150
ROT016	40	7.31	08.04.90	11.01	25.08.90	3.70	8.491	1.182	1.397
FURR17	40	4.29	09.01.90	12.46	25.08.90	8.17	8.187	2.415	5.834
WILO02	40	3.21	04.01.90	<b>16.35</b>	05.08.90	13.14	<b>9.039</b>	3.665	13.434
WILK21	40	2.21	04.01.90	14.53	05.08.90	12.32	8.343	3.465	12.006
ENDK29	40	0.21	04.01.90	15.73	05.08.90	<b>15.52</b>	8.407	<b>4.102</b>	<b>16.830</b>

## 2.2.6 Das Jahr 1991 (Tag Nr. 1462 bis Tag Nr. 1826)

Das absolute Minimum (-1.9°C VORB13 am 3.2.) in der Höhle steht dem der Klimastation (-15.4°C am 27.1.) entgegen. Am 8.2 hatten 10 Stellen ihr Minimum, 7 weitere gab es in den nächsten 8 Tagen. Das Maximum fällt für 9 Sensoren auf den 17.8. und bei je 3 Sensoren auf den 11.8. und 14.9. Dieses Jahr weist mit  $23.85^{\circ}\text{C}^2$  die größte Varianz aller Jahre auf, das deckt sich auch mit  $63.31^{\circ}\text{C}^2$  an der Klimastation.



Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
KIR91	365	-15.40	27.01.91	24.00	02.07.91	-39.40	7.237	7.957	63.314



Sensor	Werte	Min	am	Max	am	DMax	Mittelw.	Stdabw	Varianz
VORD13	46	0.42	12.02.91	7.12	27.09.91	6.70	4.823	2.043	4.176
VORB37	46	-1.90	03.02.91	6.66	27.09.91	8.56	3.959	2.342	5.488
WETD25	46	2.18	12.02.91	6.78	14.09.91	4.60	5.117	1.387	1.924
WETB40	46	-0.85	03.02.91	6.83	14.09.91	7.68	4.483	2.252	5.071
DIEU28	46	2.76	08.02.91	6.92	14.09.91	4.16	5.582	1.218	1.485
PLAL31	46	6.02	16.02.91	8.26	24.08.91	2.24	7.120	0.669	0.447
PLAD03	46	6.19	16.02.91	8.14	17.08.91	1.95	7.119	0.628	0.394
GRDB27	46	5.05	08.02.91	7.99	17.08.91	2.94	6.605	0.941	0.885
GRDM44	46	6.36	08.02.91	10.10	24.08.91	3.74	7.852	1.172	1.374
GRDO05	46	6.42	16.02.91	10.89	17.08.91	4.47	8.099	1.312	1.723
HKLB35	46	6.87	16.02.91	8.43	30.09.91	1.56	7.608	0.509	0.259
VDDD15	46	6.68	03.02.91	10.24	17.08.91	3.56	8.089	1.175	1.382
HKLD08	46	7.35	12.03.91	9.21	17.08.91	1.86	8.033	0.604	0.365
ERLG42	46	7.10	08.02.91	8.77	14.09.91	1.67	7.756	0.526	0.277
NIAG02	46	7.88	01.04.91	9.47	17.08.91	1.59	8.596	0.508	0.258
HUNG19	46	6.51	08.02.91	7.52	26.10.91	1.01	7.085	0.264	0.069
LUIU24	46	4.60	08.02.91	7.68	17.08.91	3.08	6.541	0.753	0.567
ZUOL23	45	6.36	27.04.91	7.57	10.12.91	1.21	7.161	0.316	0.100
ROGD07	46	7.24	03.02.91	11.59	17.08.91	4.35	8.785	1.463	2.142
ROT016	46	7.25	23.03.91	12.07	11.08.91	4.82	8.818	1.572	2.474
FURR17	46	1.55	08.02.91	13.44	17.08.91	11.89	8.325	3.184	10.138
WILO02	46	1.40	08.02.91	15.86	13.07.91	14.46	9.101	4.432	19.642
WILK21	46	0.46	08.02.91	15.19	11.08.91	14.73	8.445	4.394	19.309
ENDK29	46	-0.91	08.02.91	15.71	11.08.91	16.62	8.478	4.884	23.858

## 2.3 Die Darstellung der Temperaturreihen der Mrkos Daten

Die 5-jährige Temperaturreihe ist wie schon im Abschnitt 2.2 beschrieben, in zeitlicher Hinsicht nicht äquidistant. Und zusätzlich fehlen nicht nur "einzelne Tage", sondern manchmal auch größere Zeitabschnitte.

Da viele Untersuchungsmethoden davon ausgehen, daß Daten mit gleichen zeitlichen Abständen vorliegen, müssen die Zeitreihen durch ein Interpolationsverfahren vervollständigt werden. Die "normale" lineare Interpolation ist dabei nicht geeignet, da physikalische Größen selten einen linearen zeitlichen Verlauf nehmen. Man sucht daher nach Verfahren, die aus ungleich verteilten Daten eine möglichst glatte Kurve bilden können. Besonders bekannt in diesem Zusammenhang ist die Interpolation mit Splines. Doch auch dieses erwies sich nach eingehender Prüfung als nicht geeignet. Erst eine **Interpolation mit Parabeln** lieferte zufriedenstellende Ergebnisse.

Anhand einer Periode vom 11. September 1987 bis zu 18. Oktober 1987 des Sensors im Großen Dom (GRDM44), wird die Interpolation mit Parabeln präsentiert. Als erstes stellen wir einen Ausschnitt der Reihe vor (Rohdaten). (Abszisse ist der Tag im Jahr, Ordinate die Temperatur in Grad Celsius):

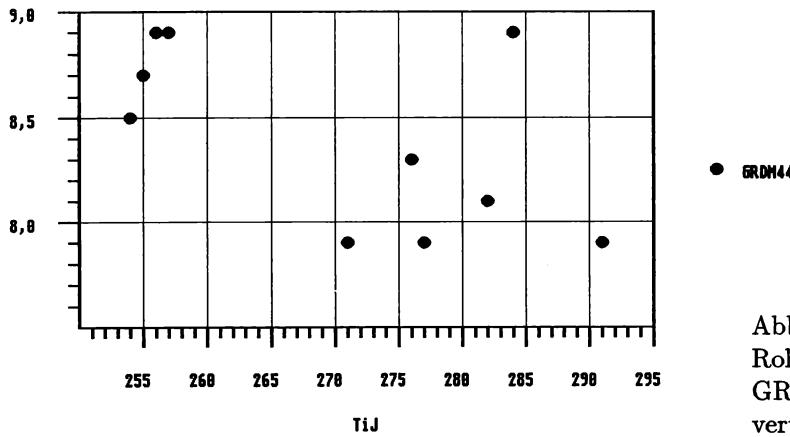


Abbildung 2.3: Die Rohdaten der Reihe GRDM44, Punkteverteilung

### 2.3.1 Die Interpolation mit Parabeln

Bei diesem Verfahren werden Parabeln (Polynome zweiten Grades) fortlaufend, stückweise aneinandergefügt. Zwischen je drei Punkten wird jeweils eine Parabel gelegt (123, 234, 345, ...).

$$y(x) = a + bx + cx^2 \quad (2.5)$$

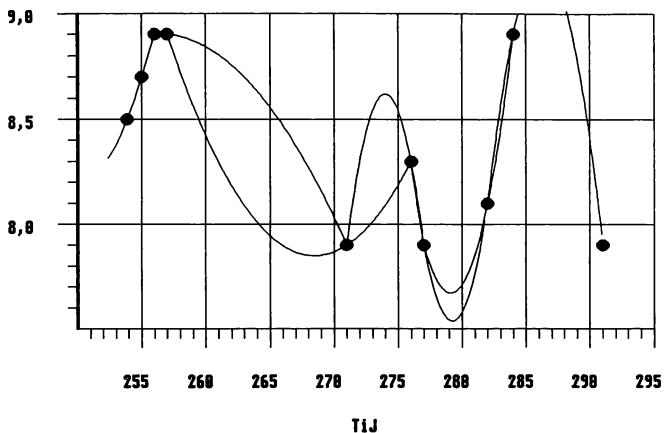


Abbildung 2.4: Parabelstücke zwischen jeweils drei Punkten (fortlaufend)

Der Übergang zwischen zwei Parabelstücken wird je nach ihrem Abstand zum nächsten bzw. vorherigen Punkt interpoliert. Die stark ausgezogene Linie ist das Ergebnis der Interpolation. Das zeigt die folgende Graphik:

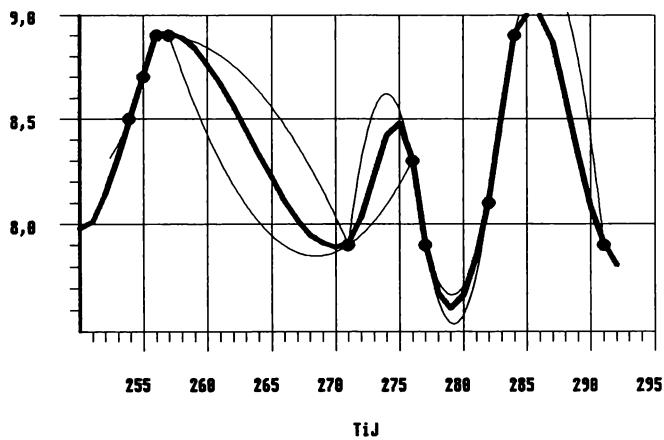


Abbildung 2.5: Ergebnis der parabolischen Interpolation

Das Verfahren der **Interpolation mit übergreifenden Parabeln** wird in der Folge auf alle Reihen der Mrkosdaten angewandt. Die Abbildungen sind am Ende der Arbeit ab Seite 55 zu finden.

## 2.4 Das Meßnetz der Periode vom 21. August bis zum 4. Oktober 1991

### 2.4.1 Das Konzept

Ein Meßsystem, das eine hohe zeitliche Auflösung (z. B. mit einem Intervall von 15 Minuten) erreicht, sollte grundsätzlich automatisiert sein. Für eine Automatisierung spricht ferner die Forderung, daß die Messung selbst die natürlichen Bedingungen möglichst nicht stören darf. Und gerade die Temperaturmessung reagiert sehr empfindlich auf Störquellen wie Körperstrahlung usw. .

Wegen der fehlenden Stromversorgung in der Höhle konnte nur ein netzunabhängiges, batteriebetriebenes System Verwendung finden. Alle Komponenten mußten auf geringen Stromverbrauch ausgelegt sein (lange Betriebsdauer ohne Batteriewechsel). Von einer Verlegung von Kabeln, sowohl für die Stromversorgung, als auch für die Sensoren mußte Abstand genommen werden, da einerseits der Führungsbetrieb dadurch erheblich gestört worden wäre, andererseits Meßsignale bei großen Kabellängen verfälscht werden können. Außerdem sind die Klimabedingungen ein entscheidendes Auswahlkriterium. Temperaturen um 7 Grad und hohe Luftfeuchtigkeit (Werte nahe 100%) sind bei technischen Geräten zum Teil schon Extremwerte (Leistungsabfall bei Batterien, Kondenswasser usw. ).

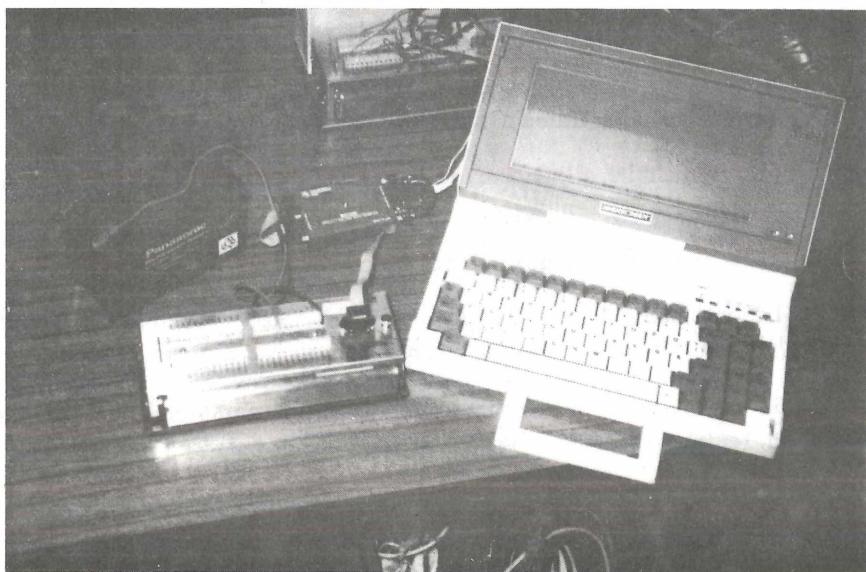


Abbildung 2.6: Der Datenlogger von Campbell Scientific, die Anschlußleiste für die Sensoren an seiner Oberseite sind deutlich zu erkennen, links oben die Batterie, rechts daneben das Interface zum Computer, und der tragbare batteriebetriebene Laptop mit aufgeklapptem Bildschirm.

## 2.4.2 Die Standorte

Das vom Verfasser geplante und installierte Meßnetz besteht aus 3 Datenloggern (siehe 3.3) unterschiedlicher Typen, und 10 Temperatursensoren des Typs LM35 (siehe 3.1) sowie 2 Sensoren der Fa. Kroneis. Die Temperatursensoren LM35 hat der Verfasser selbst ausgewählt, mit Kabeln versehen, sie "höhlengerecht" verpackt (Isolierung gegen Nässe mit Kunststoff und Schrumpfschläuchen) und gealtert, sie wurden etwa 10 cm von der Höhlenwand montiert, bei der Verlegung der Kabel wurden natürliche Spalten und Risse im Gestein ausgenutzt. Da die Gefahr bestand, daß die Sensoren eventuell von herabtropfendem Wasser feucht werden, wurden die Sensorenden leicht nach oben geneigt. Unter Bedachtnahme auf den Führungsbetrieb fiel die Wahl auf folgende Standorte:

- Die Dietrichshalle
- Der Große Dom
- Die Endkammer (mit Außentemperatur)

### 2.4.2.1 Die Dietrichshalle

An diesem Standort, einer 12m hohen Halle mit einer Plattform in 8m Höhe, wurde der Datenlogger der Firma Leskowa auf die Plattform gestellt. Von hier aus wurden die vier Sensorkabel verlegt. Die Sensoren mit den Namen:

- DIEUNT (Dietrichshalle, unten) 1.5m über dem Höhlenboden
- DIEPLA (Dietrichshalle, Plattform) in 8m Höhe über dem Höhlenboden, auf der Plattform neben dem Datenlogger
- DIENIS (Dietrichshalle, Nische) in einer Nische etwa 2m über der Plattform
- DIESTI (Dietrichshalle, Stiege) auf dem Weg zum Großen Dom in der Hauptkluft (das ist gleichzeitig auch der Hauptwetterweg)

sind genauso wie die Sensoren der anderen Standorte übereinander angeordnet sodaß sie gleichsam ein Temperaturprofil messen.

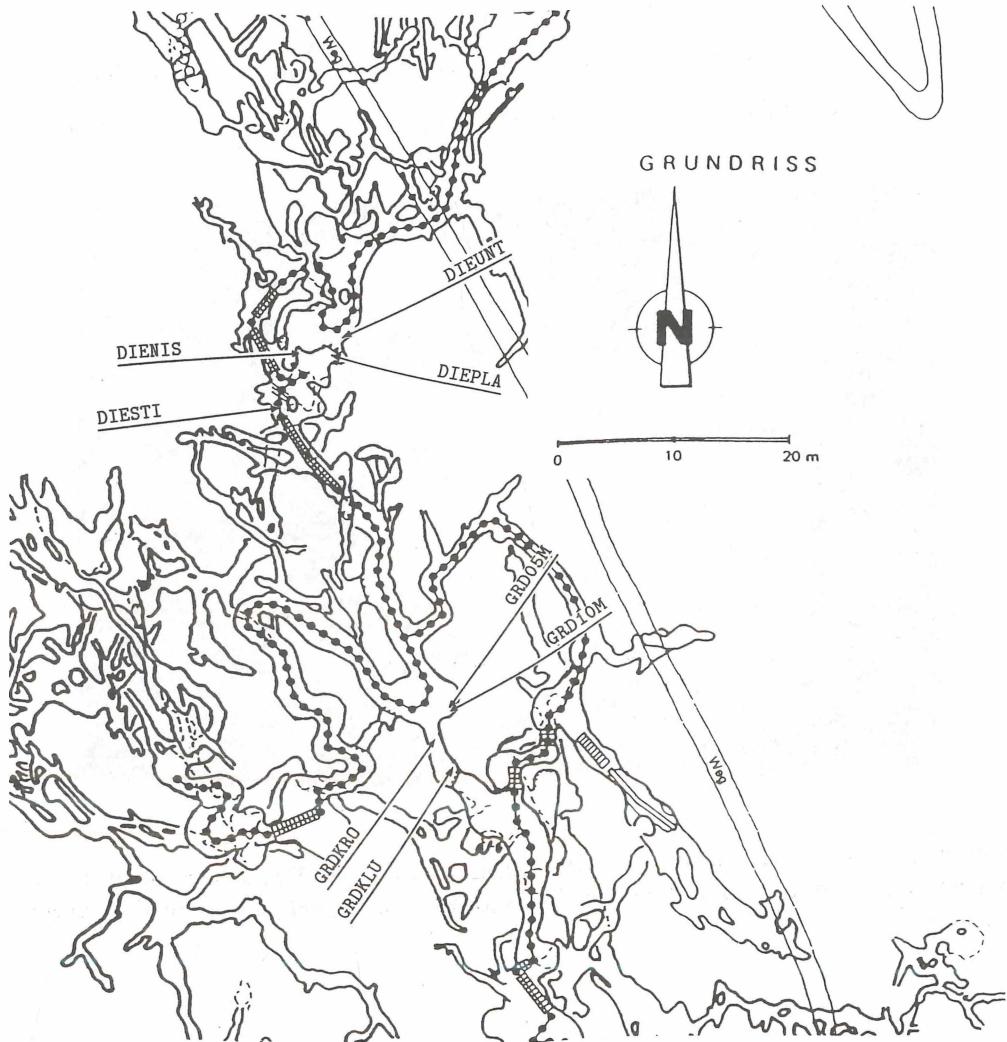


Abbildung 2.7: Die Standorte der Sensoren in der Dietrichshalle und im Großen Dom

#### 2.4.2.2 Der Große Dom

Der Große Dom mit einer Höhe von 15m, ist Kreuzungspunkt zweier Klüfte, die eine führt in die Wolfsschlucht, die andere in die Hohe Kluft. Die Sensoren waren:

- GRDKLU (Großer Dom, Kluft unten) in die Wolfsschlucht, etwa 11m nach unten.
- GRDKRO (Großer Dom, Kroneis) ebenfalls in Richtung Wolfsschlucht, etwa 1m über dem Höhlenboden im Großen Dom
- GRD05M (Großer Dom, 5 Meter) links neben der Hauptkluft in 5 Meter Höhe
- GRD10M (Großer Dom, 10 Meter) über dem Sensor GRD05M in 10m Höhe

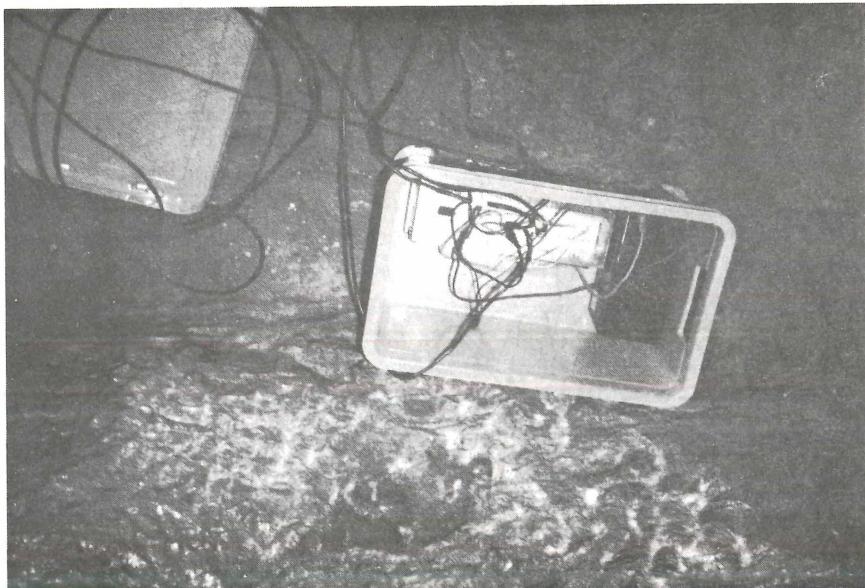


Abbildung 2.8: Großer Dom, der CR10 Datenlogger der Firma Campbell Scientific in einer Kunststoffbox, links daneben die Batterie, die Kabel führen zu den einzelnen Sensoren

### 2.4.2.3 Die Endkammer

Die Endkammer ist das Ende eines von der Rotunde lang ansteigenden Bereichs (Höhenunterschied etwa 30m). Von diesem Punkt aus führt auch das Kabel des Sensors für die Außentemperaturreferenz nach draußen. Die Sensoren und ihre Namen:

- END25M (Endkammer, 25 Meter) von der Endkammer 25m in Richtung Fürstenhalle
- END10M (Endkammer, 10 Meter) in derselben Richtung wie END25M, doch nur 10m lang
- ENDKRO (Endkammer, Kroneis) der zweite Temperatursensor der Firma Kroneis
- ENDAUS (Endkammer, Außen) die Außentemperatur, in einer kleinen Nische am Vorplatz (Taubenloch), vor der direkten Sonnenstrahlung, geschützt angebracht

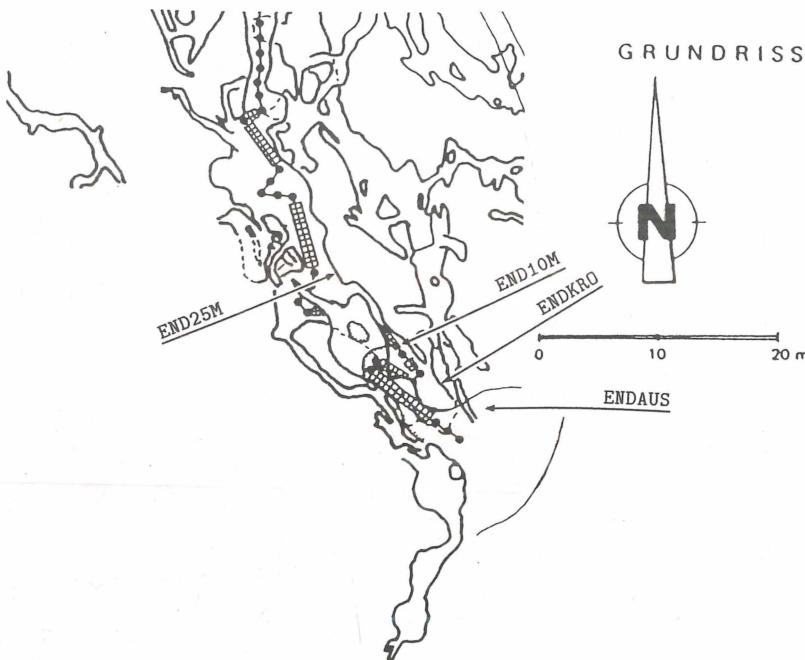


Abbildung 2.9: Die Standorte der Sensoren in der Endkammer

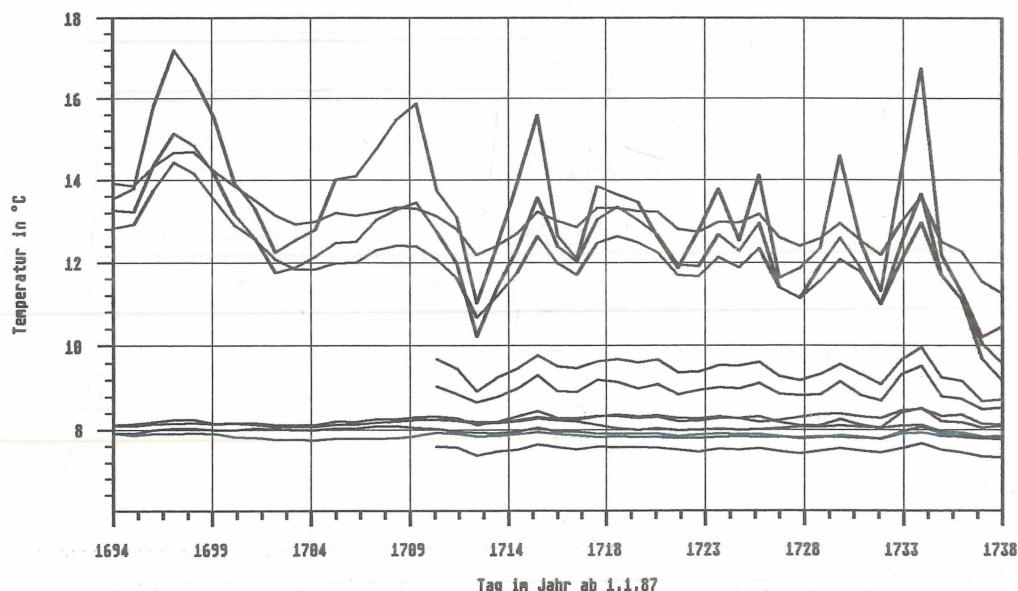
## 2.5 Die Daten der Meßreihe Tag Nr. 233 bis Tag Nr. 277 aus 1991

Die Daten der Meßreihe vom 21. Aug. 1991 (233. Tag) bis zum 4. Okt. 1991 (277. Tag), insgesamt 44 Tage, werden dargestellt. Die Sensoren und Meßgeräte werden in einem eigenen Kapitel ab Seite 37 behandelt. Das in dieser Kampagne installierte Meßsystem zur Erfassung der Lufttemperatur im Intervall 15 Minuten besteht, wie bereits in Abschnitt 2.4.2 beschrieben, aus insgesamt 12 Sensoren an 3 Standorten (jeweils als Profile, übereinander angeordnet). Die Sensoren END25M, END10M, ENDKRO, ENDAUS sind das Profil (von "unten" nach "oben") der Endkammer, GRDKLU, GRDKRO, GRD05M, GRD10M jenes des Großen Dom, und DIEUNT, DIEPLA, DIENIS, DIESTI das der Dietrichshalle.

Aus den Daten im Intervall 15 Minuten wurden zwei weitere Datensätze gefertigt und zwar Stundenmittelwerte und Tagesmittelwerte. Der Datensatz im Großen Dom beginnt erst am 6. Sept. (249. Tag), das sind 28 Tage. Zuallererst werden die Temperaturverhältnisse anhand der Tagesmittelwerte gezeigt.

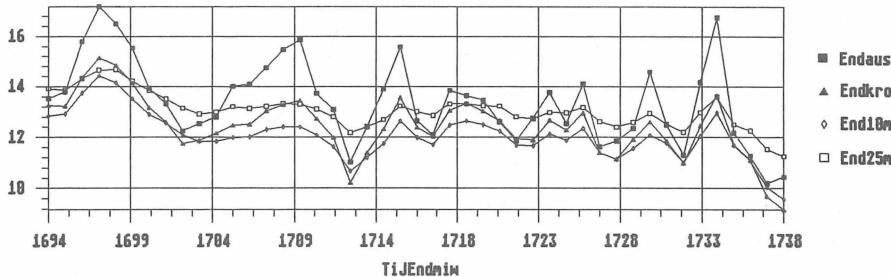
### 2.5.1 Die Tagesmittelwerte der korrigierten Zeitreihen

Einen ersten Überblick gibt die folgende Graphik, es fallen die teilweise großen Unterschiede bei den Amplituden auf, deshalb folgen zur besseren Übersicht Ausschnittvergrößerungen der drei Standorte.

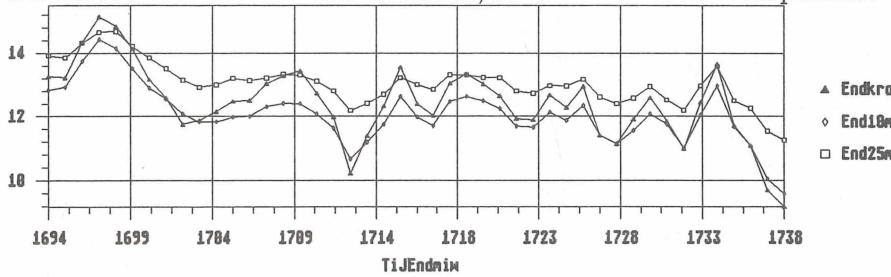


Die Tabellen unter jeder Graphik enthalten statistische Maßzahlen aus den **Stundenmittelwerten**, d.h. 24 Werte pro Tag über 44 Tage. Im ersten Teil finden sich Mittelwert, Standardabweichung, und Varianz, darunter noch Minimum und Maximum der Tage, und die Differenz zwischen Minimum und Maximum.

### 2.5.1.1 Endkammer



Die Sensoren der Endkammer nochmals, aber ohne die Außentemperatur.



End	Endkro	End10m	Endaus	End25m
Mittel	12.50	12.13	13.50	12.64
StdAbw	1.329	0.951	2.272	0.727
Var	1.766	0.905	5.164	0.529
Min	7.11	8.39	8.58	10.73
Max	16.03	15.12	21.76	15.21
Max-Min	8.91	6.73	13.18	4.48

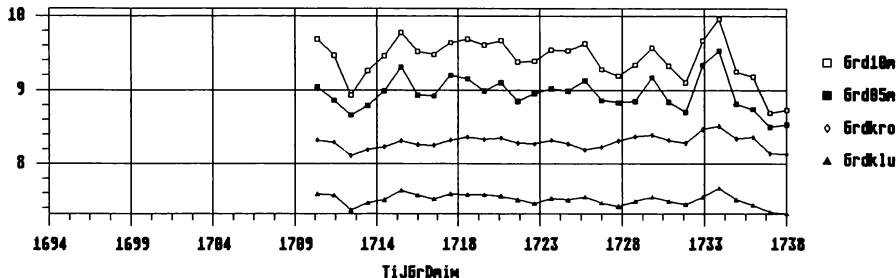
**Anmerkung:** Diese Tabelle und die folgenden enthalten einige statistische Maßzahlen aus den besser aufgelösten Stundenmittelwerten, Grundlage der Graphiken sind jedoch Tagesmittelwerte (für einen Überblick ausreichend).

Tabelle 2.1: Statistik Endkammer

Bei einem Mittelwert der Außentemperatur (ENDAUS) von 13.5 Grad liegen die Werte in der Endkammer mit knapp 12 Grad um ein Grad tiefer. Bei Varianz und Standardabweichung liegen wieder die Meßwerte der Sensoren in der Höhle nahe beisammen und zeigen ein Abnehmen der Schwankungsbreite innerhalb der Höhle. Unklar ist die Erwärmung beim Sensor END25M gegenüber dem Abfall von ENDKRO und END10M. Das dürfte mit der Lage des Sensors erklärbar sein, der in diesem Bereich lagernde oder ausströmende Warmluft erfaßt, im Gegensatz zu den anderen beiden, die einfließende Kaltluft besser erfassen.

Erwartungsgemäß zeigt sich bei der Außentemperatur ENDAUS die größte Spanne zwischen Minimum und Maximum in dieser Periode, und zwar 13.18 Grad. Diese sinkt in der Endkammer auf Werte um 6 Grad, das entspricht bereits einer Halbierung der Amplitude.

### 2.5.1.2 Großer Dom

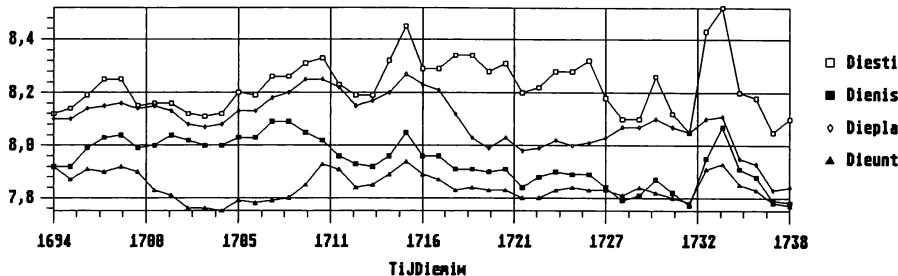


GrD	Grdklu	Grdkro	Grd05m	Grd10m
Mittel	7.52	8.31	9.03	9.552
StdAbw	0.110	0.118	0.337	0.423
Var	0.012	0.014	0.114	0.179
Min	7.19	7.96	8.19	8.45
Max	7.81	8.91	10.15	10.55
Max-Min	0.62	0.95	1.95	2.10

Tabelle 2.2: Statistik Großer Dom

Der Große Dom ist bereits sehr weit (60m Luftlinie) von der Endkammer entfernt; das äußert sich in einem um 3 bis 5 Grad niedrigeren Mittelwert als in der Endkammer. Die Sensoren zeigen je nach Lage zwei unterschiedliche Verhaltensweisen. Die beiden direkt übereinander angeordneten Sensoren GRD05M und GRD10M haben Varianzen, die um den Faktor 10 kleiner sind als die in der Endkammer. Die anderen beiden GRDKLU, GRDKRO mit etwa 0.014 gleich eine um den Faktor 100 kleinere. Das ist eine Größenordnung wie sie auch weiter innen, in der Dietrichshalle, zu finden ist. Die Minima liegen nahezu bei den gleichen Werten wie in der Endkammer, die Maxima sind nur etwa 1 Grad entfernt. An den durch die Lage besser durchmischten Stellen an der Decke GRD05M und GRD10M beträgt die Differenz zwischen Minimum und Maximum 2 Grad.

### 2.5.1.3 Dietrichshalle



Die	Dieunt	Diepla	Dienis	Diesti
Mittel	7.84	8.09	7.94	8.24
StdAbw	0.064	0.115	0.104	0.132
Var	0.004	0.013	0.011	0.017
Min	7.704	7.724	7.684	7.950
Max	8.064	8.884	8.264	8.574
Max-Min	0.360	1.160	0.580	0.620

Tabelle 2.3: Statistik Dietrichshalle

Dieser Standort ist zwar näher zum unteren Höhleneingang als der Große Dom, doch stellt er offensichtlich den ungestörtesten Standort der drei Profile dar. Die Mittelwerte liegen noch näher beisammen (innerhalb von 0.4 Grad), und die Varianzen liegen generell unter 0.02 ( $^{\circ}\text{C}^2$ ). Auch die Stelle mit der absolut geringsten Varianz ( $= 0.004 ^{\circ}\text{C}^2$  bei DIEUNT) findet sich hier. Und nur DIEPLA mit einer Differenz von 1.16 Grad zwischen Minimum und Maximum fällt bei sonst etwa nur 0.5°C heraus. Das deutet auf Austauschvorgänge oder andere Einflüsse (z. B. durch den Führungsbetrieb) hin, die sich hier (an einer Stelle mit geringer Koppelung an die Außentemperatur) bemerkbar machen. Die Einflüsse der "Außenwelt" werden an mehreren Stellen in der vorliegenden Arbeit behandelt.

## 2.6 Vertikale Temperaturprofile mit Tagesmittelwerten (233. Tag bis 277. Tag)

Es folgt eine Betrachtung der vertikalen Temperaturverhältnisse in der Höhle: Dazu dienen die Tagesmittelwerte der drei Standorte (Dietrichshalle, Großer Dom, Endkammer). Wie schon erwähnt, sind die Sensoren nach Möglichkeit übereinander angeordnet. Unter Berücksichtigung der relativen Höhendifferenzen sind die drei Profile auf den nächsten Seiten dargestellt. Der jeweils am höchsten gelegene Sensor zeigt die größte Streuung. Man sieht deutlich die Unterschiede in den Temperaturbereichen der einzelnen Standorte. Die Skalierung ist wieder den jeweiligen Temperaturverhältnissen angepaßt.

Beim Standort Dietrichshalle wurde der Sensor DIENIS nicht in die Graphik aufgenommen, da dieser eine andere Charakteristik aufweist und somit das Bild verfälschen würde. Gerade beim Standort Dietrichshalle zeigt sich, daß in der Meßperiode zwei unterschiedliche Situationen gehäuft auftreten: Einer Erwärmung in der unteren Ebene (DIEUNT, DEIPLA) folgt eine geringere Erwärmung oben (DIESTI) und umgekehrt. Dieses Phänomen könnte nur mit weiteren Messungen geklärt werden, da in diesem Zeitabschnitt allein die Witterung diesen Effekt erzeugt haben kann. Dieses Verhalten zeigen die anderen beiden Standorte nicht.

Die Graphiken stellen den Temperaturverlauf der Tagesmittelwerte dar. Abszisse ist die Temperatur in °C, die von rechts nach links zunimmt, die Ordinate gibt die Sensorhöhe in Metern über einem relativen Bezugspunkt (0m) an.

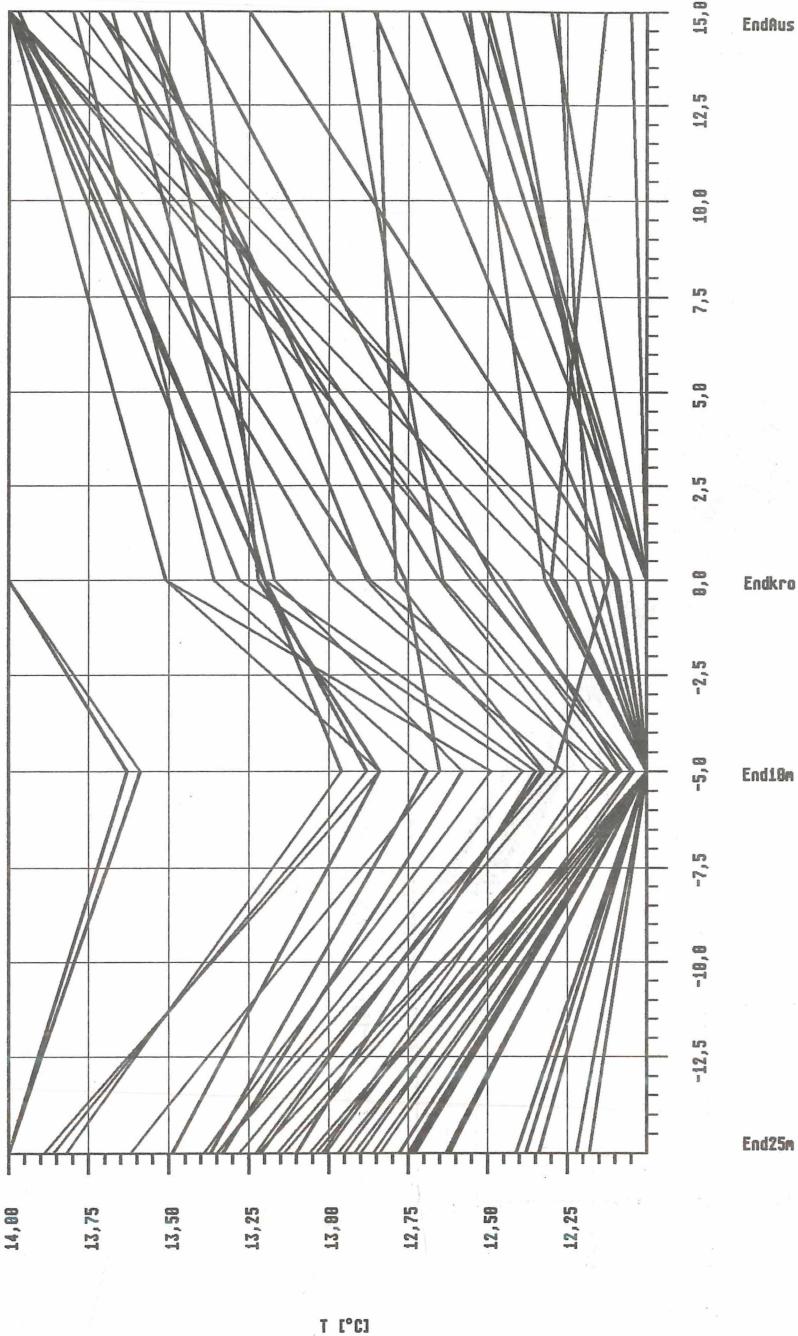


Abbildung 2.10: Die Temperaturprofile (Tagesmittelwerte) der Endkammer

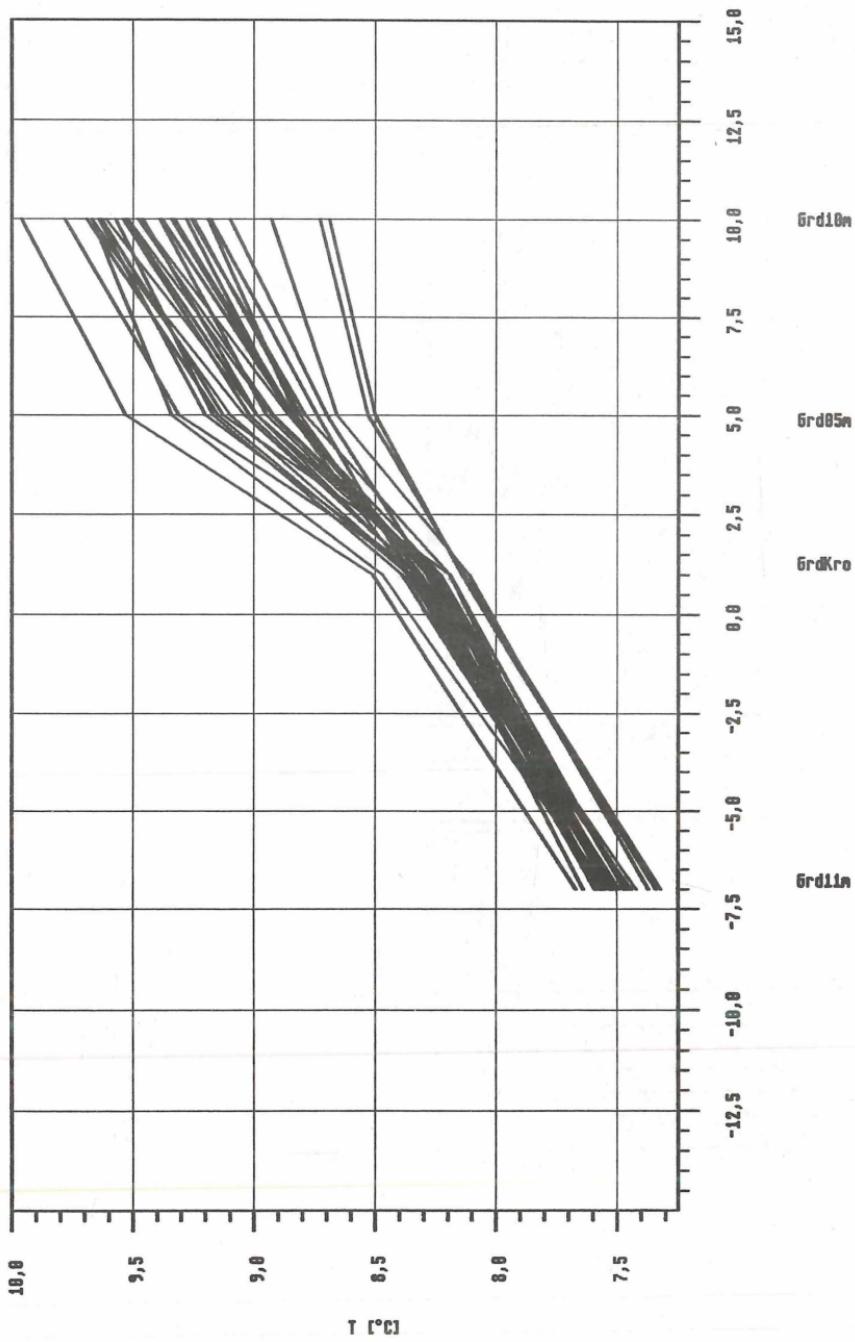


Abbildung 2.11: Die Temperaturprofile im Großen Dom

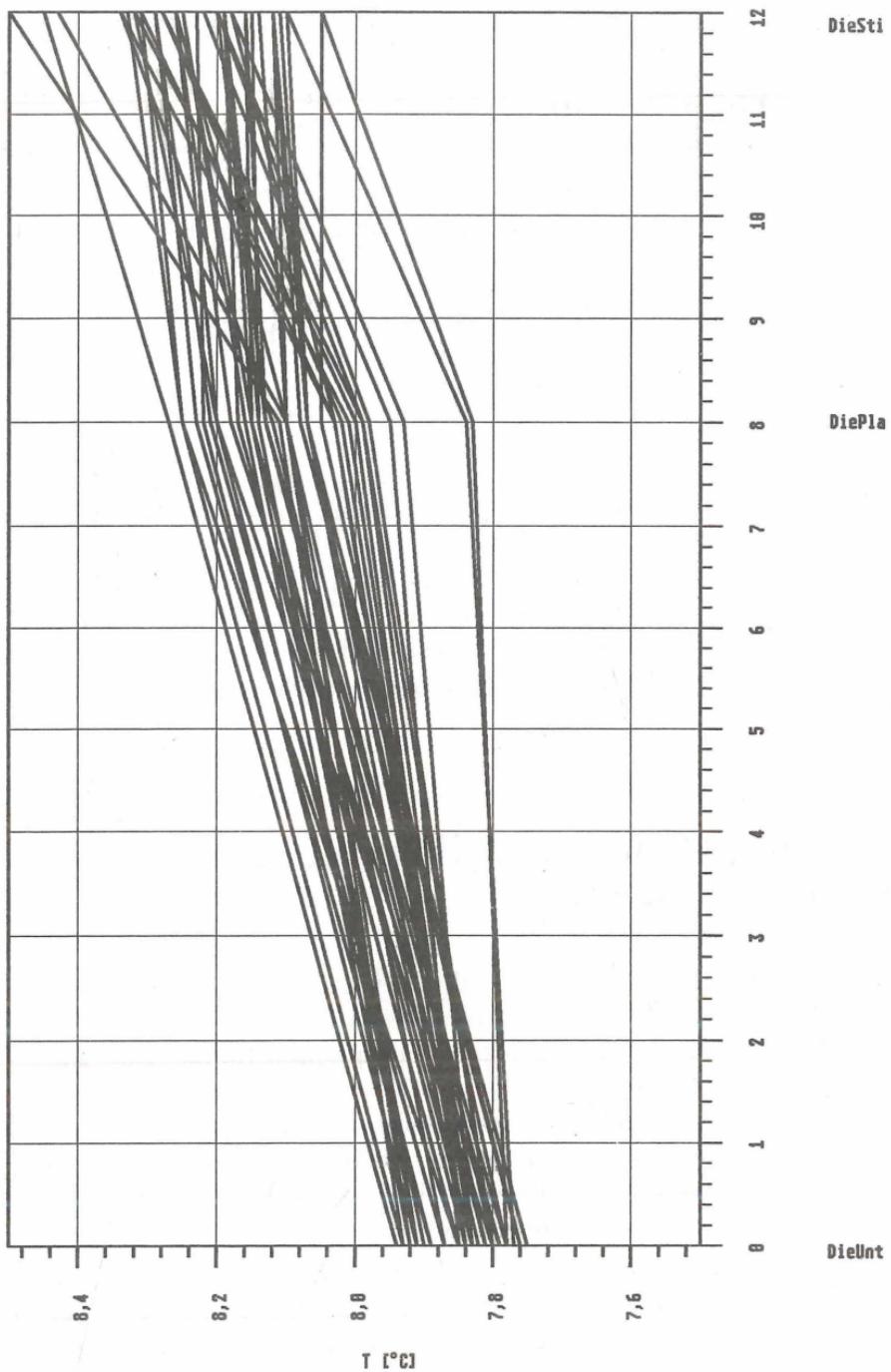


Abbildung 2.12: Die Temperaturprofile in der Dietrichshalle

# 3 Die Sensoren und Meßgeräte

## 3.1 Der Temperatursensor LM35

Der LM35 (National Semiconductor Corporation) ist ein hochintegrierter sehr genauer Temperatursensor. Er liefert an seinem Ausgang ein lineares Spannungssignal mit  $10 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$ , daher ist ein direkter Anschluß an einen Datenlogger möglich. Zum Betrieb des Sensors werden nur ein dreipoliges (gegen elektromagnetische Einstrahlung abgeschirmtes Kabel) sowie eine Gleichspannungsversorgung im Bereich zwischen 4 und 30 Volt benötigt.

Um die Genauigkeit der Messung noch weiter zu steigern, wurden die Sensoren vor dem Einsatz gealtert, das bedeutet ein mehrmaliges Durchlaufen von Erwärmung und Abkühlung. Damit wird verhindert, daß sich die Kennlinie (Temperatur-Spannungscharakteristik) erst während der Messung durch die eigentlich zu messenden Temperaturschwankungen verändert. In der Praxis heißt das, daß die Sensoren mindestens 20, 30 Mal z.B. in der Gefriertruhe zu lagern sind, und dann anschließend wieder einer Wärmelampe auszusetzen sind. Dieser Vorgang nimmt die natürliche Alterung, der jeder Sensor unterworfen ist, bis zu einem gewissen Maß vorweg und steigert die Güte der Messung. Am Ende der Meßkampagne erfolgte wie schon am Anfang eine Kontrollkalibrierung.

## 3.2 Die NTC-Sensoren der 5-jährigen Reihe 1987 bis 1991 (Mrkos-Reihe)

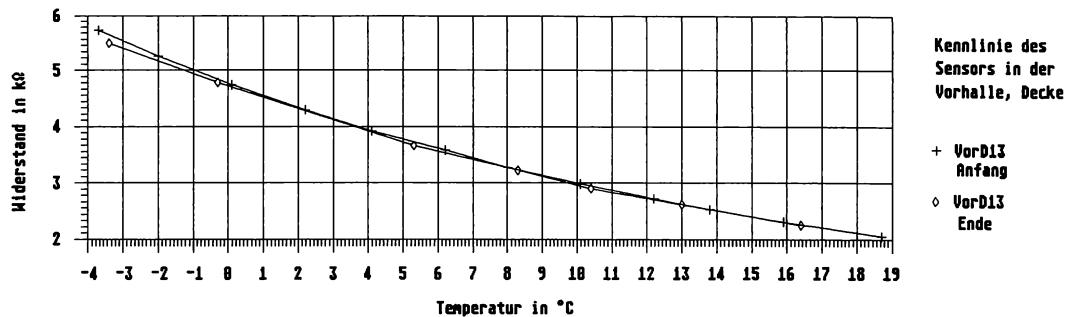
Die Sensoren, mit denen die 5-jährige Temperaturreihe<sup>1</sup> gemessen wurde, sind nichtlineare NTC (negative temperature coefficient) Sensoren. Dieser Sensortyp unterscheidet sich in einigen Punkten von dem im vorigen Abschnitt behandelten LM35. Hier wird die Temperatur indirekt über die Veränderung des Widerstandes bestimmt. Die Widerstandswerte liegen zumindest im Kiloohmbereich, damit sich z.B. Leitungswiderstände oder ähnliches nicht zu stark auf die Messung auswirken. Bei den Widerstandssensoren gibt es zwei Typen, den PTC (positiv temperature coefficient) und den gebräuchlicheren NTC. Der Widerstand des NTC nimmt mit zunehmender Temperatur ab.

Unangenehm ist eine andere typische Eigenschaft der Widerstandssensoren, und zwar deren Nichtlinearität. Das bedeutet einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstandswert. Diese Nichtlinearität wird normalerweise mit sogenannten Linearisierungswiderständen weitgehend beseitigt.

Eine Kennlinie der verwendeten Sensoren sieht etwa folgendermaßen aus:

---

<sup>1</sup>Die Daten werden im Kapitel 2.2 ab Seite 12 behandelt



Vor dem Einbau (Anf) und am Ende (End) der Meßperiode 1987-91 wurden an etwa 10 Punkten im Temperaturbereich von minus 4°C bis 18°C Widerstandswerte ermittelt. Aus diesen Punkten wurden vom Verfasser mittels parabolischer Interpolation (beste Anpassung) zwei Kalibrationskurven erstellt. Diese beiden Kennlinien<sup>2</sup> weisen bei einigen Sensoren sehr große Unterschiede auf, die umgerechnet auf Temperaturunterschiede bis zu  $\pm 0.4^\circ\text{C}$  betragen. Diese Sensoren wurden offensichtlich nicht gealtert, denn die größten Abweichungen fallen in den Temperaturbereich, dem die Sensoren ausgesetzt waren. Um diese zeitliche Veränderung im Datenmaterial zu berücksichtigen, erfolgte eine Korrektur, die die Alterung mit einer linearen Zeitabhängigkeit annimmt. Erst mit diesem korrigierten Datensatz folgten die weiteren Untersuchungen.

### 3.3 Die Datenlogger

Datenlogger sind Geräte, mit denen meteorologische Meßgrößen sehr einfach erfaßt und gespeichert werden können. Sie eignen sich besonders für eine automatisierte Messung zu fixen Zeitpunkten über lange Zeiträume. Zu ihrer Programmierung, zum Datentransfer, der Endspeicherung auf Disketten und der Weiterbearbeitung der Daten (z.B. Statistik) ist meist ein Personalcomputer (PC) oder Laptop notwendig. Zur Kommunikation zwischen PC und Datenlogger hat der Datenlogger eine standardisierte serielle Schnittstelle (RS232 oder ähnliches). Grundsätzlich sind Datenlogger eine Kombination aus:

- einem Computer, der den Meßvorgang steuert, kontrolliert und die Werte speichert sowie
- einem A/D Wandler (= Analog/Digital), der ein analoges Signal, wie es bei den Sensoren vorliegt, in ein digitales und somit für einen Computer bearbeitbares Signal umwandelt

Datenlogger gibt es in verschiedenen Ausführungen, sie unterscheiden sich vor allem in ihrer Meßgenauigkeit, und in der Fähigkeit unterschiedlichste Signale zu verarbeiten (Strom, Spannung, usw.). Vom Verfasser wurden in der in der Periode 233. Tag bis 277. Tag aus 1991 zwei Geräte der Firma Campbell Scientific des Typs CR10 und ein Gerät der Firma Leskowa des Typs PDL verwendet.

<sup>2</sup>Bei den Sensoren ABZS04, KLT09, WKLL12, ABSW22 und WILU34 fehlte eine Kennlinie, sie konnten daher nicht korrigiert werden. Diese Sensoren werden nicht mehr überall berücksichtigt.

# 4 Spezielle Untersuchungen

## 4.1 Lineare Regression mit zeitversetzten Reihen

Die Zeitreihen (Tag Nr. 233 bis Tag Nr. 277 aus 1991) werden einer sogenannten Autokorrelation (siehe [3], [9]) unterzogen, das ist eine lineare Regression ein und derselben Zeitreihe mit vorgegebenen Zeitverschiebungen. Bei der Zeitverschiebung zweier Reihen um einen Faktor X verkürzen sich die resultierenden Reihen um die Anzahl  $2X$ .

$$\begin{array}{cccccccccc} T(0) & T(1) & T(2) & T(3) & T(4) & T(5) & T(6) & T(7) & T(8) & T(9) \\ & T(0) & T(1) & T(2) & T(3) & T(4) & T(5) & T(6) & T(7) & T(8) & T(9) \end{array}$$

Diese werden um den Mittelwert ( $\bar{T}$ , abhängig von deren Länge) zentriert:

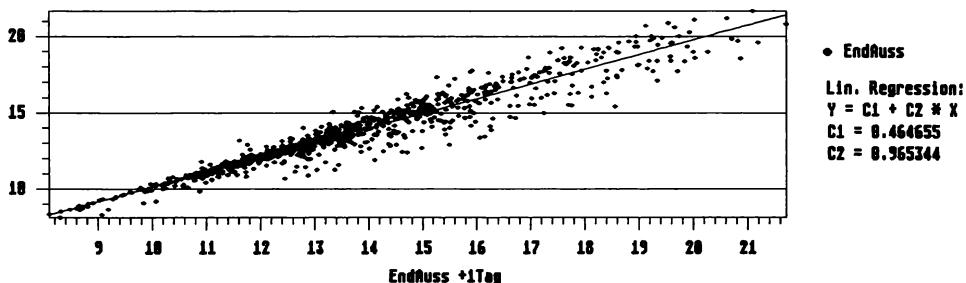
$$T(1)_{neu} = T(1) - \bar{T} \quad (4.1)$$

Der Korrelationkoeffizient ( $r$ ) der Reihen X und Y berechnet sich nach:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (4.2)$$

$$x = X - \bar{X}, y = Y - \bar{Y} \quad (4.3)$$

Anschließend wird durch die so entstandene zweite Zeitreihe und das Original eine Ausgleichsgerade gelegt. Dieses Beispiel zeigt die Lineare Regression der Außentemperatur, bei einer Zeitverschiebung von einem Tag, allerdings noch ohne die oben angeführte Zentrierung.

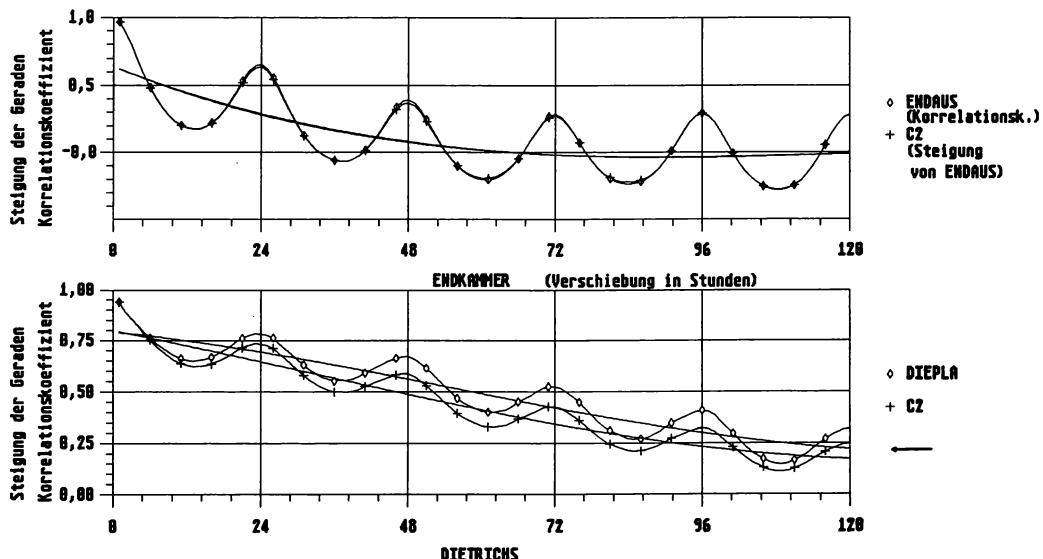


Die Neigung der Geraden und der Korrelationskoeffizient (KK) mit zunehmenden Differenzen (in Stunden) werden im folgenden dargestellt. Die X-Achse zeigt die Differenz in Stunden, für die Steigung der Ausgleichsgeraden (C2) und der Korrelationskoeffizient berechnet werden. Die Y-Achse zeigt den Wert von C2 und des KK. Weiters sind zur deutlicheren Kennzeichnung der Trend eingetragen (Polynom 3. Grades durch alle Punkte).

An allen Meßpunkten ist ein Tagesgang der Korrelation festzustellen, also wird auch hier wieder deutlich, wie wesentlich die tägliche äußere Temperaturschwankung ist. An den Punkten ENDKRO, END10M, END25M ist die Korrelation nach 1 und 2 Tagen

sogar noch höher als außen (ENDAUS). Unerwartet hohe Korrelationen finden sich ebenso in den ersten drei Tagen an DIENIS und DIEPLA, den geschützten Meßstellen. Das könnte auf eine Konservierung der Temperaturanomalien als Reaktion höhleninterner Zirkulationen auf die von außen einwirkenden Temperaturimpulse hindeuten. Die Korrelationen lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen:

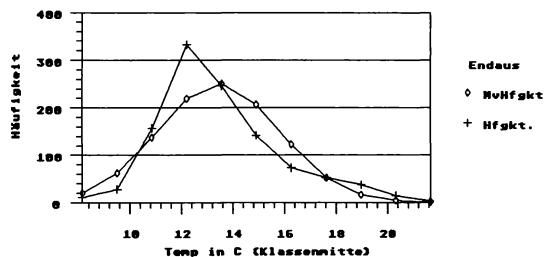
- "stagnierende Bereiche" (END10M,END25M,DIENIS,DIEPLA): mit einer langsamem Abnahme des Korrelationsmaßes bis gegen 0.25, dieser Fall ist in der Grafik mit  $\leftarrow$  gekennzeichnet.
- "durchlüftete Bereiche" (ENDAUS, sowie alle anderen): mit einer raschen Abnahme des Korrelationsmaßes (nach etwa 2 Tagen) auf einen Wert um 0.



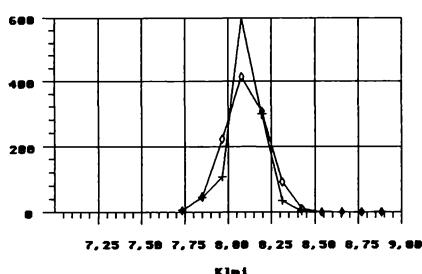
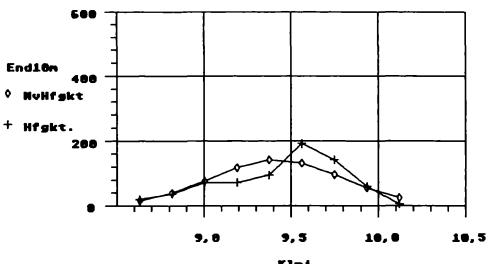
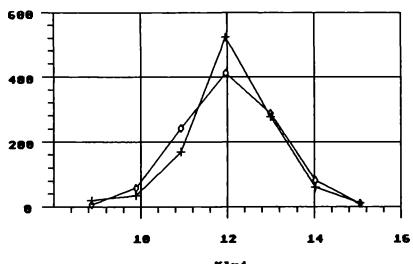
## 4.2 Test auf Normalverteilung

Hier werden die Zeitreihen Tag Nr. 233 bis Tag Nr. 277 aus 1991 (Stundenmittelwerte) untersucht, inwieweit sie normalverteilt sind. Die Normalverteilung ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung. Man definiert die Wahrscheinlichkeit(Y) für das Auftreten eines Wertes(X), bei gegebenem Mittelwert  $\mu$ , sowie Standardabweichung  $\sigma$  zu.

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp^{-1/2(X-\mu)^2/\sigma^2} \quad (4.4)$$



Dargestellt sind einige Beispiele, und zwar: Einerseits das Ergebnis einer Häufigkeitsauszählung (Hfgkt.) und andererseits die nach obiger Formel berechneten Häufigkeiten der Normalverteilung (Nvhfgkt.) an den Klassenmittelpunkten der Häufigkeitsauszählung.



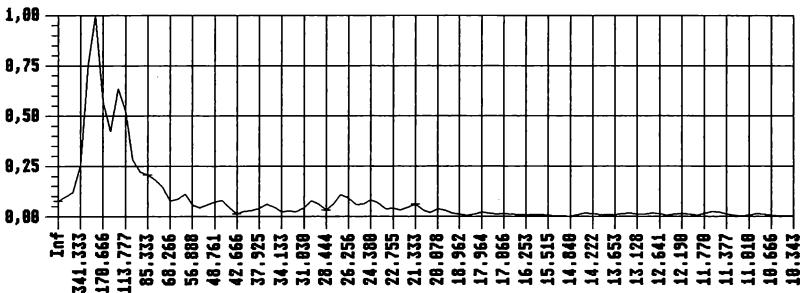
**Alle Standorte** stimmen gut in ihren Histogrammen der Temperaturstundenmittelwerte mit der Normalverteilung überein. Besonders deutlich wird das Abnehmen der Schwankungsbreite je weiter man in die Höhle kommt. Zu beachten ist aber, daß diese Meßreihe sehr kurz ist, und daher noch Einflüsse kurzfristiger Änderungen der Außentemperatur enthalten muß.

**Anmerkung:** Die Skalierung muß mehrmals geändert werden, um trotz geänderter Meßbereiche den optimalen Ausschnitt zu zeigen.

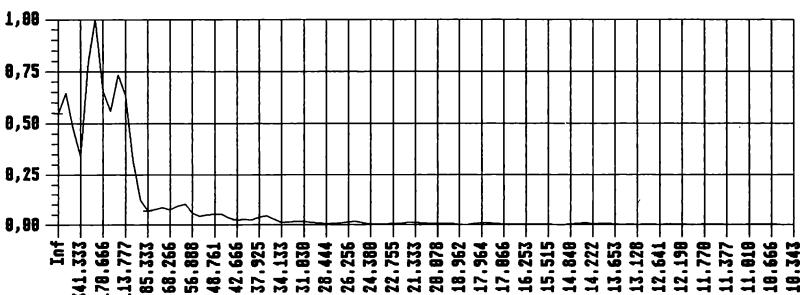
## 4.3 Fouriertransformation der Zeitreihen

Die Zeitreihen aus der Periode Tag Nr. 233 bis Tag Nr. 277 aus 1991 werden einer Fouriertransformation (FT), genauer einer Fast Fourier Transformation (FFT) unterzogen. Das ist eine Analyse der in der Zeitreihe vorkommenden Frequenzen (s. [3]). Der Unterschied zwischen FT und FFT ist, daß bei der FT alle vorkommende Frequenzen bestimmt werden, bei der FFT nur  $2^n$ . Der notwendige Rechenaufwand (und damit auch die Rechenzeit) bei der FFT ist deutlich geringer, sie gibt aber trotzdem einen sehr guten Überblick. Zuvor ist es notwendig, die Datensätze auf die Analyse vorzubereiten. Bekannte Einflüsse wie z.B. der Tagesgang, der in allen Bereichen der Höhle erkennbar ist, werden bereits vorher eliminiert. In den folgenden Graphiken sind auf der X-Achse die Frequenz in Stunden aufgetragen. Die Skalierung der Y-Achse zeigt die Amplituden. Um die einzelnen Standorte miteinander vergleichen zu können, folgt abschließend eine Normierung auf die größte Amplitude jeder Reihe: Das bedeutet, daß die größte Amplitude den Wert 1 bekommt und alle anderen auf diesen bezogen werden. Zur leichteren Orientierung seien hier einige Abszissenwerte für die Graphiken der Fouriertransformation umgerechnet:

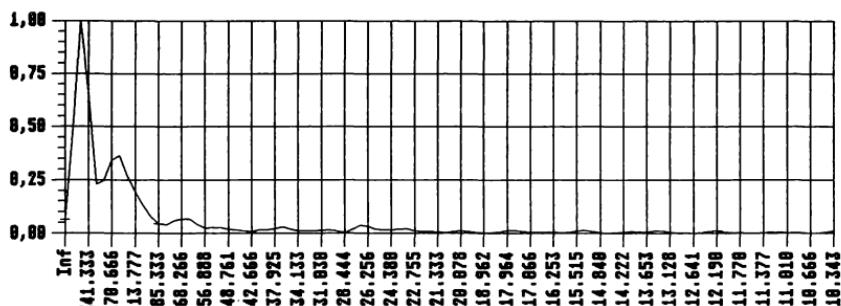
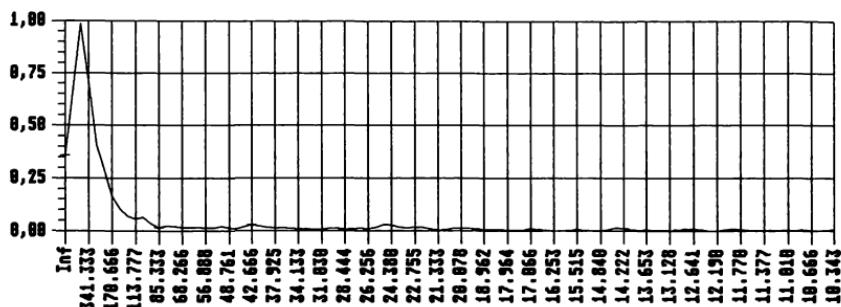
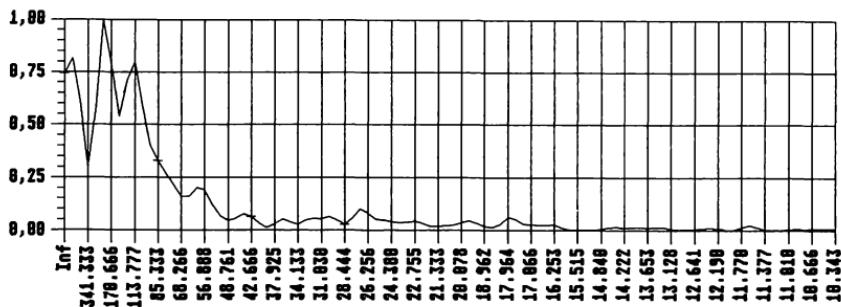
Stunden	1024	512	256	205	128	64	32
Tage	42.6	21.3	10.6	8.5	5.3	2.6	1.3
Wochen	6.1	3.0	1.5	1.2	0.7	0.4	0.2



+ ENDAUS



+ END10M



## 4.4 Ergebnisse der Fouriertransformation

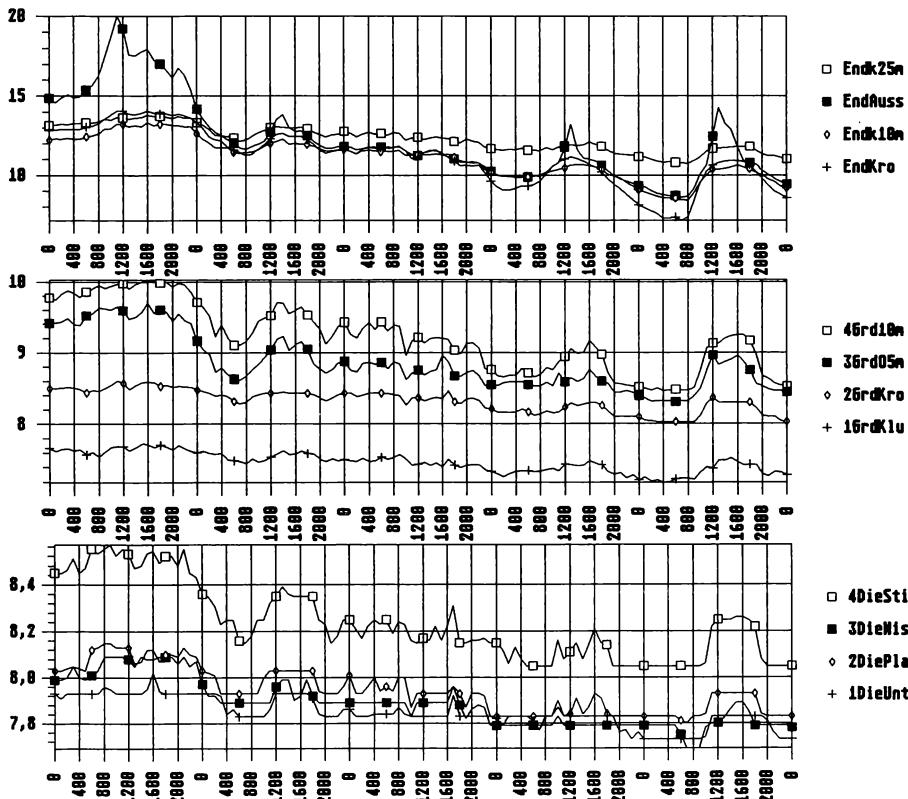
Nach Ausfilterung der 12-stündigen und 24-stündigen Temperaturamplitude, die in allen Höhlenteilen durch einen "peak" im Energiehaushalt in Erscheinung tritt, zeigen die Graphiken folgende grundsätzliche Eigenheiten:

1. Weißes Rauschen geringer Intensität unter 80 Stunden Periodenlänge
2. Atmosphärischer ("äußerer") Input mit Peak bei 205 (und etwas schwächer bei 128) Stunden (siehe ENDAUS). Dieser Input findet sich selbstverständlich in der gesamten Endkammer, im Großen Dom, und sogar noch in der Dietrichshalle (DIESTI, DIENIS).
3. Auf die erwähnte "Inputfunktion" reagiert die Höhle mit **langperiodischen Temperaturschwankungen** (im Bereich von etwa 512 Stunden  $\cong$  3 Wochen Periodenlänge). Die Energieinhalte letzterer nehmen dabei betragsmäßig von außen nach innen ab, deren relative Bedeutung im Spektrum aber zu (siehe ENDKRO, END10M, END25M). Die langperiodische Fluktuation (eine Höhlenreaktion) fehlt im Großen Dom und ist in der Dietrichshalle wieder anzutreffen. Am erwartungsgemäß "ruhigsten" Meßplatz ist diese sogar dominierend (DIEUNT und vor allem DIEPLA).
4. Wir schließen daraus auf eine Verschiebung der "kürzeren" atmosphärischen Temperaturschwingungen ( $\sim 8.5$  Tage) in Schwingungen "höhleninterner Art" auf Periodenlängen zu rund drei Wochen, die in weiten Teilen der Höhle auftreten.
5. Ob diese Art der Reaktion für die Hermannshöhle typisch ist, oder von der Meßkampagne 91 (also von den Bedingungen "außen/innen" zur Zeit der damaligen Messungen) abhängt, kann nicht festgestellt werden.

## 4.5 Die äußere zeitliche Temperaturänderung im Vergleich zur zeitlichen Temperaturänderung in der Höhle

Hier erfolgt ein Versuch "synoptische Ereignisse" mit Reaktionen der Temperatur in der Höhle in Zusammenhang zu bringen. Dazu werden aus dem Datensatz der Stundenwerte (Zeitraum Tag Nr. 233 bis Tag Nr. 277 aus 1991) alle (auch lokale und nicht nur die absoluten) Minima und Maxima herausgesucht und zwischen diesen die zeitlichen Temperaturgradienten gebildet. Erste Versuche ergaben, daß ähnlich wie in Kapitel 4.3 der Tagesgang störend in Erscheinung tritt. Daher wurde auch hier der mittlere Tagesgang eliminiert. Um die zeitlichen Änderungen miteinander vergleichen zu können, bezieht man sich auf einen Zeitraum von 24 Stunden (das entspricht einer Temperaturänderung in Grad pro Tag). Bei der Suche nach relativ großen zeitlichen Änderungen in diesem Zeitraum fallen folgende Tage besonders auf:

#### 4.5.1 Die Periode Tag Nr. 273 bis Tag Nr. 277 aus 1991



Die Graphiken zeigen die Tagesgänge der Periode Tag Nr. 273 bis Tag Nr. 277 aus 1991, die Symbole in den Abbildungen markieren die einzelnen Reihen in 6-Stundenschritten.

die Skalierung der Abszisse gibt 4-Stunden Abschnitte an. Für die gesamte Periode ist die Wetterkarte (Abb. 4.1) vom 1. 10. 1991 repräsentativ (gut zu erkennen sind die aufeinanderfolgenden Frontensysteme).

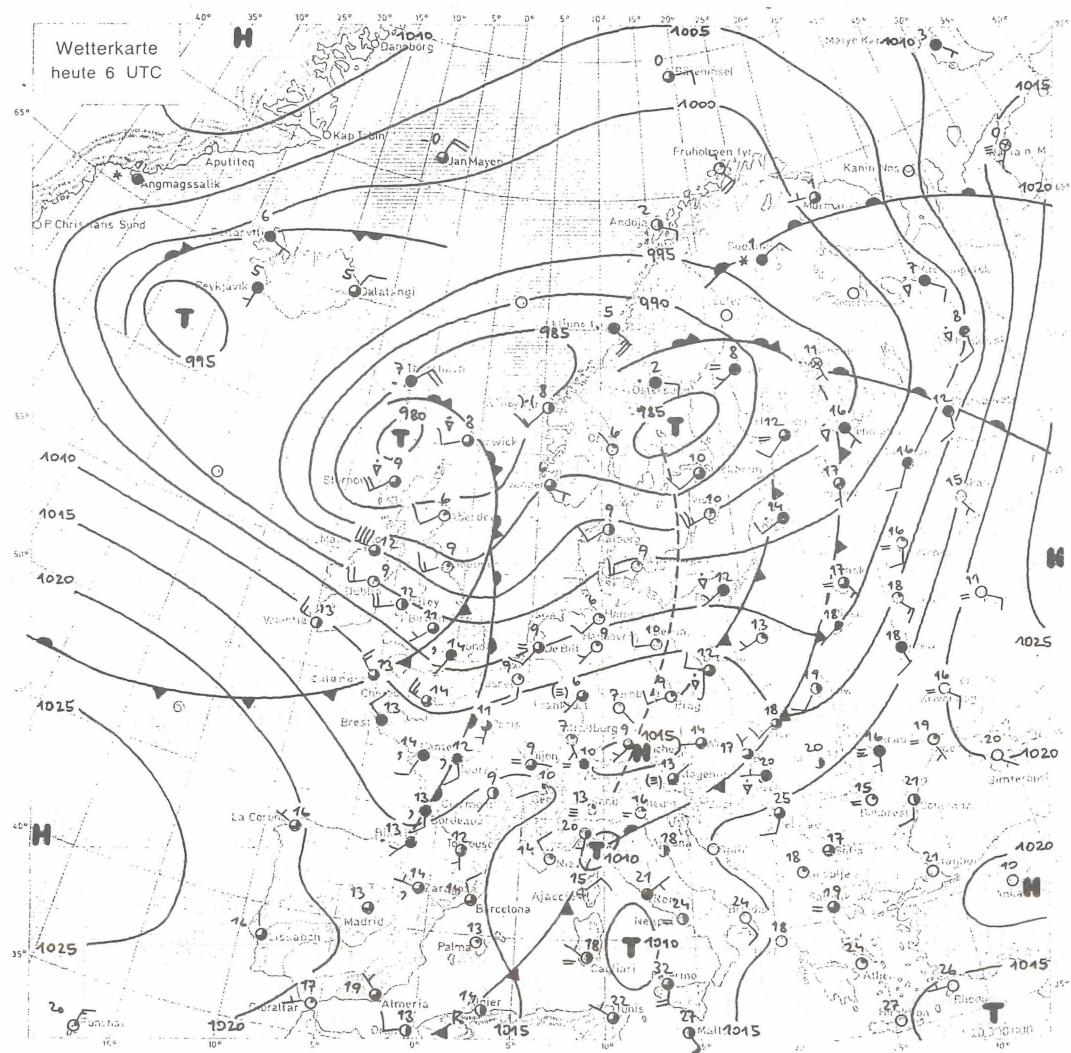


Abbildung 4.1: Wetterkarte vom 1. Oktober 1991 (Quelle: ZAfMuG)

#### 4.5.1.1 Kaltfrontdurchgang vom 30. 9. 1991 (273. Tag)

Am Morgen des 30. 9. 1991 lag eine Kaltfront über Westösterreich, die Strömung frontvorderseitig kam aus Südwest, es wurde Warmluft herangeführt (lokal um 9 Grad/24h). Etwa um 14 Uhr erreichte die Kaltluft "die Hermannshöhle". Bei ENDAUS ergab sich

ein markanter zeitlicher Gradient von -46.8 Grad/24h, bei ENDKRO -4.8 Grad/24h, bei END10M -2.6 Grad/24h, und bei END25M -2.4 Grad/24h. Die anderen Werte lagen im großen Dom deutlich unter -2 Grad/24h (kleiner als 0.1 Grad pro Stunde, und damit nicht mehr aufgelöst), in der Dietrichshalle generell unter -1 Grad/24h.

Stelle	ENDAUS	ENDKRO	END10M	END25M
Grad pro 24h	-46.8	-4.8	-2.6	-2.4

Trotz eines gewaltigen Gradienten bei der Außentemperatur zeigt sich dieser Impuls bei den Meßstellen weiter innen **nicht** mehr. Der Grund dafür ist, daß der Gradient zwar sehr groß war (ca. 2 Grad pro Stunde), doch die Dauer der Abkühlung betrug nur 2 Stunden, war also extrem kurz. Impulse dieser "Kürze" scheinen für die Höhle zunächst nicht interessant zu sein, denn ganz anders verhält es sich nun bei:

#### 4.5.1.2 Kaltfront von NW vom 2. 10. 1991 (275. Tag)

Stelle	ENDAUS	ENDKRO	END10M	END25M
Grad pro 24h	-17.7	-7.7	-4.0	-9.0
Stelle	GRD10M	GRD05M	GRDKRO	GRDKLU
Grad pro 24h	-7.4	-5.4	-1.8	-2.3
Stelle	DIESTI	DIENIS	DIEPLA	DIEUNT
Grad pro 24h	-1.7	-1.0	-2.1	-0.5

Der Impuls dauerte hier 6 Stunden, und ist im Inneren auch **an jeder Stelle** mit ähnlicher Dauer nachzuweisen.

#### 4.5.1.3 Hochdrucklage mit südlichem Wind am 4. 10. 1991 (277. Tag)

Stelle	ENDAUS	ENDKRO	END10M	END25M
Grad pro 24h	25.8	13.3	8.1	3.4
Stelle	GRD10M	GRD05M	GRDKRO	GRDKLU
Grad pro 24h	3.6	4.5	2.2	2.1
Stelle	DIESTI	DIENIS	DIEPLA	DIEUNT
Grad pro 24h	1.9	0.7	1.9	1.9

Abermals trat bei 2 Stunden Dauer ein Gradient von 2 Grad pro Stunde auf. Diese Warmluftzufuhr ist Innen in der Endkammer mit 4 Stunden registriert worden. An den anderen Punkten nimmt die Dauer mit zunehmender Entfernung vom Eingang ab.

Eine Betrachtung der **Zeitspanne**, in der der Außenimpuls an den einzelnen Positionen im Inneren zu finden ist, zeigte, daß die Temperaturschichtung im Inneren der Höhle zum Zeitpunkt des Eintretens des Impulses dafür verantwortlich ist, wo und wie weit ein Einfluß zu bemerken ist.

Weitere Fälle, die hier nicht explizit dargestellt sind, stützen diese Vermutung. So ist manchmal sogar der Weg, den die Luft nimmt, abhängig von dieser Temperaturschichtung: zum Beispiel fließt sie einmal über die Hohe Kluft zum Großen Dom und ein andermal direkt (Höhlenplan siehe Abschnitt 1.1). Ähnliches gilt auch für die Zeit-

spanne, in der der Impuls andauert.

Über eine **zeitliche Verzögerung** lässt sich trotz eingehender Beschäftigung mit dem gesamten Material (berücksichtigt wurden auch Messungen der höhlenkundlichen Abteilung des Naturhistorischen Museums von August 1991 bis Februar 1992 mit einer zeitlichen Auflösung von 7.5 Minuten oder 15 Minuten) nur wenig mehr aussagen, da die vorliegenden Fälle in dieser Beziehung uneinheitliche Ergebnisse liefern. Grundsätzlich aber ist oft ein "nahezu sofortiges Reagieren" anzunehmen. Auch über einen direkten Zusammenhang zwischen äußeren zeitlichen Temperaturveränderungen und dessen Abbildung in der Höhle ist aufgrund der komplexen Vorgänge in der Höhle kaum Definitives zu sagen. Es muß daher hier bei einer Beschreibung einzelner Fälle bleiben.

Auch eine zunächst vermutete direkte Beziehung zwischen Windrichtung und Art des Kaltluft- und Warmlufteindringens (besseres Eindringen bei Nordwestlagen) konnte aufgrund ausreichender Gegenbeispiele nicht bewiesen werden.

**Die Hermannshöhle stellt ein in bezug auf äußere Temperatureinflüsse offenes System dar.**

Das heißt, es müssen neben den bekannten "Verbindungen" zur Außenwelt (z. B. Führungs weg, erforschte Höhlenabschnitte) noch eine sehr große Zahl von weiteren Klüften, Spalten und Rissen im Gestein existieren, durch die ein "Luftaustausch zwischen außen und innen" erfolgen kann. Die Auswirkung äußerer Temperatureinflüsse ist dabei stark abhängig von den zur jeweiligen Zeit im Inneren der Höhle bestehenden Temperaturverhältnissen, genauer den statischen Temperaturschichtungen in einzelnen vertikalen Abschnitten der Höhle.

## 4.6 Korrelationen zwischen Lufttemperaturen

Ein Überblick anhand einiger Beispiele zeigt, inwieweit die Temperaturreihe (Tagesmittelwerte) der Klimastation in Kirchberg am Wechsel für die Betrachtungen (zum Beispiel ein Regressionsmodell) über die Temperaturverhältnisse in der Höhle verwendbar ist. Dazu werden Vergleiche mittels der Korrelationsanalyse zwischen Temperaturreihen in der Höhle und in der unmittelbaren Umgebung angestellt. In allen Fällen, in denen Daten aus mehreren Jahren vorlagen, wurden jeweils gleiche Monate aneinandergereiht. So zum Beispiel Jänner87, ..., Jänner91. Der Grund dafür ist, daß statistische Aussagen mit zunehmenden Datenumfang sicherer werden.

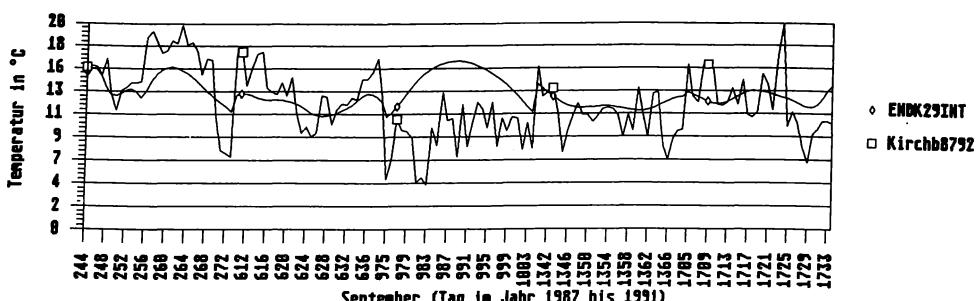
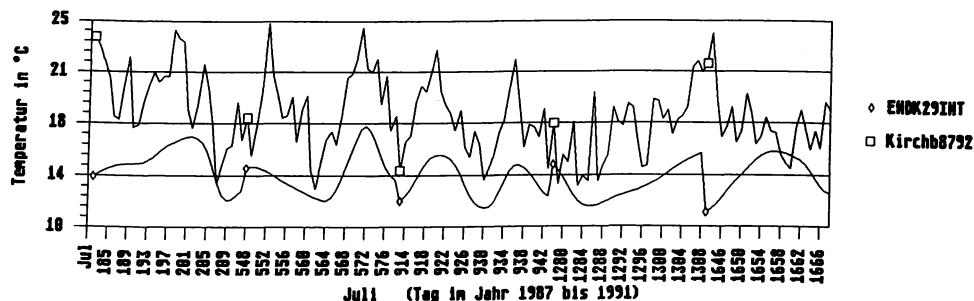
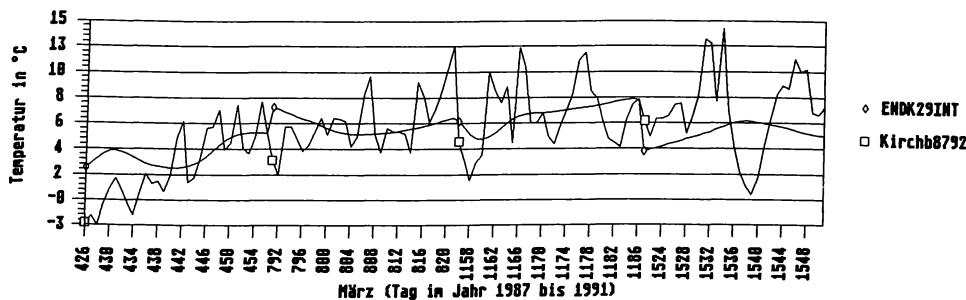
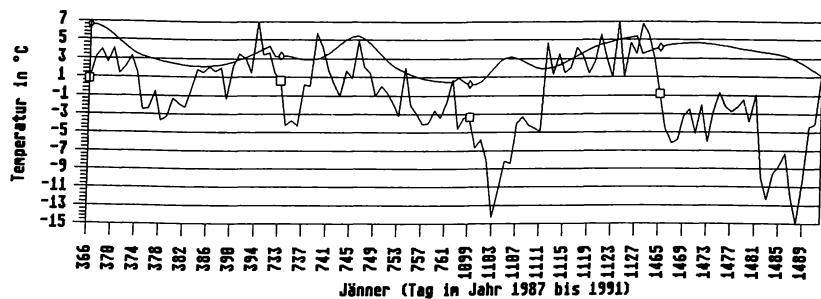
### 4.6.1 Die Korrelation von Lufttemperaturen zwischen der Klimastation Kirchberg am Wechsel und den parabolisch interpolierten Werten der Mrkos-Reihe

Die Korrelation zwischen der Klimastation Kirchberg am Wechsel mit Tagesmittelwerten und den mit dem im Abschnitt 2.3.1 behandelten Verfahren parabolisch interpolierten Werten des Temperatursensors ENDK29 wird als nächstes betrachtet. Untersucht werden die Monate Jänner, Juni, März und September. In der ersten Graphik des betrachteten Monats ist der Temperaturverlauf der Klimastation Kirchberg am Wechsel sowie der parabolisch interpolierte Tagesgang gezeigt (die Abszisse gibt den Tag im Jahr an, die Ordinate die Temperatur in Grad Celsius, die Marker  $\diamond$  und  $\square$  markieren Anfang und Ende der einzelnen Jahre), in der zweiten folgt die Korrelation. Die Tabelle enthält neben der Anzahl der Werte die Korrelationskoeffizienten.

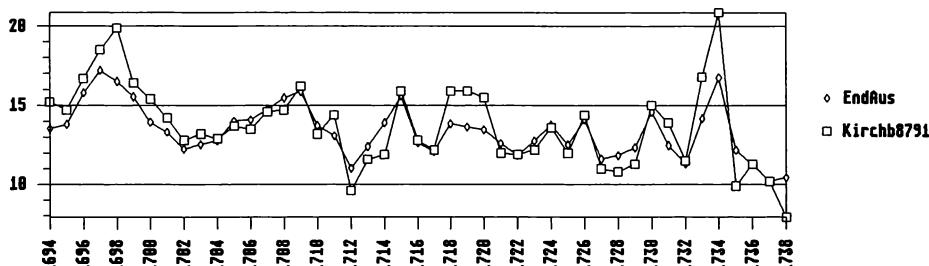
Die Korrelation<sup>1</sup> ist im März und Juli größer als im Jänner und im September. Gut sieht man, daß die Temperatur im Mittel in der Höhle im Vergleich zur Klimastation im Jänner um ca.  $4^{\circ}\text{C}$  (genau  $4.41^{\circ}\text{C}$ ) höher und im Juli um  $4^{\circ}\text{C}$  ( $4.40^{\circ}\text{C}$ ) niedriger ist. In den anderen beiden Monaten ist die Abweichung im Mittel dem Betrag nach kleiner (März  $0.31^{\circ}\text{C}$ , Juli  $1.07^{\circ}\text{C}$ ). Der Seehöhenunterschied beträgt etwa 100m: Die Talage der Station Kirchberg am Wechsel weist im Winter niedrigere (im Sommer höhere) Temperaturen als der einer Hanglage entsprechende Meßplatz ENDK29 auf.

	Jän	Mär	Jul	Dez
Anzahl der Werte	124	124	155	150
Korrelationskoeffizient	0.31	0.45	0.50	0.24

<sup>1</sup> **Anmerkung:** Es ist zu berücksichtigen, daß die Mrkosreihe durch das auf sie angewandte Verfahren geglättet wurde, eine Korrelation mit einer nicht geglätteten Reihe, wie sie die originale Reihe der Klimastation Kirchberg am Wechsel darstellt, ergibt niedrigere Korrelationskoeffizienten



#### 4.6.2 Die Korrelation von Lufttemperaturen der Klimastation Kirchberg am Wechsel und der Außentemperatur während der Meßperiode 233. Tag bis 277. Tag aus 1991



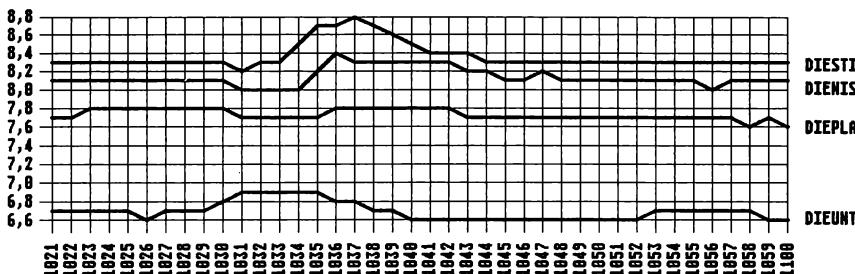
Diese Korrelation ist hoch und liegt bei 0.897 (45 Werte). Aus den Jahren 1987 und 1988 liegen weitere Daten einer Klimahütte vor der Höhle vor, hier liegen die Werte einer Korrelation zwischen dieser Klimahütte und der Klimastation in Kirchberg für einzelne Monate um 0.9. Das läßt die Aussage zu, daß der **Temperaturverlauf in der Höhlenumgebung** - wenn nötig - "gut" mit der **Klimastation Kirchberg am Wechsel angenähert** werden kann. Eine Verknüpfung zwischen den Temperaturen der Klimastation Kirchberg und im Höhleninneren ist gegeben. Sie fällt wegen der höhleninternen Zirkulation erwartungsgemäß schwächer aus.

## 4.7 Der Führungsbetrieb und seine Auswirkungen - ein Experiment

Die vorigen Kapitel haben gezeigt, daß die Höhle sehr rasch auf Temperaturimpulse von außen reagiert.

In einem Experiment wurden die Meßintervalle auf Minuten herabgesetzt. Mit dieser zeitlich hohen Auflösung wurde 2 Stunden lang gemessen. Der Verfasser hat bei einer Führung protokolliert, wann die Gruppe welchen Sensorbereich betreten hat. Die Gruppe bestand aus 45 Personen. Die Außentemperatur hat sich im Meßzeitraum nur unwesentlich verändert.

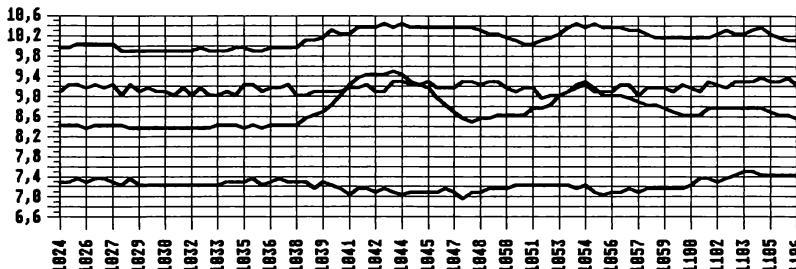
### 4.7.1 Die Dietrichshalle



Die Abbildungen zeigen Minutenwerte aus der Dietrichshalle. Die Sensoren DIEUNT, DIEPLA, DIENIS, DIESTI liegen quasi übereinander, das drückt sich auch in der Zunahme der Temperatur mit der Höhe aus. Der Sensor DIESTI mit der relativ höchsten Temperatur liegt am höchsten. Um 10.27 betrat die Gruppe die Dietrichshalle, die Temperatur am Sensor DIEUNT (in 1m Höhe) steigt um  $0.1^{\circ}\text{C}$ . Um 10.34 ist die Gruppe bereits auf der Plattform, der Sensor DIENIS reagiert mit  $+0.3^{\circ}\text{C}$ . Dann setzt sich die Führung um 10.37 - vorbei an Sensor DIESTI ( $+0.5^{\circ}\text{C}$ ) - in Richtung Großer Dom in Bewegung.

Bemerkenswert ist, daß an allen Sensoren vor der Erwärmung ein Knick mit  $-0.1^{\circ}\text{C}$  erscheint, die Gruppe dürfte somit einen Kaltluftkörper vor sich her schieben. Der Sensor DIEPLA in 30cm Höhe über der Plattform ist in diesem Fall von Abkühlung geprägt. Am Sensor DIEUNT ist nach der insgesamt 14 Minuten dauernden "Störung" ein Kaltluftsee zu entdecken; kalte Luft fließt vom Eingang zu. Vergleicht man dazu eine kleinere Gruppe (10 Personen), ist diese Abkühlung nicht zu finden. Je kleiner die Gruppen sind, umso kürzer ist die Verweilzeit an einer Stelle, und die Höhle wird rascher durchquert. Die Impulse sind kleiner und dauern kürzer.

## 4.7.2 Großer Dom



In diesem Bereich gibt es die 4 Sensoren. Nach der Höhe geordnet ergibt sich die Reihenfolge GRDKLU, GRDKRO, GRD05M, GRD10M. Um 10.37 trifft die Gruppe im Großen Dom ein, der tiefstgelegene Sensor registriert wieder Kaltluft, am stärksten reagiert der in 1.5m montierte Sensor GRDKRO mit  $1.0^{\circ}\text{C}$ . Nach 9 Minuten ist die Temperatur wieder auf dem Ausgangspunkt angelangt, die Sensoren in 5 und 10m Höhe reagieren kaum, sie dürften für diese konkrete Fragestellung keine günstige Position haben. Der Sensor in 10m zeigt den Impuls der aufsteigenden Warmluft aber dennoch am längsten an. Der Führungsweg kreuzt den Großen Dom zweimal. Und zwar zum zweiten Male, wenn die Gruppe aus der Hohen Kluft wieder zurückkommt. Das war um 10.51 der Fall. Die Gruppe geht in diesem Fall rasch weiter, daher ist der Temperaturimpuls bei gleicher Gruppengröße kleiner.

## 4.7.3 Die Endkammer und die Außentemperatur

Die gesamte Endkammer zeigt während des Experimentes ständig Fluktuationen von etwa  $0.7^{\circ}\text{C}$  Amplitude. Diese sind weder mit der Außentemperatur direkt korrelierbar, noch mit Änderungen durch die Gruppe erklärlich. Das ist neuerlich ein Hinweis, daß die Höhlentemperatur in der Endkammer von mehreren unterschiedlichen Faktoren beeinflußt wird.

## 4.7.4 Schlußbemerkungen

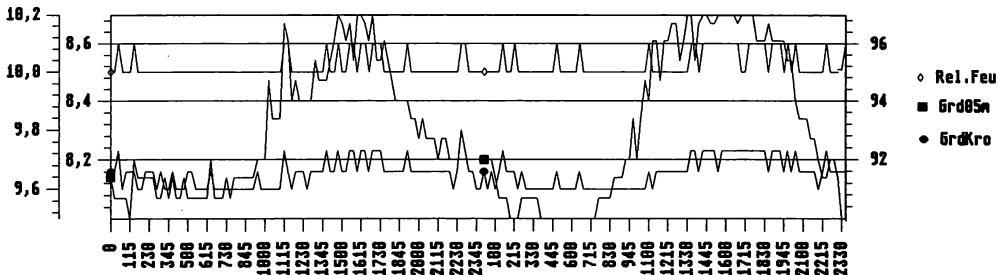
Die Temperaturänderungen waren nur sehr klein (höchstens  $1.0^{\circ}\text{C}$ ), und die Auswirkungen waren nicht sehr lange nachzuweisen (etwa 10min). Wenn man jetzt noch berücksichtigt, daß diese Änderungen von einer Gruppe von immerhin 45 Personen ausgelöst wurden, kann man schließen, daß der Führungsbetrieb keinen wesentlichen Einfluß auf das Höhlenklima ausübt. Weit bedeutender dürfte die Zeitspanne sein, in der die Wetertür offen ist (Einfüßen von Kaltluft). Angemerkt muß aber werden, daß es sich bei diesem Experiment nur um eine einzelne Messung handelte. Damit müßte das Ergebnis nicht unbedingt repräsentativ sein.

## 4.8 Ein kurzer Beitrag zum Thema Luftfeuchtigkeit

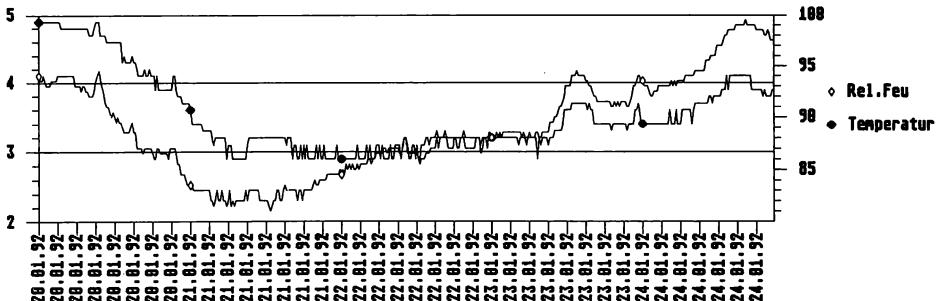
Aus der Literatur sind einige Untersuchungen bekannt z.B. [8], die übereinstimmend hohe Werte der relativen Luftfeuchtigkeit für Höhlenräume angeben. Dazu zwei Beispiele aus der Hermannshöhle, die die erwähnten Angaben bestätigen:

Das erste stammt aus der Periode 233. Tag bis 235. Tag aus 1991. Gemessen wurde im Großen Dom, und zwar mit Taupunktssensoren der Firma Kroneis. Dargestellt ist der Temperaturverlauf des Sensors, gemessen in unmittelbarer Nähe des Taupunktsensors, und die aus Temperatur und Taupunkt nach der Magnusformel abgeleitete relative Luftfeuchtigkeit. Um zu zeigen wie gering die Temperaturschwankungen an dieser Stelle sind, wurden die beiden Kurven (T, RF) mit dem Temperaturverlauf in 5m Höhe (GRD05M) überlagert.

Die Skala links bezieht sich auf die Temperatur, die Skala rechts auf die relative Feuchtigkeit. Die Temperatur schwankt im Bereich zwischen etwa 8.1 und 8.3°C und die relative Feuchtigkeit zwischen 95 und 97%. Die zweite Temperaturskala links außen gilt für den Sensor GRD05M.



Zum Vergleich dazu folgt ein Beispiel aus der Meßserie des höhlenkundlichen Instituts des Naturhistorischen Museums in Wien. Es sind dies einige Tage aus dem Jänner 1991: Hier wurde mit dem Hamster der Firma Schenk in der Fürstenhalle, einem eher gutdurchlüfteten, trockeneren Bereich der Höhle, gemessen. Die Temperaturen liegen zwischen 3 und 5 Grad. Die relative Feuchtigkeit erreicht am 21. 1. einen Tiefststand bei 80% und liegt sonst zwischen 85 und 99%.



Beide Abbildungen sind als Fallbeispiele zu verstehen, da diese kurze Zeitspanne nicht für lange Perioden repräsentativ sein kann. Sie geben den Istzustand wieder, der sich im erwarteten Rahmen bewegt.

## 5 Die Graphiken der Mrkosreihe

Eine Auswahl von Temperaturreihen der Sensoren der Mrkosreihe soll die Temperaturverläufe an unterschiedlichen Standorten zeigen. Es sind jeweils fünf aufeinander folgende Jahre untereinander auf einer Seite dargestellt.

Die Kurzform und der vollständige Name der Sensoren deren Graphiken folgen:

VORB37	Vorhalle Boden	NIAG02	Niagarafall
WETD25	Wettertür Decke	LUIU24	Luisenstollen unten
WETB40	Wettertür Boden	ROGD07	Rotunde Großer Dom
DIEU28	Dietrichshalle unten	FURR17	Fürstenhalle rechts
PLAL31	Dietr. Plattform Links	WIL002	Wildschützehalle
GRDB27	Großer Dom Boden	ENDK29	Endkammer
GRD005	Großer Dom Oben		
HKLB35	Hohe Kluft Boden		
VDDD15	Vor dem Dom Decke		
HKLD08	Hohe Kluft Decke		

Die Punkte markieren jene Datenpunkte, die tatsächlich gemessen wurden. Der gesamte Temperaturverlauf ist nach dem im Abschnitt 2.3.1 beschriebenem Verfahren mit fortlaufenden Parabeln konstruiert und stellt nur einen nach Maßgabe der verfügbaren Daten "möglichen" Verlauf dar. In den Teilen, in denen viele Datenpunkte vorhanden sind, wird auch die Rekonstruktion zuverlässiger. Im allgemeinen ist zumindest ein "guter Überblick" über den Temperaturverlauf an den einzelnen Standorten gegeben.

Die Abszisse gibt den Tag im Jahr (gerechnet vom 1.1.1987) an, die Ordinate die Temperatur in °C, jeweils auf die optimale Darstellung abgestimmt.

# HERMANNSHÖHLE

BEI KIRCHBERG AM WECHSEL, NÖ.  
KAT.NR. 2871/7

## GRUNDRISS



0 10 20 m

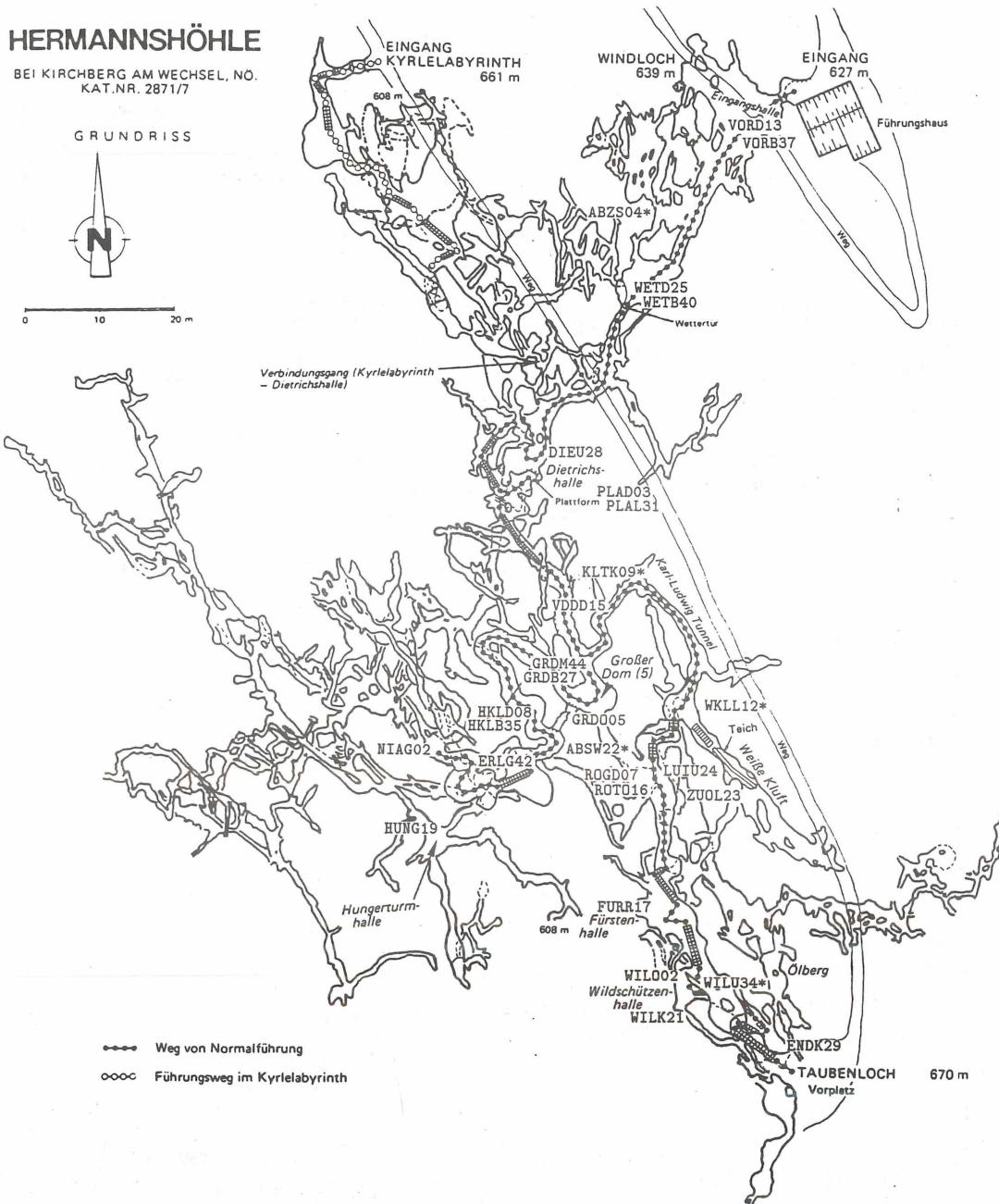
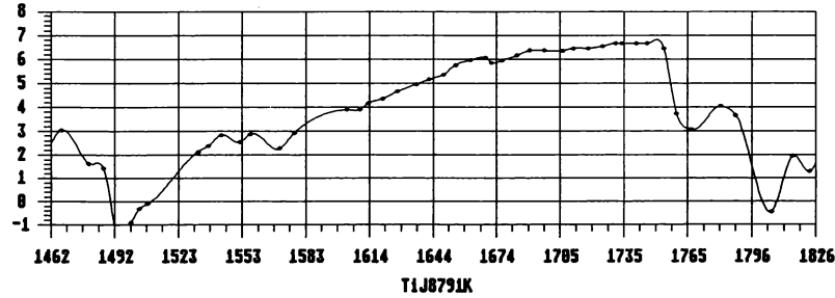
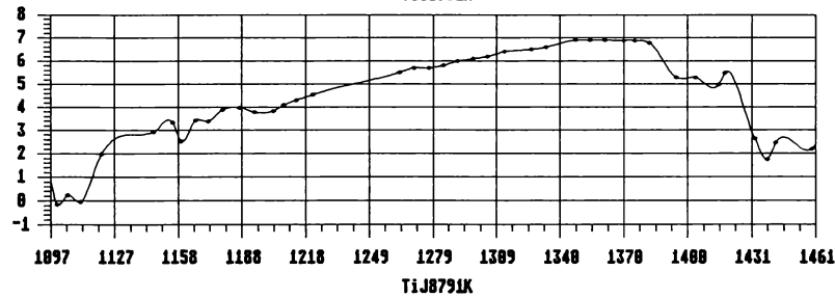
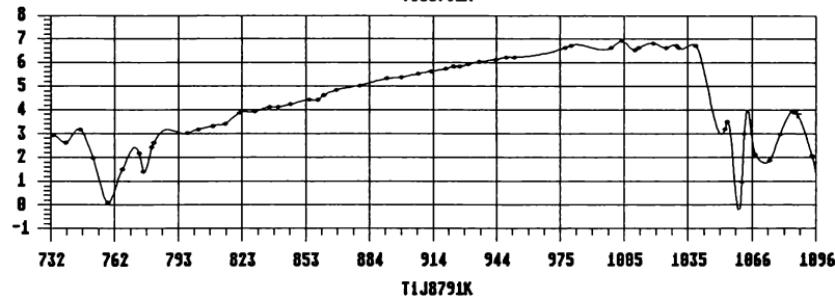
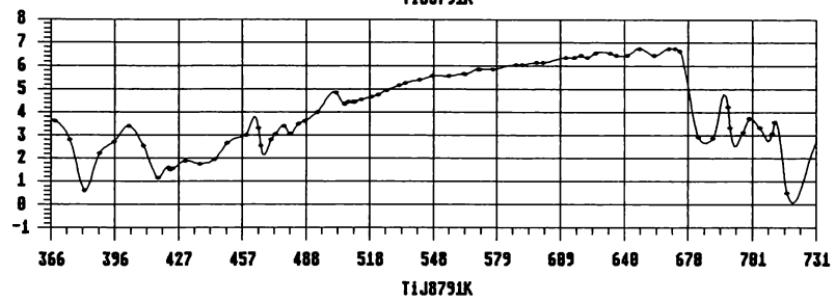
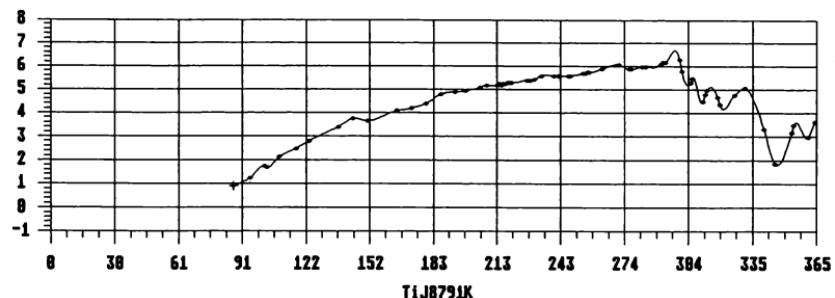
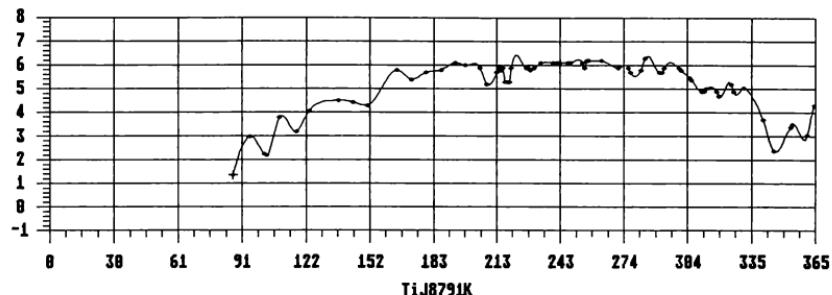
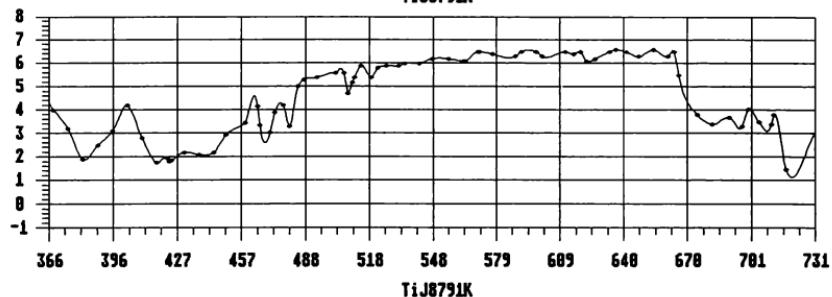


Abbildung 5.1: Höhlenplan mit dem Sensoren des Mrkosnetzes

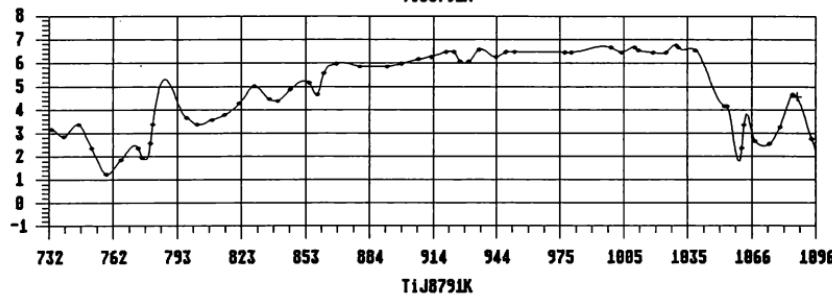




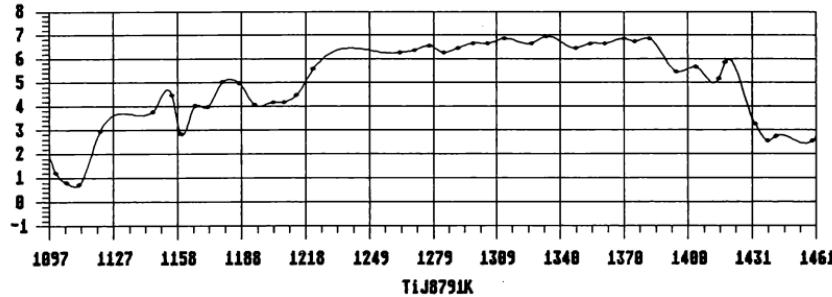
+ METB48INT



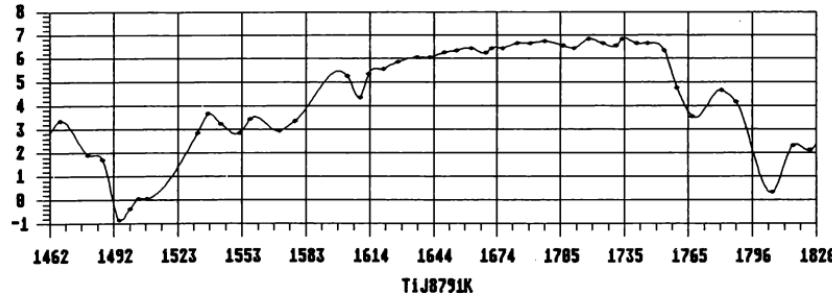
+ METB48INT



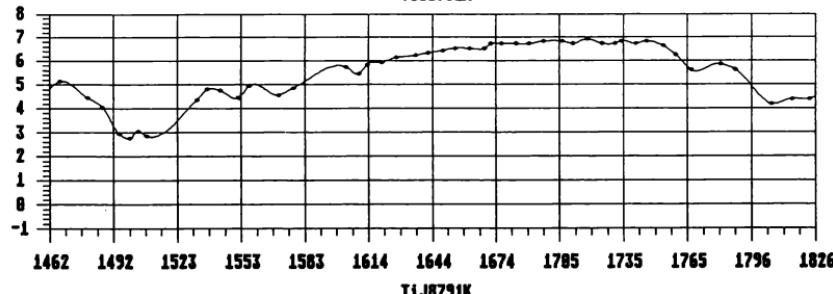
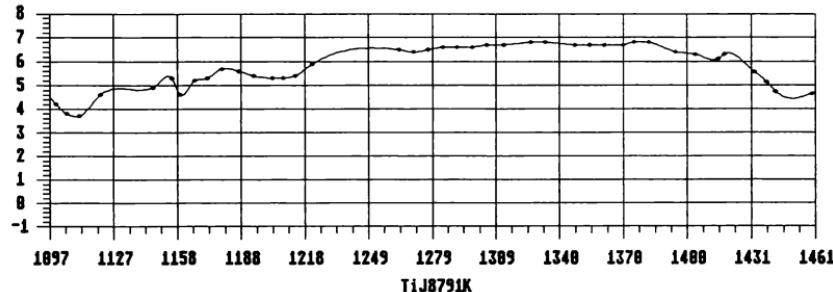
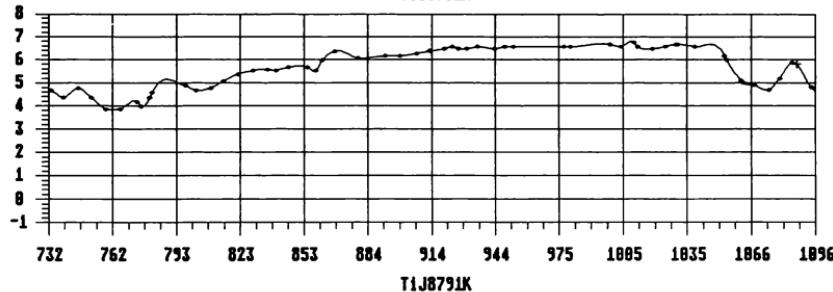
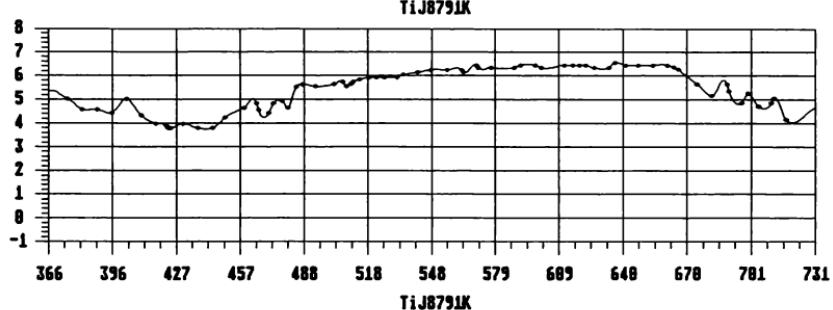
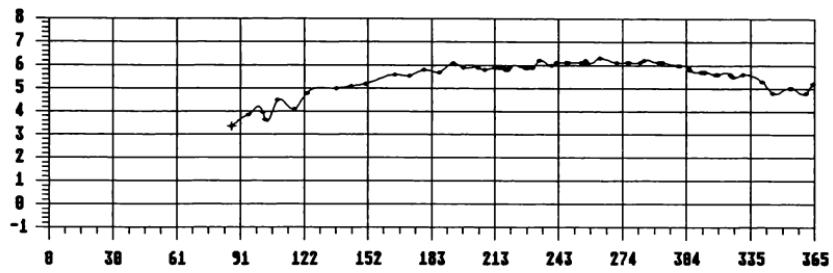
+ METB48INT

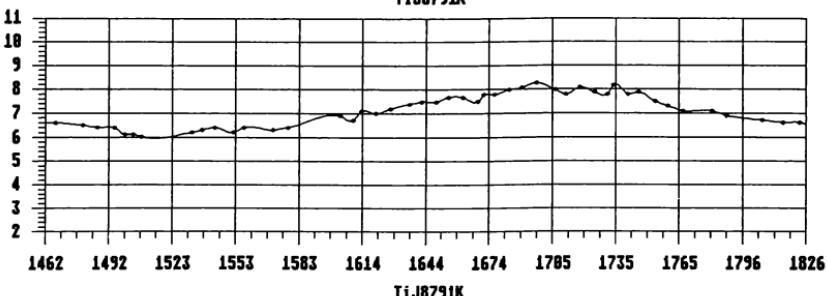
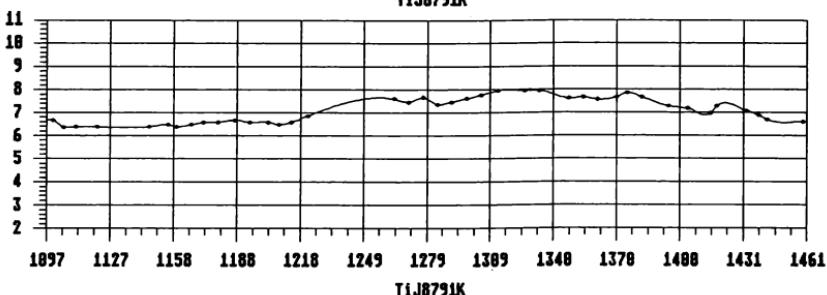
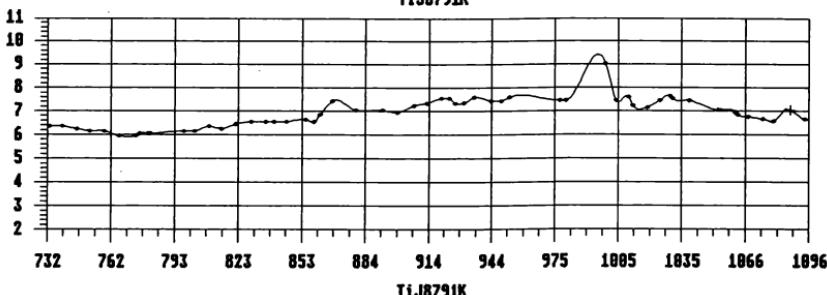
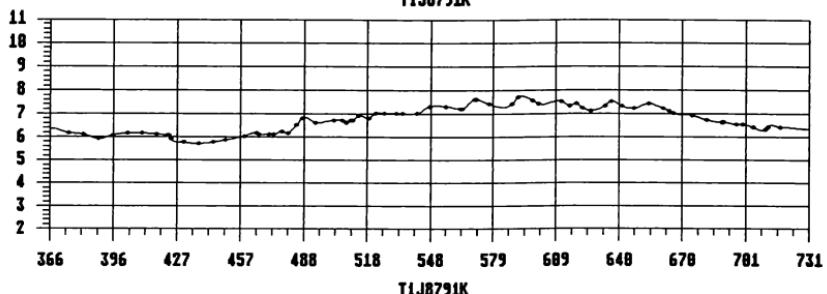
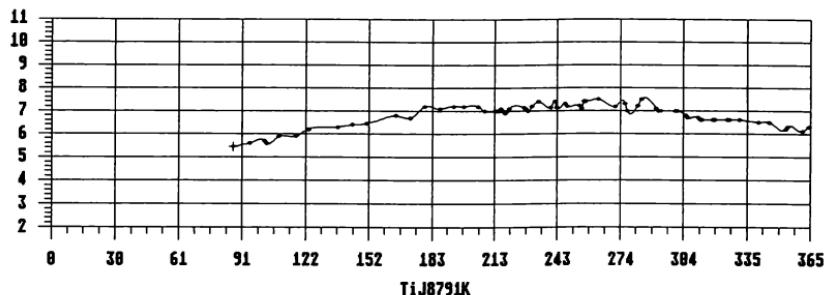


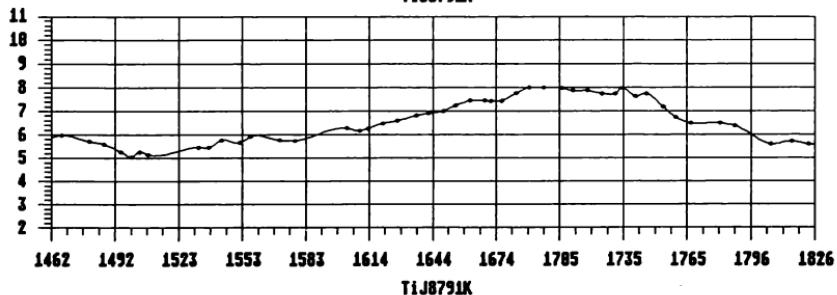
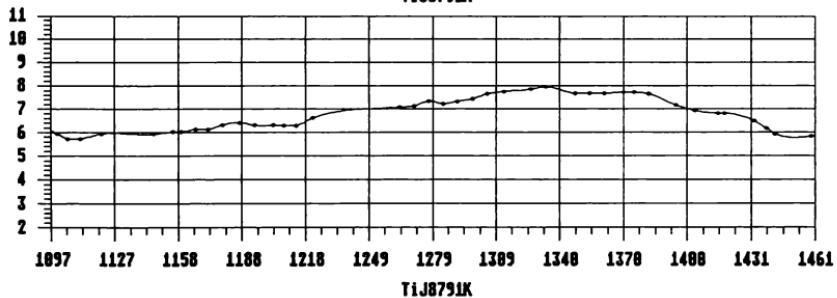
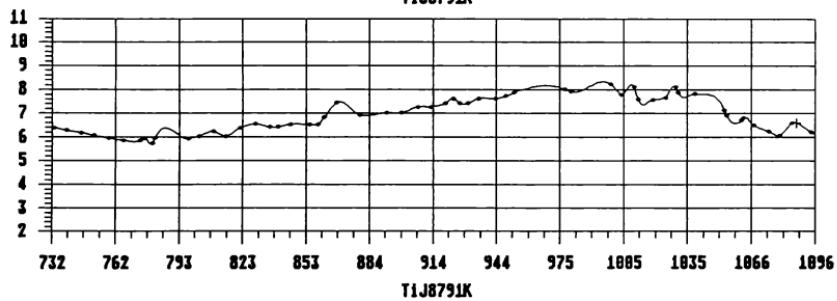
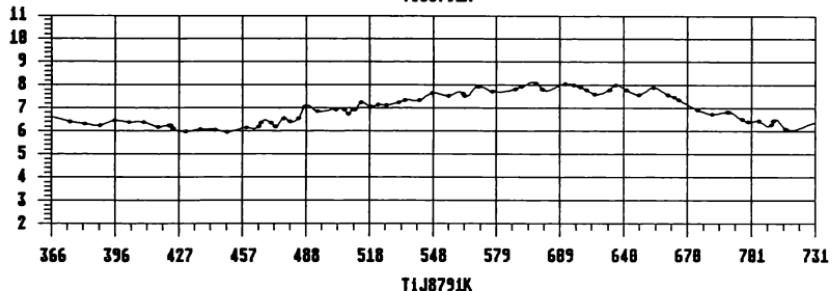
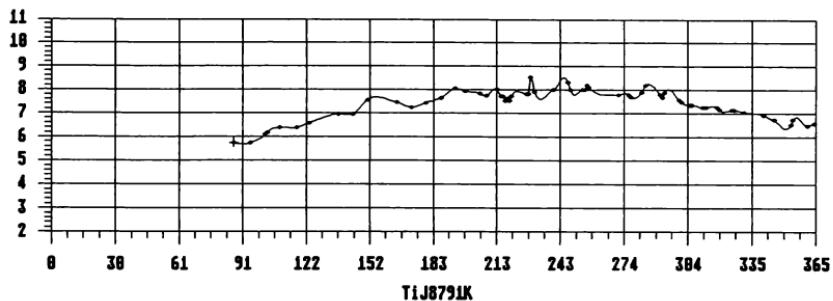
+ METB48INT

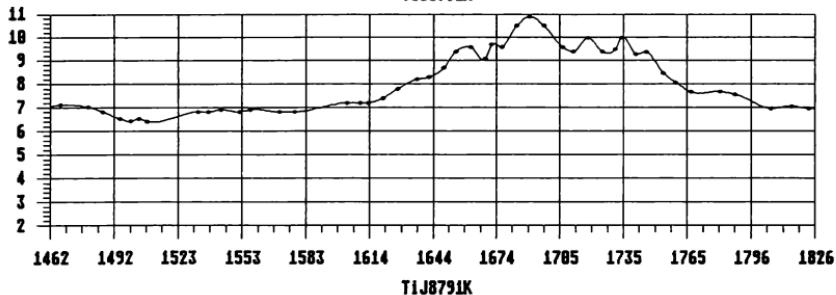
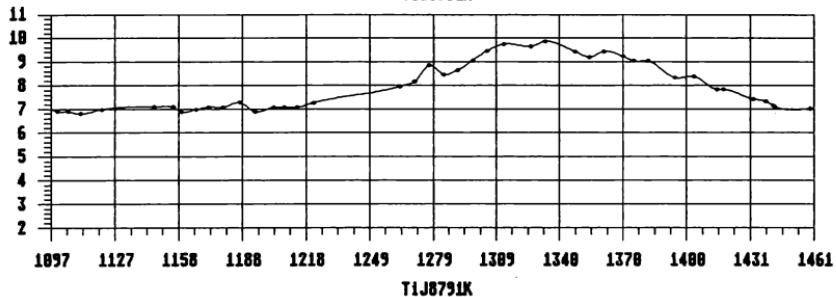
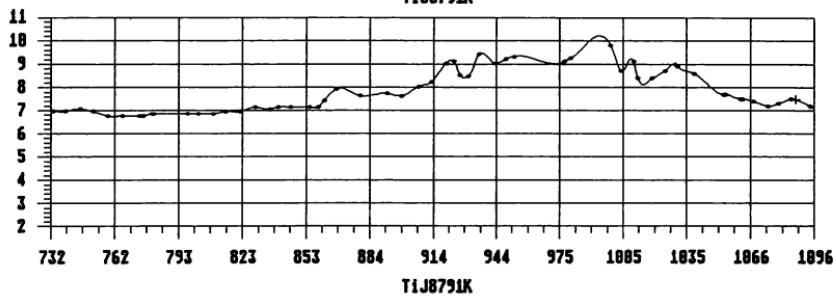
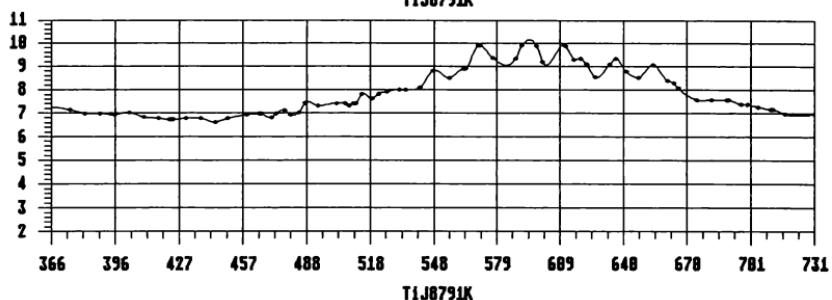
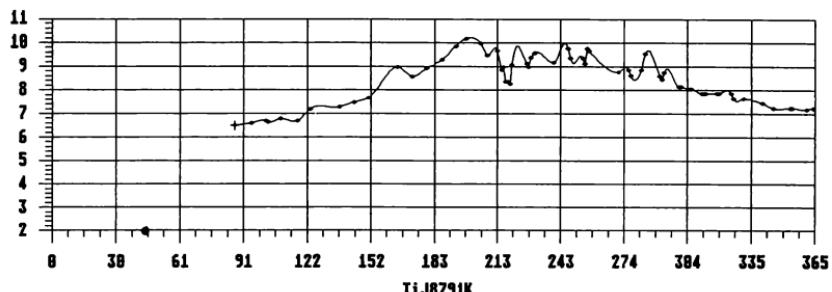


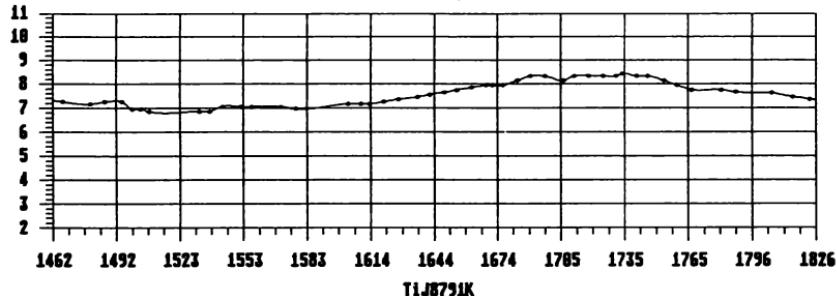
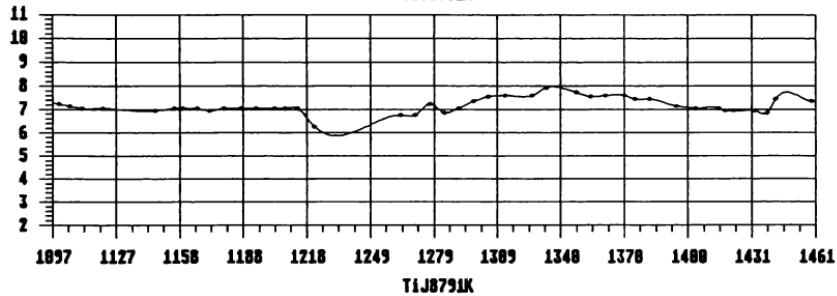
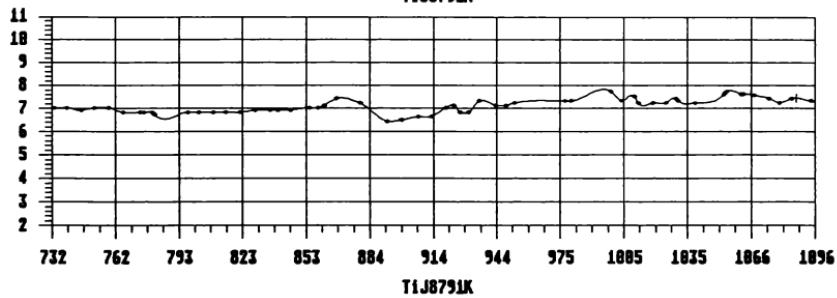
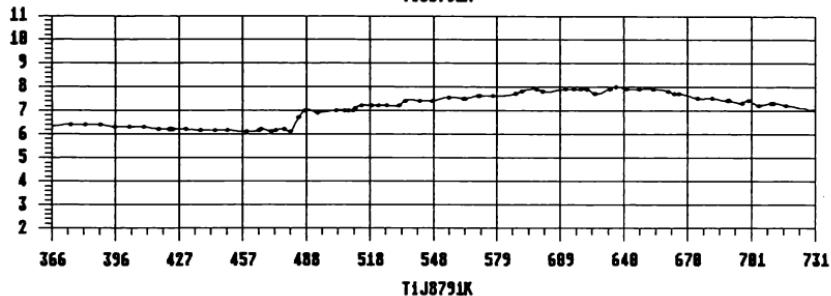
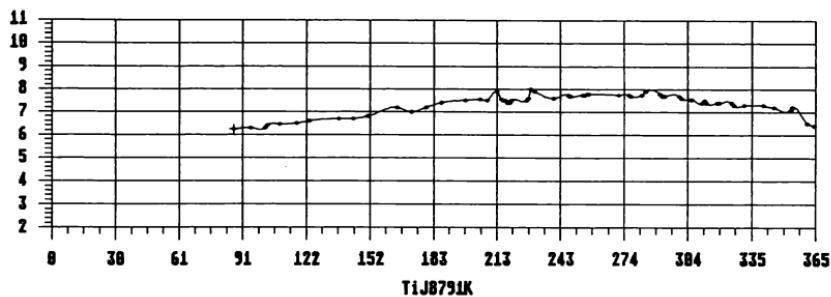
+ METB48INT

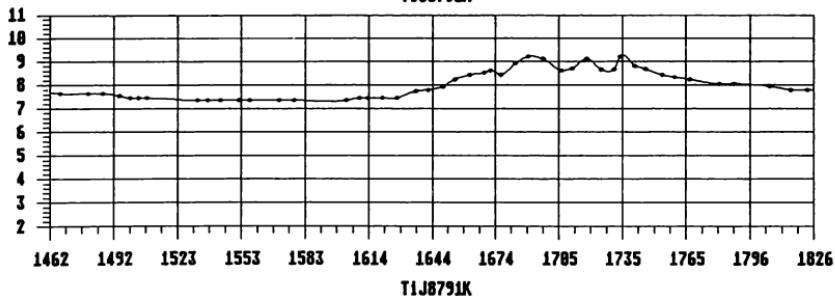
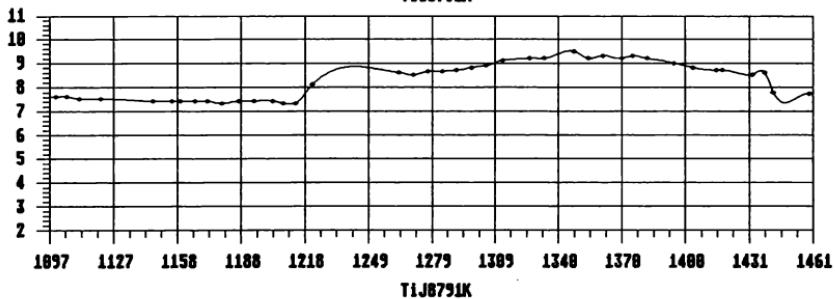
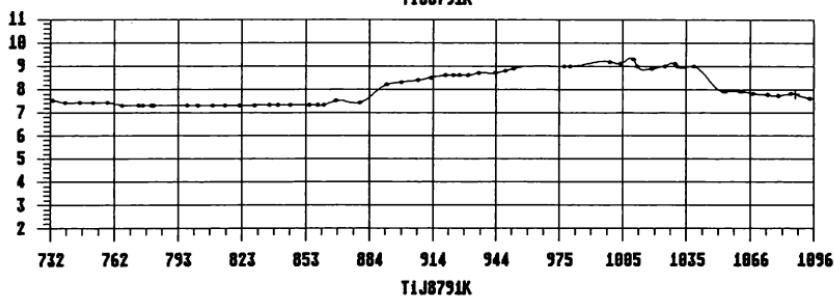
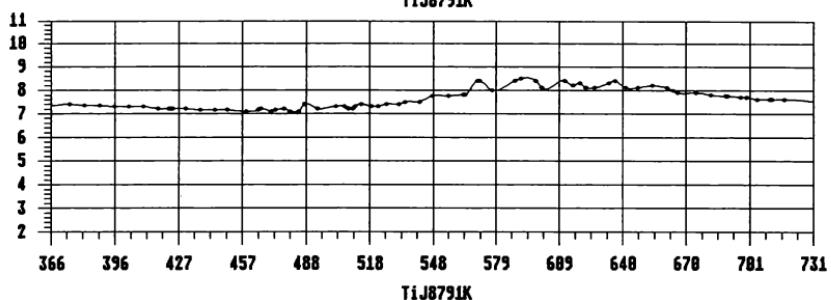
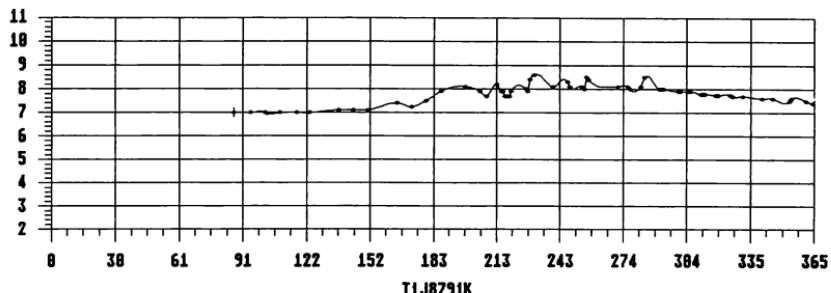


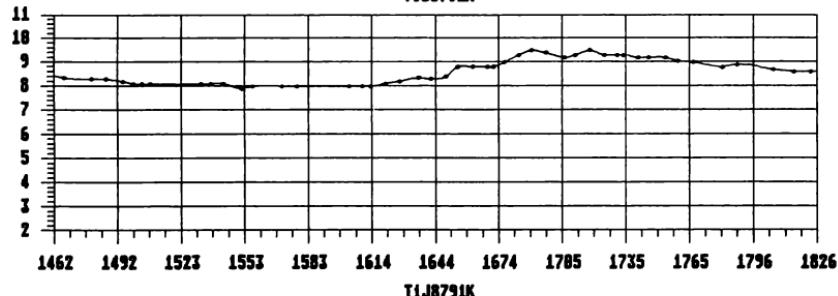
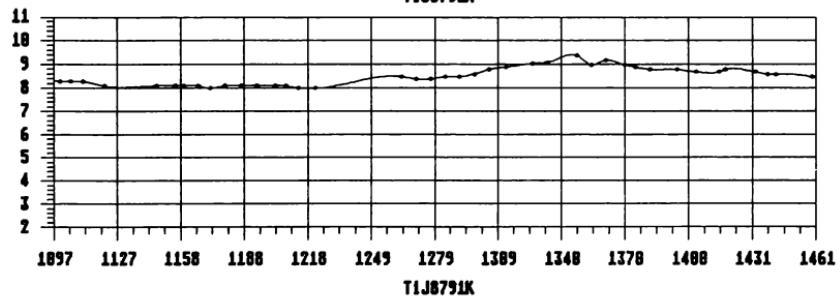
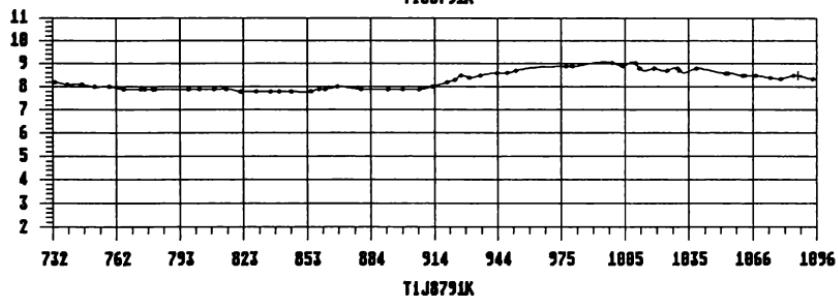
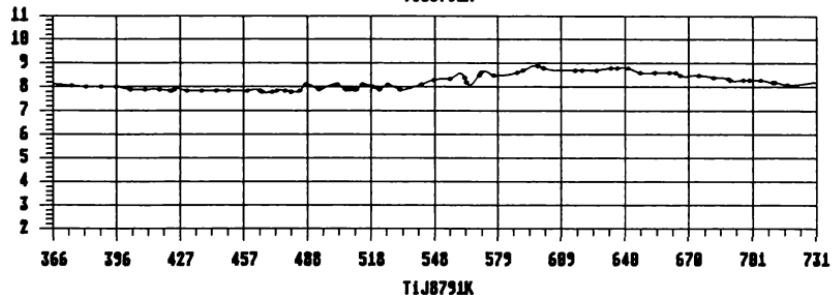
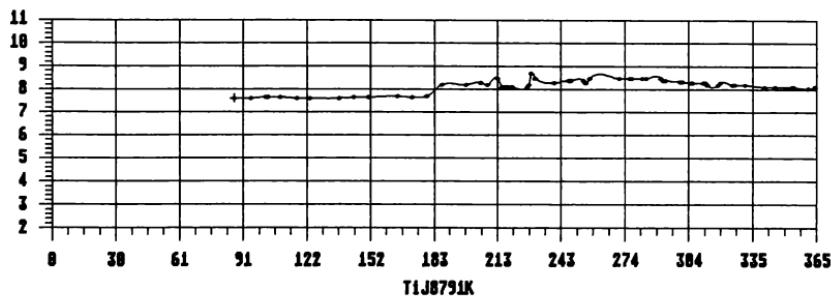


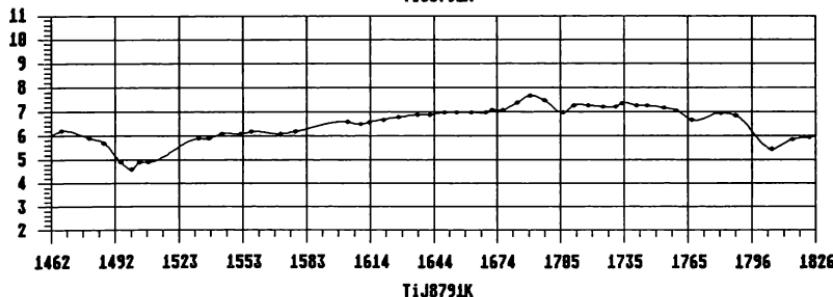
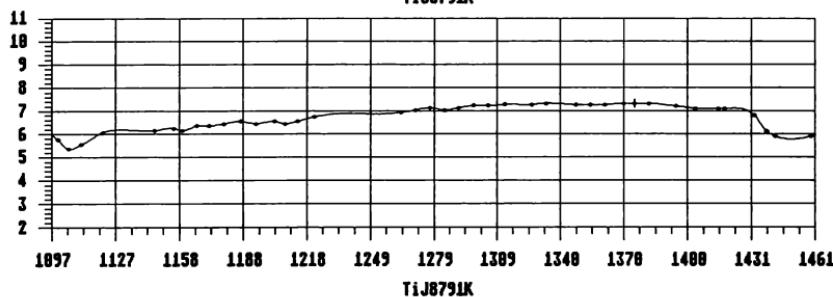
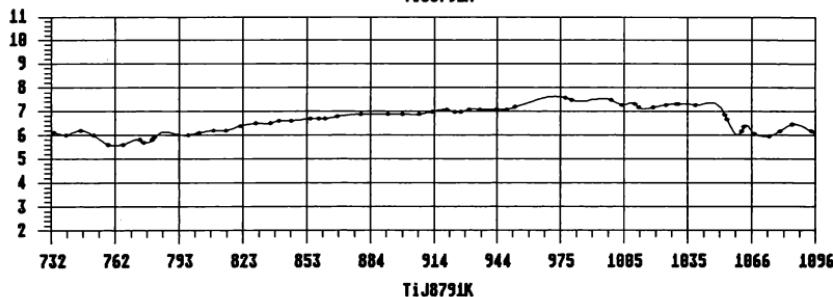
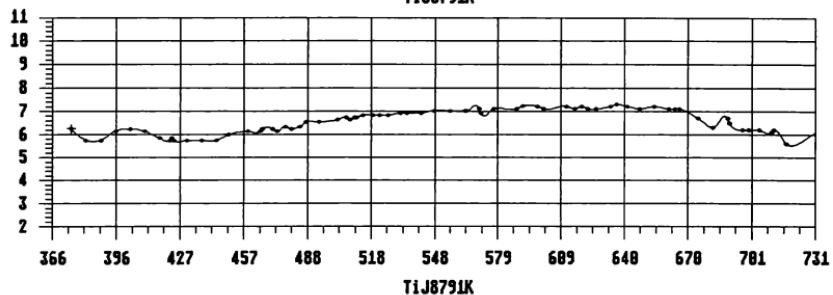
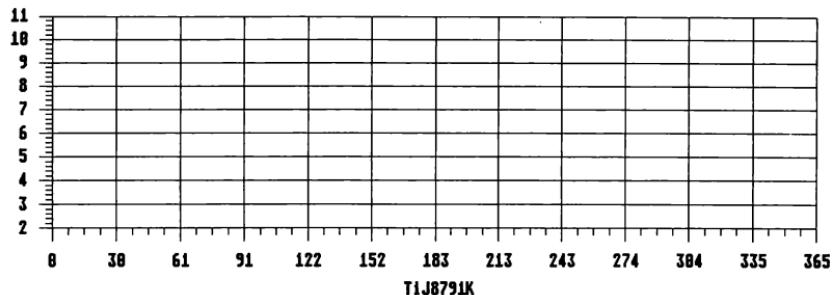


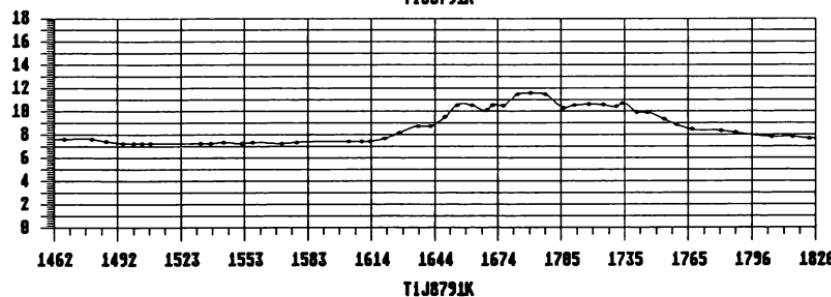
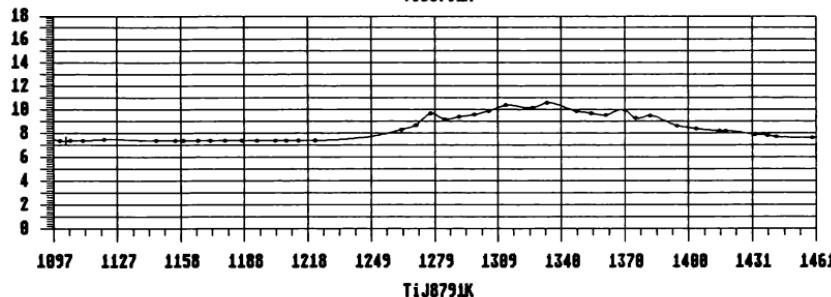
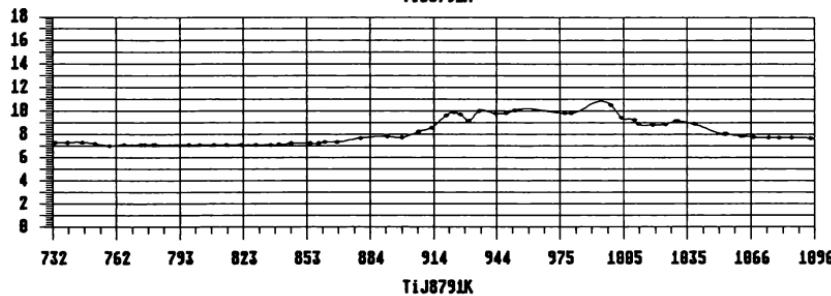
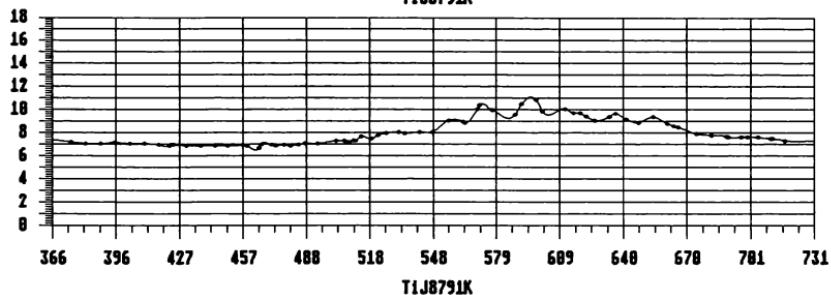
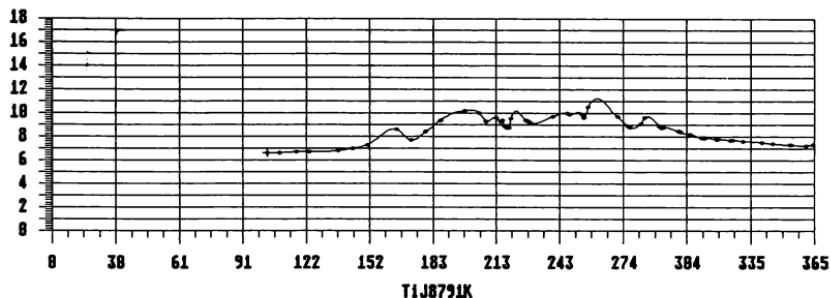


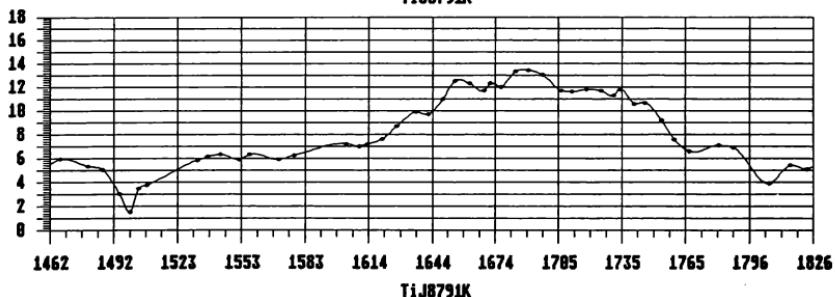
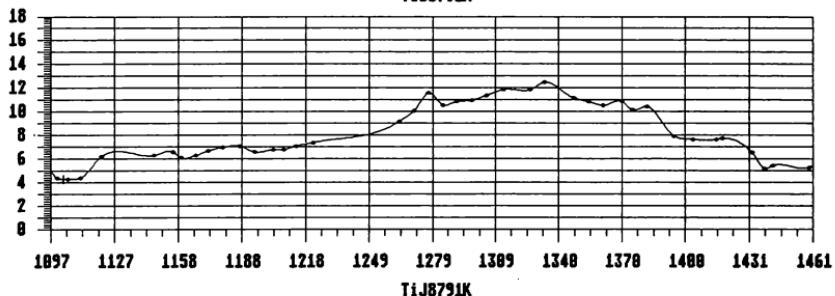
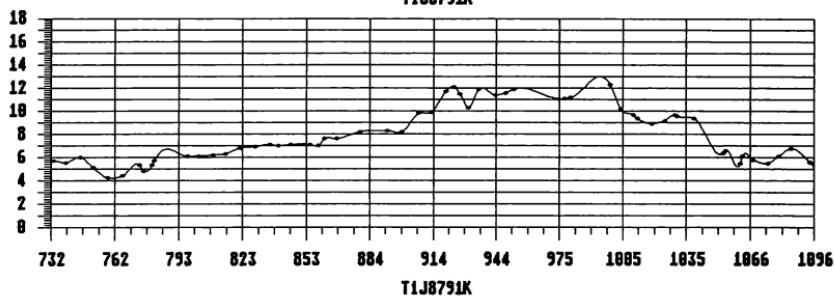
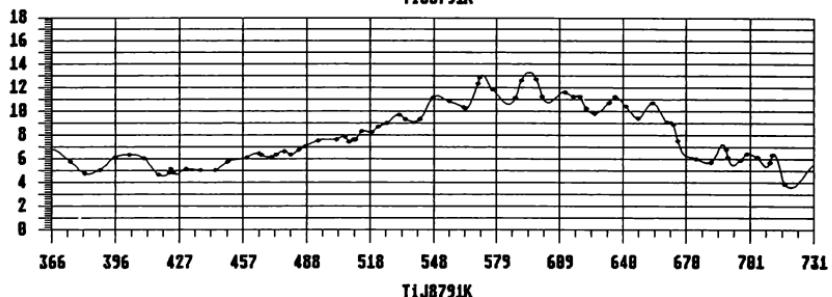
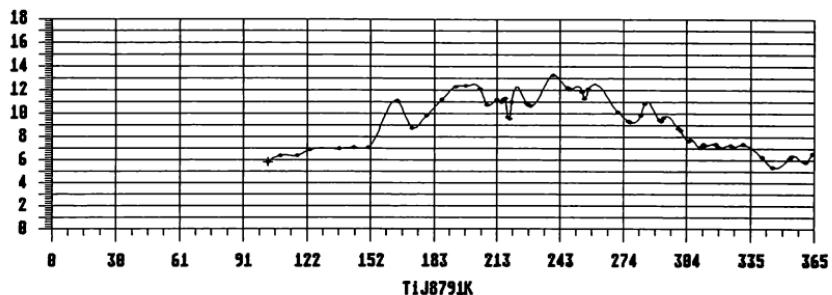


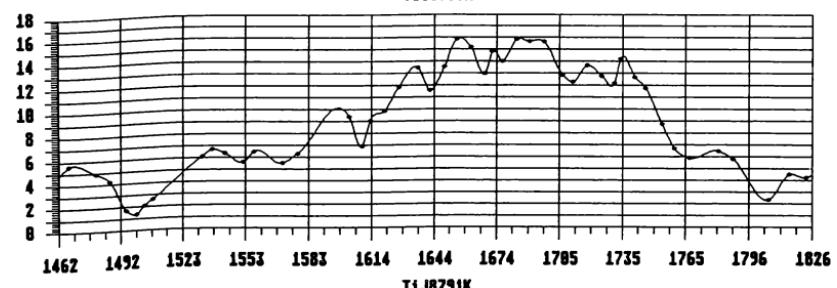
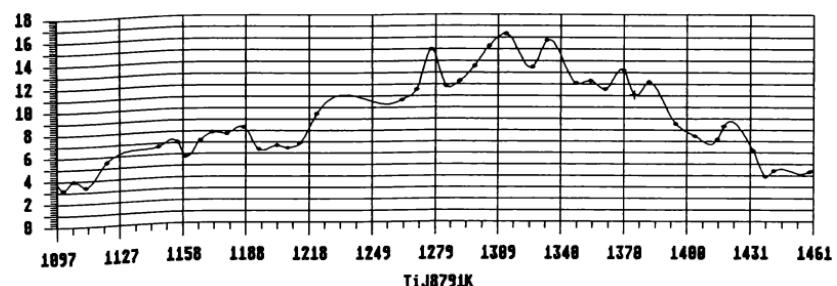
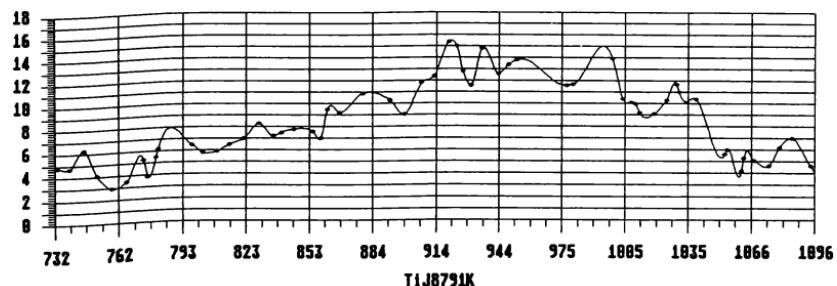
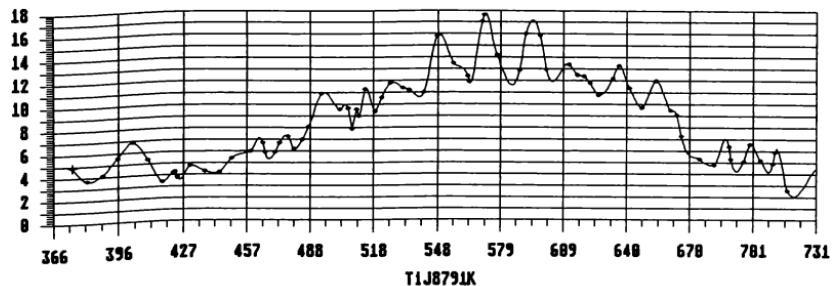
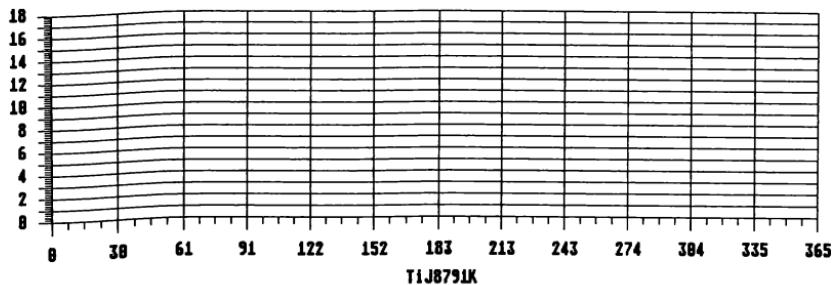


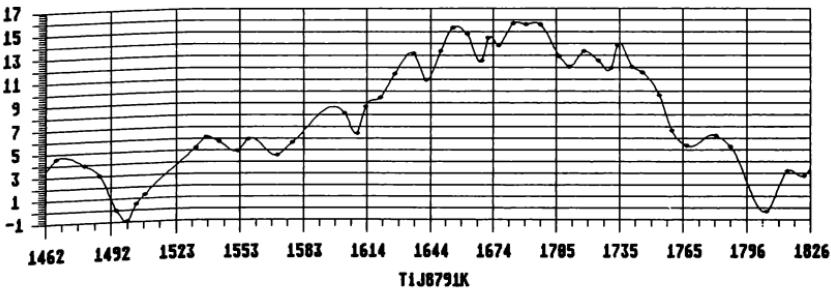
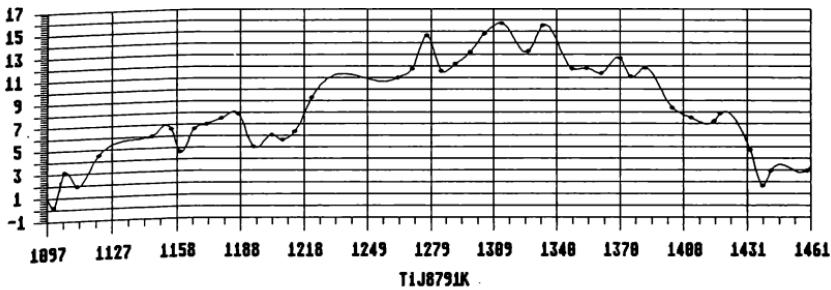
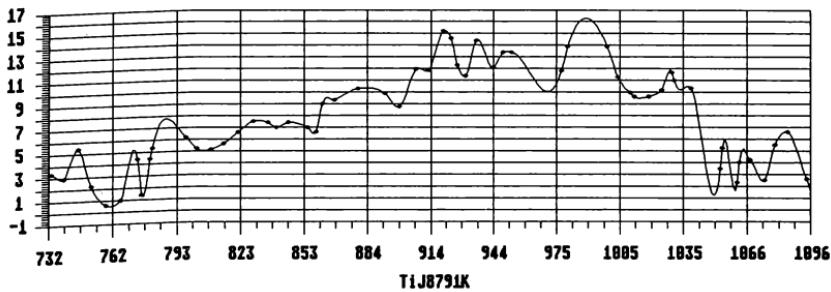
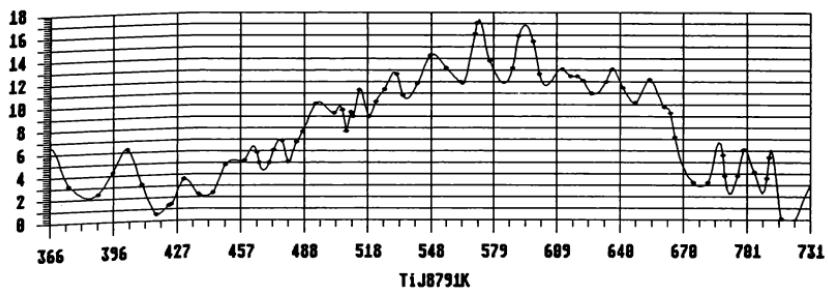
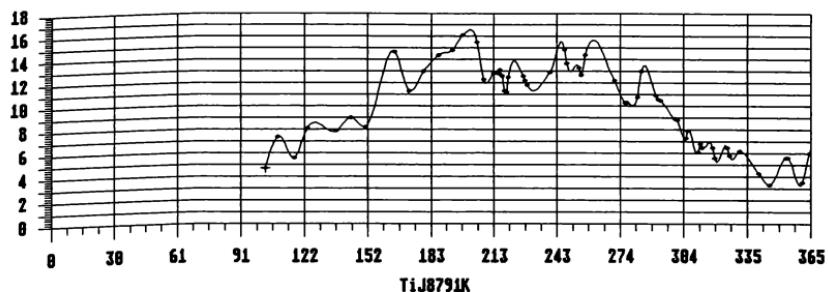












## 6 Schlußbemerkungen

In dieser Arbeit wird mit Daten aus einer bestehenden 5-jährigen Temperaturreihe ("Mrkos-Reihe", Meß-Intervall ca. 1 Woche) und Daten aus einer vom Verfasser geplanten und durchgeführten Meßkampagne aus dem Jahr 1991 (vom 21. August und 4. Oktober, Meß-Intervall 15 Minuten) der Versuch unternommen, ein möglichst umfassendes Bild der Temperaturverhältnisse und deren Veränderungen in der Hermannshöhle zu zeichnen. In die Betrachtungen wurden Informationen aus der Literatur sowie weitere Messungen mit einbezogen.

Die 5-jährige Temperaturreihe wurde mit Widerstandssensoren (29 Meßpunkte) gemessen. Diese sind während der Meßperiode gealtert und mußten korrigiert werden. Da die Temperaturreihe außerdem zum Teil sehr lückenhaft war, wurde sie mit einem Interpolationsverfahren rekonstruiert. Die korrigierte und rekonstruierte 5-jährige Temperaturreihe bot den ersten Überblick über die Temperaturverteilung in der Höhle.

Die bestehende Temperaturreihe ließ viele Detailfragen offen. Deshalb hat der Verfasser eine eigene Meßkampagne geplant und durchgeführt. Zum Einsatz kamen drei Datenlogger, zehn Temperatursensoren (LM35) und zwei kombinierte Sensoren für Temperatur und Taupunkt.

Diese Temperaturreihe (Tag Nr. 233 bis Tag Nr. 277 aus 1991) und die 5-jährige rekonstruierte Temperaturreihe wurde einerseits mit den "klassischen" statistischen Methoden ausgewertet und andererseits mittels einer Reihe von speziellen Untersuchungen analysiert.

Die Verknüpfung zwischen der Außentemperatur und den Temperaturen in der Höhle weisen zum Teil hohe lineare Korrelationskoeffizienten auf.

Grundsätzlich sind die Temperaturverhältnisse abhängig vom Abstand zum Ausgang. Die Schwankungen (Amplituden) werden, je weiter man in das Höhleninnere kommt, immer kleiner. Dies zeigen vor allem die Varianzen der Temperaturschwankungen.

Hinweise auf komplizierte Reaktionen der Höhle auf Veränderungen der Außentemperatur ergeben sich aus mehreren Detailuntersuchungen (siehe dazu auch die Diplomarbeit [1]).

Die Frequenzanalyse einer Fouriertransformation der Stundenmittelwerte zeigt bei einem kurzweligen Input von Außen gleichfalls eine Reaktion der Höhle in diesem Frequenzbereich. Zusätzlich wird noch eine Reaktion mit einer langwelligem Output erkennbar.

Eine Analyse ausgewählter Wetterlagen mit großen Temperaturänderungen (mehrere Grad pro Stunde) ergibt, daß die Höhle selbst an sehr "ruhigen" Meßorten innerhalb weniger Stunden auf solche Änderungen reagiert.

Der wesentliche Antrieb der Temperaturänderung in der Höhle sind Änderungen der Außentemperatur, denn fast alle Teile reagieren nahezu ohne Verzögerung auf "synoptische Ereignisse". Das läßt auf viele unbekannte Öffnungen schließen, da Strömungen in der Höhle (außer bei den Eingängen) weder meßbar noch spürbar sind. Die Höhle

zeigt also eine gute Koppelung zwischen außen und innen. Andere Einflußgrößen, wie etwa der Führungsbetrieb erscheinen im Vergleich dazu unbedeutend.

In das allgemeine Schema der Zirkulation in Höhlen fügt sich die Hermannshöhle als Mischtyp ein, der sich aus Teilen mit statischer und dynamischer Wetterführung zusammensetzt. Das erklärt, auch in Übereinstimmung mit der Literatur, daß sich keine typischen Strömungs-Phasen für die gesamte Höhle angeben lassen, sondern nur charakteristische mittlere Temperaturverteilungen, die in Abhängigkeit von der Außentemperatur stehen.

Für die Hermannshöhle existiert hiermit eine Sammlung von Temperatur-Daten mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung. Darauf bauen Untersuchungen auf, die eine Vorstellung von Temperaturverteilung, kurzfristiger Temperaturänderung in der Größenordnung von Stunden und längerfristiger Schwankung im Rahmen der fünfjährigen Temperaturreihe geben.

Die gefundenen Ergebnisse könnten beispielhaft für durchlüftete, nicht eisführende Höhlen gelten.

# 7 Luftströmungen, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse

von Dipl. Ing. Heinrich M R K O S

## 7.1 Temperatur und Strömung

Die Hermannshöhle zeigt in ihrem Gangverlauf zwischen 'Windloch' und 'Taubenloch' die typischen Erscheinungen einer dynamisch bewetterten Höhle. Dies ist durch zwei Eingänge bedingt, die eine unterschiedliche Höhenlage aufweisen; nämlich 627m und 670m. Somit sind die Voraussetzungen gegeben, daß bei Abweichen der Außentemperaturen, von der durchschnittlichen Höhlen- bzw. Gesteinstemperatur von ca.  $7^{\circ}\text{C}$  - dies entspricht etwa der mittleren Jahrestemperatur des Ortes - ein Luftaustausch zwischen Höhle und Außenwelt stattfindet. Wenn die Temperatur der Außenluft beim 'Windloch', dem unteren Eingang des Höhlensystems über jener der Luft in der Höhle liegt - und zwar beginnend bereits bei  $8^{\circ}\text{C}$  - tritt hier die spezifisch schwerere, kältere Höhlenluft aus. Dementsprechend wird beim oberen Eingang, dem 'Taubenloch', wärmere Außenluft eingesaugt. Diese Situation wird als '**Sommerphase**' (siehe Kapitel 1.3) bezeichnet. Bei Temperaturen unter  $4^{\circ}\text{C}$  ist hingegen beim 'Windloch' ein deutliches Einströmen von Außenluft in die Höhle feststellbar. Dies wird '**Winterphase**' genannt. Wenn auch mit diesen Bezeichnungen Jahreszeiten angesprochen werden, so ist für die Richtung des die Höhle durchziehenden Luftstromes natürlich nicht die Jahreszeit, sondern die Außentemperatur entscheidend. Die Bezeichnungen röhren daher, daß eben die wärmeren Temperaturen meist im Sommer, die tieferen meist im Winter auftreten.

Wie der Längsschnitt der Höhlengänge im Verlauf des Hauptwetterweges zeigt, sind die Höhlenteile im tiefer liegenden Bereich zwischen 'Windloch' und 'Dietrichshalle' eher niedrig - und auch engräumig - meist nur 2 bis 3m. Die Höhlenräume in den oberen Teilen sind hingegen 10 bis 20m hoch, auch die Gangbreite ist hier größer. Außerdem wird der Luftstrom durch die Türe beim 'Windloch' und durch eine an einer Engstelle des 'Barbarastollen' eingebaute Wettertüre stark 'gebremst'. Obwohl diese Einbauten künstlich sind, dürften durch sie nur die ursprünglichen Luftströmungsverhältnisse wiederhergestellt worden sein, denn die Gänge wurden hier stark erweitert.

Für das Regime der Wetterführung in der Höhle kommt insbesondere der 'Wettertüre' eine große Bedeutung zu, und dies vor allem im Winter. Durch sie wird das weitere Vordringen der vom 'Windloch' her einfließenden kalten Außenluft praktisch verhindert. Denn mit der Erweiterung des 'Barbarastollens' im Zuge der Erschließung der Höhle für Besucher - welche bereits in den Jahren 1844/45 erfolgte - 'ergoß sich' sich die kalte Außenluft durch den leicht absinkenden Gang bis zur 'Dietrichshalle', deren Sohle 4.5m tiefer als der Eingang liegt und den tiefsten Punkt des Führungsweges bildet. Diese Türe wurde erst in den 30-iger Jahren dieses Jahrhunderts eingebaut (möglicherweise als die Höhle unter Natur- und Denkmalschutz gestellt wurde). Vorher sanken die Temperaturen - wie durch Photos belegt - im gesamten Höhleneingang zwischen

'Windloch' und 'Dietrichshalle' unter den Gefrierpunkt ab, und es entstanden vor allem in dem Bereich vor und in der 'Dietrichshalle', wo es zahlreiche Tropfstellen gibt, an den Wänden bis in etwa 2m Höhe umfangreiche Eisbildungen. Zuletzt war dies nachweislich im Jänner 1961 der Fall, als die 'Wettertüre' - vermutlich aus Versagen - offen geblieben war. Abplatzungen an den Wandsintern in diesem Bereich könnten auf eine solche Frosteinwirkung zurückzuführen sein, da sie in höherliegenden Höhlenteilen (mit positiven Temperaturen im Jänner 1961) nicht festzustellen sind.

Sowohl im Urzustand, wie auch heute durch den Einbau der Türen, wurden bzw. wird somit trotz der **dynamischen Wetterführung** nur ein geringer Luftaustausch bewirkt. Die Geschwindigkeit von Luftströmungen ist daher nur an einigen engen Spalten in der Höhle, die im Hauptwetterweg liegen, messbar. Daraus läßt sich ein Luftaustausch von etwa  $6\text{m}^3$  pro Minute errechnen. Dies bedeutet, daß in den großräumigen Abschnitten - mit einem Querschnitt von  $20\text{m}^2$  und mehr - die Geschwindigkeit der Luftströmung bei maximal  $0.05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  liegt und daher nicht nur nicht exakt gemessen werden kann, sondern auch kaum spürbar ist. Hier können nur noch Temperaturschwankungen Aufschluß über die Richtung der Luftströmung geben. Dabei zeigt sich, daß sich im Bereich zwischen 'Taubenloch' und 'Fürstenhalle' ein eigener Zyklus entwickelt: entlang dem vom 'Taubenloch' bergwärts stark absinkenden Höhlenboden fließt kalte Außenluft - entgegen der Hauptströmungsrichtung - in die Höhle ein, wobei in den obersten Höhlenräumen Eisbildungen und in der 'Fürstenhalle' in Höhen zwischen 1 und 4m über der Sohle Temperaturdifferenzen bis zu  $6^\circ\text{C}$  auftreten können. Im weiteren Verlauf dringt die kalte Luft bis in die - außerhalb des Führungsweges liegenden - tiefen Höhlenteile von 'Luisenstollen' und in Richtung 'Hungerturnlabyrinth' vor. Dort betragen die Temperaturabsenkungen jedoch nur noch 1 bis  $2^\circ\text{C}$  unter dem Jahresmittel und sie liegen bereits über jenen des etwa in gleicher Höhe befindlichen Höhlenteiles zwischen 'Windloch' und 'Dietrichshalle'. Letztgenannter Bereich, durch den ja die kalte Außenluft im Zuge der Hauptströmungsrichtung der **Winterphase** eintritt, ist das ganze Jahr über der kälteste Teil der gesamten Höhle.

Während bei Außentemperaturen von mehr als  $8^\circ\text{C}$  bzw. von weniger als  $4^\circ\text{C}$  an einer Eingangstüre beim 'Windloch' eine ziemlich konstante Luftströmung festzustellen ist, treten im dazwischen liegenden Temperaturbereich sowohl hinsichtlich Strömungsgeschwindigkeit als auch -richtung unterschiedliche und wechselnde Verhältnisse auf. Zahlreiche Messungen, die an einem Schiebefenster von ca.  $25 \times 30\text{cm}$  - das sich in dieser Türe befindet - gemacht wurden, lassen ein stoßweises An- und Abschwellen des Luftstromes, bis hin zur Windstille und manchmal sogar zu einer Umkehr der Strömungsrichtung erkennen. Dieses Phänomen ist wahrscheinlich auf Einflüsse, die von Seitenpalten kommen, vielleicht auch auf Luftwirbel, die durch Reibungsturbulenz an den unregelmäßigen Flächen der Höhlenwände entstehen, zurückzuführen. Wenn man berücksichtigt, daß die Luft mit jedem Grad der Temperaturänderung  $\frac{1}{273}$  ihres Volumens verändert, wäre eine derartige Reaktion doch denkbar.

In der Literatur findet man Hinweise, daß auch Windströmungen der Außenluft und Luftdruckschwankungen die Wetterführung in einer Höhle beeinflussen können. Nach den Meßergebnissen in der Hermannshöhle läßt sich der Einfluß von Südföhn, der gelegentlich im Kirchberger Becken auftritt, in den Höhlenteilen vom 'Taubenloch' bis zum

'Großen Dom' und weiters bis in den Beginn der dort vom Hauptwetterweg abzweigenden 'Hohen Kluft' durch Temperatursteigerungen von 0.1 und 0.2°C in Extremfallen nachweisen. Der in Richtung Südwest exponierte, an einem steilen Hang, den man als Prallhang für diesen Wind bezeichnen kann, liegende ziemlich geräumige und nur im unteren Teil durch eine Türe abgeschlossene Eingang des 'Taubenloches' bieten eine günstige Eintrittsmöglichkeit für diese warme Luftströmung, die als Verstärkungseffekt für die Wetterführung der **Sommerphase** wirksam wird.

Der Einfluß von Luftdruckschwankungen konnte hingegen nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Die Hermannshöhle wird in der Führungssaison, die Ende März beginnt und bis Anfang November dauert, jährlich von etwa 13.000 Personen besucht, die sich jeweils 45 und 60 Minuten in der Höhle aufhalten. Auch wenn von diesen eine namhafte Wärmeausstrahlung ausgeht, werden dadurch die Luftströmungsverhältnisse in der Höhle praktisch nicht beeinflußt. Nur in Höhlenteilen außerhalb des Hauptwetterweges, bzw. in Zeiten geringer Wetterführung, ist beim Durchgehen der Besucher eine Temperatursteigerung im oberen Bereich der Höhlengänge um 0.1 bis 0.2°C nachweisbar, die aber innerhalb von 10 bis 15 Minuten wieder abklingt.

## 7.2 Luftfeuchte

In Kalkhöhlen, die tief in den Berg hineinführen, liegt die relative Luftfeuchtigkeit in Räumen, die nicht stark bewettert sind, bei 100%. Dies kann damit erklärt werden, daß das Kalkgestein - zumindest im alpinen Bereich - in seinen Ritzen und Spalten stets wasserführend und die Lufttemperatur relativ konstant ist. Dies gilt auch für die zentralen, bzw. außerhalb des Hauptwetterweges liegenden Gängen und Spalten in der Hermannshöhle. In jenen Höhlenteilen, in denen durch die Wetterführung ein nennenswerter Luftaustausch stattfindet und damit auch größere Temperaturschwankungen auftreten, kann es jedoch im Winter zu einem Absinken der relativen Luftfeuchtigkeit kommen. Dies ist damit zu erklären, daß die von außen einströmende kalte Luft erwärmt wird und dadurch abtrocknet. Dieser Effekt wird noch verstärkt, weil gerade im Winter die Außenluft extrem trocken sein kann und gelegentlich eine relative Luftfeuchtigkeit von nur 20% aufweist, während im Sommer auf dem bewaldeten Hang, in dem die Höhle liegt, fast immer eine relative Luftfeuchtigkeit von 60% und mehr gemessen wurde.

Die niedrigsten Luftfeuchtwerte finden wir somit in jenen Höhlenteilen nahe der Eingänge, wo die kalte Außenluft einströmt, insbesondere in dem vom 'Taubenloch' her absinkenden großräumigen Gang. In diesem Bereich wurde noch in der 'Fürstenhalle' an Frosttagen etwa  $1\frac{1}{2}$ m über dem Boden eine relative Luftfeuchte von 75 bis 80% gemessen. Im enger werdenden - wenngleich weiter absinkenden - Höhlenteil steigt die Feuchtigkeit auf 90% und darüber an, im 'Großen Dom', der - etwas höher liegend - von der einströmenden Kaltluft nicht mehr erreicht wird, liegt die relative Luftfeuchte, ebenso wie in abzweigenden Seitengängen schon wieder über 97%. Ebenso kommt es im Höhlenteil zwischen 'Windloch' und 'Wettertüre' zu einem meßbaren Absinken der relativen Luftfeuchtigkeit während Kälteperioden. Hier liegt sie jedoch, wohl aufgrund

der kleinen Räume und der 'gebremsten' Wetterführung, meist zwischen 85 und 90%, zeitweise auch darüber. Allerdings gibt es auch im 'Barbarastollen' hinter der 'Wettertür' bis hin zur 'Dietrichshalle' in selteneren Fällen eine Abtrocknung, doch liegen hier die gemessenen Werte der relativen Feuchtigkeit bei 90% und darüber.

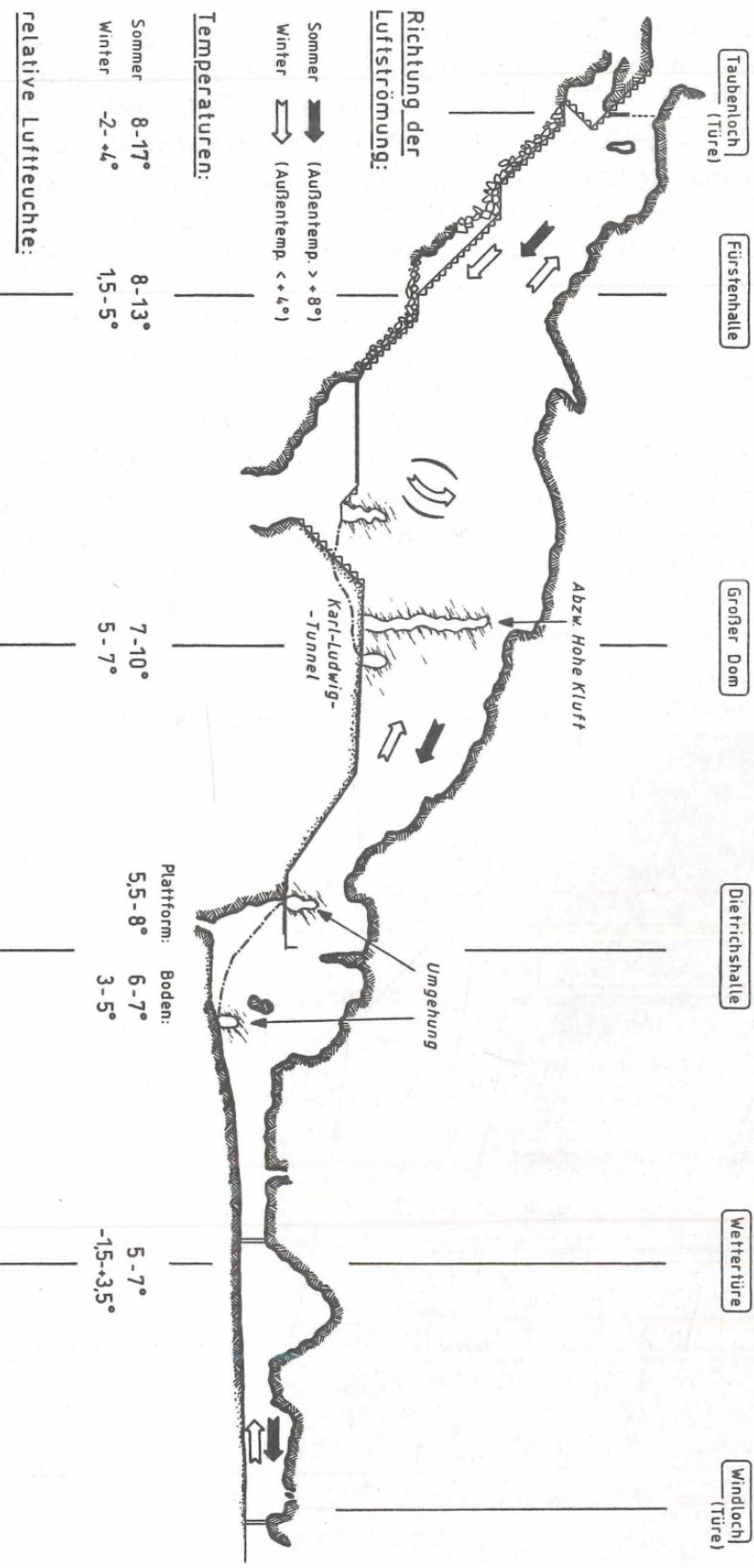
Die Abtrocknung kann jedoch auch ohne Meßgerät am Boden, den Höhlenwänden und an den Tropfsteingebilden beobachtet werden. So finden wir in dem vom 'Taubenloch' her absinkenden Höhlenteil im Winter nicht nur trockene Wege und Stiegen, sondern auch trockene Höhlenwände. Die wenigen Sinter- und Tropfsteinbildungen in diesem Bereich weisen Trockenrisse bzw. Verwitterungsscheinungen auf. Doch selbst im 'Großen Dom' und am Beginn der hier abzweigenden 'Hohen Kluft' ist der betonierte Höhlenboden manchmal trocken. Das gleiche gilt für den Bereich 'Windloch' - 'Wettertür', während weiter höhleneinwärts nur an wenigen Stellen - insbesondere auf einer Seite des Tropfsteingebildes 'Der Frosch' - Trockenflecken bemerkbar sind.

Im Gegensatz dazu kommt es im Sommer, wenn durch das 'Taubenloch' warme Außenluft einströmt, im anschließenden absinkenden Höhlenteil zu Kondensationserscheinungen an den Höhlenwänden und den Stiegen, die in der 'Fürstenhalle' zu regelrechten Tropfstellen führen. Bei hoher Feuchtigkeit der Außenluft können hier und bis hinein in den 'Großen Dom', sowie den Beginn der 'Hohen Kluft' Nebelbildungen auftreten.

Nebel entsteht manchmal im Sommer bei hoher Luftfeuchtigkeit auch vor der Höhle beim 'Windloch', wenn bei Öffnen der Türe kalte Höhlenluft austritt.



Abbildung 7.1:  
Dipl. Ing. Mrkos bei ei-  
ner routinemäßigen Ab-  
lesung der Instrumente  
in der Klimastation, die  
in den Jahren 1987 und  
1988 am Hang über der  
Hermannshöhle stand.



# Anhang:

Damit alle Temperaturreihen von derselben Zeitbasis ausgehen, werden die einzelnen Tage (wenn nicht auf ein anderes Schema hingewiesen wird) vom 1.1.1987 an durchnummieriert. Die folgenden Tabellen für die Jahre 1987 bis 1991 dienen zur direkten Bestimmung des Datums aus der fortlaufenden Zahl eines Tages und umgekehrt.

	1987	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jän	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Feb	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	59	59		
Mar	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
Apr	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120		
Mai	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	
Jun	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181		
Jul	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	
Aug	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	
Sep	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273		
Okt	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	
Nov	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334		
Dez	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	
	1988	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jän	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	
Feb	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425			
Mar	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	
Apr	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486		
Mai	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	
Jun	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547		
Jul	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577		
Aug	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	
Sep	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639		
Okt	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	
Nov	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700		
Dez	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	

1989	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Jan	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	
Feb	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790				
Mar	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	
Apr	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851		
Mai	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	
Jun	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912		
Jul	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	
Aug	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	
Sep	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004		
Okt	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	
Nov	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065		
Dez	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	
1990	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Jan	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	
Feb	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155				
Mar	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	
Apr	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216		
Mai	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	
Jun	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277		
Jul	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	
Aug	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	
Sep	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369		
Okt	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	
Nov	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430		
Dez	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	

1991	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484	1485	1486	1487	1488	1489	1490	1491	1492
Feb	1493	1494	1495	1496	1497	1498	1499	1500	1501	1502	1503	1504	1505	1506	1507	1508	1509	1510	1511	1512	1513	1514	1515	1516	1517	1518	1519	1520			
Mar	1521	1522	1523	1524	1525	1526	1527	1528	1529	1530	1531	1532	1533	1534	1535	1536	1537	1538	1539	1540	1541	1542	1543	1544	1545	1546	1547	1548	1549	1550	1551
Apr	1552	1553	1554	1555	1556	1557	1558	1559	1560	1561	1562	1563	1564	1565	1566	1567	1568	1569	1570	1571	1572	1573	1574	1575	1576	1577	1578	1579	1580	1581	
May	1582	1583	1584	1585	1586	1587	1588	1589	1590	1591	1592	1593	1594	1595	1596	1597	1598	1599	1600	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1608	1609	1610	1611	1612
Jun	1613	1614	1615	1616	1617	1618	1619	1620	1621	1622	1623	1624	1625	1626	1627	1628	1629	1630	1631	1632	1633	1634	1635	1636	1637	1638	1639	1640	1641	1642	
Jul	1643	1644	1645	1646	1647	1648	1649	1650	1651	1652	1653	1654	1655	1656	1657	1658	1659	1660	1661	1662	1663	1664	1665	1666	1667	1668	1669	1670	1671	1672	1673
Aug	1674	1675	1676	1677	1678	1679	1680	1681	1682	1683	1684	1685	1686	1687	1688	1689	1690	1691	1692	1693	1694	1695	1696	1697	1698	1699	1700	1701	1702	1703	1704
Sep	1705	1706	1707	1708	1709	1710	1711	1712	1713	1714	1715	1716	1717	1718	1719	1720	1721	1722	1723	1724	1725	1726	1727	1728	1729	1730	1731	1732	1733	1734	
Okt	1735	1736	1737	1738	1739	1740	1741	1742	1743	1744	1745	1746	1747	1748	1749	1750	1751	1752	1753	1754	1755	1756	1757	1758	1759	1760	1761	1762	1763	1764	1765
Nov	1766	1767	1768	1769	1770	1771	1772	1773	1774	1775	1776	1777	1778	1779	1780	1781	1782	1783	1784	1785	1786	1787	1788	1789	1790	1791	1792	1793	1794	1795	
Dez	1796	1797	1798	1799	1800	1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1808	1809	1810	1811	1812	1813	1814	1815	1816	1817	1818	1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825	1826

# Literaturverzeichnis

- [1] Andreas Tiesner: *Temperaturverhältnisse in der Hermannshöhle (Kirchberg am Wechsel)*. Diplomarbeit. Wien, Jänner 1993
- [2] Ph. Ladoy, D. Schertzer et S. Lovejoy: *Une étude de l'invariance locale-régionale des températures*. La Météorologie. Février 1986
- [3] Christian Dietrich Schönwiese: *Praktische Statistik*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart 1992
- [4] Dipl. Ing. Heinrich Mrkos: *Kurzführer Hermannshöhle*. Wien 1986
- [5] Fink, Hartmann: *Die Höhlen Niederösterreichs*, 1976
- [6] Schultz, Seemann, Mrkos: *Höhlenforschung in Österreich*. Gemeinschaftsverlag: Naturhistorisches Museum Wien, Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich, Fotoverlag Scheurecker 1979
- [7] Baar, Mayer, Wirth: *150 Jahre Fledermausforschung in der Hermannshöhle*. Sonderdruck aus Annalen Naturhist. Mus. Wien 1988, 1989
- [8] Univ. Prof. Dr. Georg Kyrle: *Theoretische Speläometeorologie*. Wien 1923
- [9] Murray R. Spiegel: *Theory and Problems of Statistics*. Cambridge 1976
- [10] Datenblätter, National Semiconductor Corporation, 1991
- [11] A. Girardot: *La glacier de Chaux-les-Passavant*. Besançon 1885
- [12] J. R. Dunkley, T. M. L. Wigley: *Caves of the Nullabor*. Sidney 1967
- [13] A. L. Hill: *Mullamullang Cave Expeditions*. South Australia 1966
- [14] Dr. E. Hauser, Dr. Ing. R. Oedl: *Die Eisriesenwelt im Tennengebirge*. Speläologische Monographien. Wien 1926

## SCHAUHÖHLEN IN NIEDERÖSTERREICH

**Allander Tropfsteinhöhle** (Seehöhe 485 m) im Gr. Buchberg südl. v. Alland i. Wienerwald. Kleinräumige Tropfsteinhöhle. Beleuchtung: elektrisch. Zugang: 10 Min. ab Parkpl. nahe der Straße Alland-Altenmarkt. Führungen: Ostern - Okt. Sa, So u. Feiertag; im Juli u. Aug. auch werktg. ab 13.00 Uhr u. nach Anmeldung. Dauer: 25 Min. Verw.: Gem. Alland, A-2534. Tel.: (02258)2245 od. 6344.

**Einhornhöhle** (Seehöhe 585 m) im Hirnflitzstein, Hohe Wand bei Dreistetten. Kleine Tropfsteinhöhle mit eiszeitlichen Tierknochen. Beleuchtung: Karbidlampen. Zugang: 15 Min. ab Parkpl. Dreistetten bzw. 30 Min. ab GH Langer.

Führungen: Ostern - Sept. nur Sa u. So. Dauer 20 Min.

Eigent.: O. Langer "Zitherwirt" A-2713 Dreistetten. Tel.: (02633)2553.

**Eisensteinhöhle** (Seehöhe 407 m) bei Bad Fischau. Schachthöhle m. Kristallbildungen. Thermalhöhle (+15° C). Beleuchtung: Karbidlampen. Höhlenmuseum. Zugang: 5 Min. v. Parkpl. an Sackstr. Bad Fischau-Höhle.

Führungen: Mai - Okt. nur an jedem 1. u. 3. Wochenende; Sa nachm., So ganztg. "Abenteuerführung" mit Helm, Overall, Gummistiefel (wird beigest.). Eisenleitern. Für Kinder erst ab 12 J. Dauer: 1 Std.

Eigent.: Sekt. "Allzeit Getreu" des ÖAV, A-2700 Wr. Neustadt. Tel.: (02639)21033 (Höhlenführer G. Winkler, A-2721 Bad Fischau-Brunn).

**Hermannshöhle** (Seehöhe 660 m) im Eulenberg NW Kirchberg/W. Labyrinth. Tropfsteinhöhle mit teilw. hohen Kluftgängen. Beleuchtung: elektrisch. Zugang: 5 Min. v. d. Straße Kirchberg-Ramssattel. Führungen: Ende März(Ostern) - Anf. Nov. 1.5 - 30.9 tgl., April u. Okt. an Sa, So u. Feiertage. u. n. Anm. Dauer: Normalführung 45 Min., gr. Führung (mit Kyrlelab.) 1 1/4 Std.

Eigent.: Hermannshöhlen-Forschungs- und Erhaltungsverein, Rudolf Zellerg. 50, A-1230 Wien. Tel.: (0222)8828613 (H. Mrkos) od. (02641)2859.

**Hochkarschacht** (Seehöhe 1620 m) im Hochkar bei Göstling/Y. Großräumige, hochalpine Höhle mit Tropsteinbildungen. Künstl. Eingang. Beleuchtung: elektrisch. Zugang: 15 Min. ab Parkpl. Ende Hochkar-Alpenstr.

Führungen: im Sommer bei Bedarf (mind. 20 Pers.) Dauer: 45 Min.

Verw.: Hochkar-Fremdenverk. Ges.m.b.H. & Co. KG, A-3345 Göstling/Y. Tel.: (07484)2213 od. 7214 bzw. (07484)7200 (Höhlenführer).

**Nixhöhle** (Seehöhe 555 m) im Klammburg südl. v. Frankenfels. Kluft u. Schichtfugenräume m. Bergmilch- u. Tropfsteinbildungen. Beleuchtung: elektrisch. Zugang: 10 Min. ab Parkpl. a. d. Straße Frankenfels-Puchenstuben.

Führungen: 1.5. - 31.10. an Sonn- u. Feiertg. ab 13.00 Uhr sowie f. Gruppen nach Anm. Dauer: kl. Führung 30 Min., gr. Führung 1 Std.

Verw.: Verkehrsver. Frankenfels, A-3123 Tel.: (02725)245 od. 597 (Höhlenführer).

**Ötschertropfsteinhöhle** (Seehöhe 750 m) im Roßkogel, Gaming, Nestelberg. Nach schachart. Abstieg Hallen u. Gänge mit Tropfsteinbildung. Beleuchtung: Karbidlampen. Zugang: 45 Min. ab GH "Schindelhütte" i. d. Tormäuern.

Führungen: Mai - Okt. an Wochenenden; werktg. f. Gruppen nur nach rechtzg. Voranmeldung. Dauer: 45 Min.

Verw.: TV "Die Naturfreunde" Ortsgr.Gaming, A-3292. Tel.: (07485)577 (E. Oberegger).

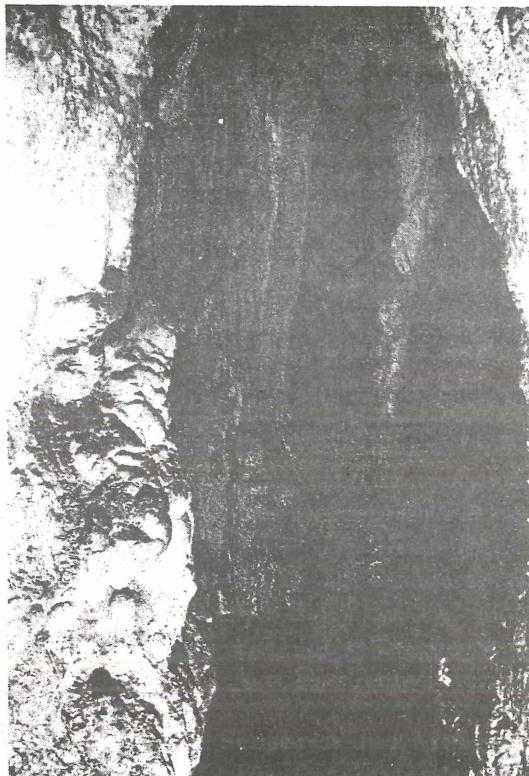
# HERMANNSHÖHLE

bei Kirchberg am Wechsel  
Größte Tropfsteinhöhle Niederösterreichs

Gute Wege

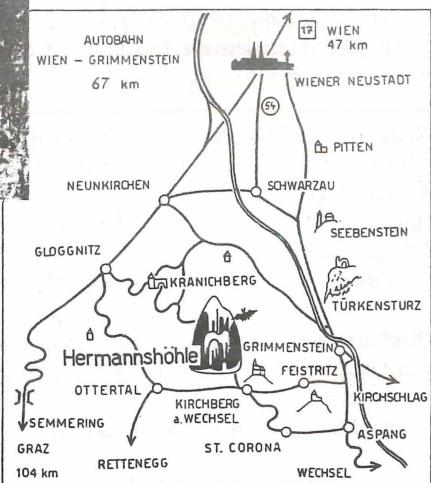
Elektrische Beleuchtung

Buffet



Geöffnet von Ende März bis Anfang November; in der Karwoche und vom 1. Mai bis 30. September täglich, im April und im Oktober an Samstagen, Sonn- und Feiertagen, sowie nach Vereinbarung. An den Betriebstagen ist die Höhle von 9 bis 17 Uhr geöffnet.

Verwaltung: Hermannshöhlen-Forschungs- und Erhaltungsverein,  
1238 Wien, Rudolf-Zeller-G. 50-52/3/  
1. Telefonische Anfragen und Anmeldungen: (0222) 88 28 613 oder  
(02641) 2859.



# VERBAND ÖSTERREICHISCHER HÖHLENFORSCHER

## *Veröffentlichungen*

### 1. FACHZEITSCHRIFT „DIE HÖHLE“

Von den Jahrgängen 1950 bis 1976 sind vielfach nur mehr einzelne Hefte vorrätig, die zum einheitlichen Preis von S 10,— (DM 1,50, sfr. 1,30) abgegeben werden.

Jahrgänge von 1977 bis 1980, je . . . . .	S 60,— (DM 10,—, sfr. 10,—)
Jahrgänge von 1981 bis 1983; 1985, je . . . . .	S 80,— (DM 12,50, sfr. 12,—)
Jahrgang 1984 . . . . .	S 180,— (DM 30,—, sfr. 29,—)
Jahrgänge von 1986 bis 1991, je . . . . .	S 100,— (DM 16,—, sfr. 14,—)

### 2. AKTEN DES DRITTHEN INTERNATIONALEN KONGRESSES FÜR SPELÄOLOGIE (1961)

Band I, Ablauf der Kongressveranstaltungen, 119 Seiten, 4 Taf., 3 Höhlenpläne, Wien 1963 . . . . .	S 50,— (DM 9,—, sfr. 9,—)
Band II, Geospeläologie, 292 S., 14 Taf., 3 Faltpläne, 1 Planbeilage, Wien 1963 . . . . .	S 140,— (DM 25,—, sfr. 25,—)
Band III, Biospeläologie, 148 S., Taf., Wien 1964 . . . . .	S 90,— (DM 15,—, sfr. 15,—)
Band IV, Speläopaläontologie, Anthropospeläologie, Technische Speläologie, 118 S., 7 Taf., Wien 1965. . . . .	S 90,— (DM 15,—, sfr. 15,—)
Band V, Karsthydrographie, Speläomorphologie, Wien 1966 . . . . .	S 140,— (DM 25,—, sfr. 25,—)
Band A, Zusammenfassung der Vorträge, 88 S., Wien 1961 . . . . .	S 20,— (DM 3,50, sfr. 3,50)
Band B, Programm des Kongresses, Exkursionsführer, 96 S., Wien 1961 . . . . .	S 20,— (DM 3,50, sfr. 3,50)
Band C, Speläologisches Fachwörterbuch, 112 S., Wien 1965 . . . . .	vergriffen

### 3. WISSENSCHAFTLICHE BEIHEFTE ZU „DIE HÖHLE“

Heft 1: G. Kyrie, Die Höhlen der Insel Capri, 48 S., Wien 1953.	S 10,— (DM 2,30, sfr. 2,30)
Heft 2: H. Trimmel, Internationale Bibliographie für Speläologie, Jahr 1950, 62 S., Wien 1955 . . . . .	S 25,— (DM 5,—, sfr. 5,—)
Heft 3: do., Jahr 1951, 72 S., Wien 1956. . . . .	S 25,— (DM 5,—, sfr. 5,—)
Heft 4: do., Jahr 1952, 72 S., Wien 1958 . . . . .	S 30,— (DM 6,—, sfr. 6,—)
Heft 5: do., Jahr 1953, 80 S., Wien 1958 . . . . .	S 30,— (DM 6,—, sfr. 6,—)
Heft 6: do., Jahr 1954, 96 S., Wien 1960 . . . . .	S 30,— (DM 6,—, sfr. 6,—)
Heft 7: do., Jahr 1955, 92 S., Wien 1962 . . . . .	S 30,— (DM 6,—, sfr. 6,—)
Heft 8: do., Jahr 1956, 126 S., Wien 1963 . . . . .	S 50,— (DM 8,50, sfr. 8,50)
Heft 9: do., Jahr 1957, 112 S., Wien 1963 . . . . .	S 50,— (DM 8,50, sfr. 8,50)
Heft 10: do., Jahr 1958, 128 S., Wien 1964 . . . . .	S 50,— (DM 8,50, sfr. 8,50)
Heft 11: M. H. Fink, Tektonik und Höhlenbildung in den nieder-österreichischen Voralpen, Wien 1967 . . . . .	S 60,— (DM 10,—, sfr. 10,50)
Heft 12: H. Fielhauer, Sagengebundene Höhlennamen in Österreich, Wien 1968 . . . . .	S 60,— (DM 10,—, sfr. 10,50)
Heft 13: R. Saar - R. Pirker, Geschichte der Höhlenforschung in Österreich, 120 S., Wien 1979 . . . . .	S 130,— (DM 20,—, sfr. 18,—)

## VERBAND ÖSTERREICHISCHER HÖHLENFORSCHER

Heft 15: H. Trimmel, Internationale Bibliographie für Speläologie, Jahr 1959, 148 S., Wien 1967 . . . . .	S 50,- (DM 8,50, sfr. 8,50)
Heft 16: do., Jahr 1960, 132 S., Wien 1970 . . . . .	S 80,- (DM 12,50, sfr. 14,-)
Heft 17 bis 20 . . . . .	in Vorbereitung
Heft 24: H. Strouhal † und J. Vornatscher, Katalog der rezenten Höhlentiere Österreichs, 142 S., Wien 1975 . . . . .	S 120,- (DM 18,-, sfr. 22,-)
Heft 26: Die Höhle beim Spannagelhaus und ihre Umgebung (Tuxer Alpen, Tirol), Wien 1992 . . . . .	S 180,- (DM 26,-, sfr. 24,-)
Heft 27: G. Bardolf, M. H. Fink, G. Stummer und Hubert Trimmel, Die Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs im Maßstab 1: 50.000, Wien 1978 . . . . .	S 100,- (DM 15,-, sfr. 15,-)
Heft 28: M. H. Fink, H. und W. Hartmann (Redaktion), Die Höhlen Niederösterreichs, Band 1, 320 S. + 16 S. Bildteil, Wien 1979 . . . . .	S 290,- (DM 42,-, sfr. 38,-)
Heft 29: H. und W. Hartmann (Redaktion), Die Höhlen Niederösterreichs, Band II, 368 S. + 24 S. Bildteil, 2 Faltpläne, Wien 1982 . . . . .	S 350,- (DM 50,-, sfr. 44,-)
Heft 30: H. und W. Hartmann (Redaktion), Die Höhlen Niederösterreichs, Band 3, 432 S. + 32 S. Bildteil, 3 Faltpläne, Wien 1985 . . . . .	S 390,- (DM 56,-, sfr. 50,-)
Heft 31: K. Mais, H. Mrkos und R. Seemann (Redaktion), Akten des Internationalen Symposiums zur Geschichte der Höhlenforschung Wien 1979. – Wien 1983 . . . . .	S 100,- (DM 15,-, sfr. 12,-)
Heft 32: G. Stummer, Atlas der Dachstein-Mammuthöhle, 100 S., Wien 1980 . . . . .	S 130,- (DM 20,-, sfr. 18,-)
Heft 34: K. Mais und R. Schaudy (Redaktion), Höhlen in Baden und Umgebung, 135 S., Seibersdorf 1985 . . . . .	S 130,- (DM 20,-, sfr. 18,-)
Heft 35: Th. Pfarr und G. Stummer, Die längsten und tiefsten Höhlen Österreichs, ca. 220 Seiten, zahlreiche Pläne, Wien 1988 . . . . .	S 280,- (DM 42,-, sfr. 38,-)
Heft 36: G. Stummer und H. Trimmel Höhlenführerskriptum. 186 Seiten, zahlreiche Abbildungen, Wien 1990 . . . . .	S 180,- (DM 26,-, sfr. 24,-)
Heft 37: H. und W. Hartmann (Red.), Die Höhlen Niederösterreichs, Band 4, 624 Seiten, 32 Bildtafeln, Planbeilagen, Wien 1990 . . . . .	S 450,- (DM 65,-, sfr. 56,-)
Heft 38: H. Holzmann (Red.), Höhlengedichte, 123 Seiten Federzeichnungen, Wien 1990 . . . . .	S 130,- (DM 19,-, sfr. 17,-)
Heft 39: R. Pavuza (Red.), Akten des Symposiums über Ökologie und Schutz alpiner Karstlandschaften Bad Mitterndorf 1988, Wien 1991 . . . . .	S 180,- (DM 26,-, sfr. 24,-)
Heft 40: H. Holzmann et al., Höhlenansichtskarten Niederösterreichs, Band 1, 279 S., zahlr. Abb., Wien 1992 . . . . .	S 320,- (DM 48,-, sfr. 43,-)
Heft 41: W. Wenzel, Bibliographie für Karst- und Höhlenkunde aus ÖTK-Schriften, 1. Teil, 115 S., Wien 1992 . . . . .	S 130,- (DM 19,-, sfr. 17,-)
Heft 42: R. Pavuza (Red.), Akten des Symposiums über die Karstgebiete der Alpen - Gegenwart und Zukunft Bad Aussee 1991, Wien 1993 . . . . .	S 180,- (DM 26,-, sfr. 24,-)
Heft 43: H. Trimmel (Red.), Beiträge zu Speläotherapie und Höhlenklima, I. Akten des 9. Internationalen Symposiums für Speläotherapie, Bad Bleiberg (Kärnten), September 1987, Wien 1992, 86 Seiten . . . . .	S 130,- (DM 19,-, sfr. 17,-)
Heft 44: E. Herrmann (Red.), Die Tauplitz-Schachtzone im Toten Gebirge, Stmk. Wien 1993, 230 Seiten, 1 Planbeilage . . . . .	S 250,- (DM 38,-, sfr. 33,-)

