

**Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute**

Zürich

No 119

VERGLEICH DER TEMPERATUREN VERSCHIEDENER WETTERHUETTEN
AN EINIGEN STATIONEN DES ANETZES

von

G. Müller, Zürich

Februar 1984

Wetterhütten
Temperatur

551.508.27
551.524

Zusammenfassung

In Payerne wurde 1979-1981 an der ANETZ-Station ein Vergleich der Lufttemperaturen verschiedener Wetterhütten durchgeführt, dessen Resultate durch einen Vergleich des Hüttenverhaltens im Wärmerekordmonat Juli 1983 an weiteren ANETZ-Stationen ergänzt wurden. Als Vergleichsbasis dienten Messungen des ventilierten Thermometers VHT-1. Dabei zeigte sich, dass die unterschiedlichen Standortbedingungen an den einzelnen Stationen einen wesentlicheren Einfluss auf die Temperatur in Wetterhütten ausüben, als der Typ der in der Schweiz bisher verwendeten Hütten. Noch grösseres Gewicht kann an konventionellen Stationen Qualitätsmerkmalen der Beobachterablesungen zukommen.

Résumé

Une comparaison du comportement des abris météorologiques sur la température fut effectuée à Payerne de 1979 à 1981 à la station ANETZ. Ces résultats furent complétés avec les données de juillet 1983, qui fut un mois record pour la chaleur, par une confrontation des caractéristiques d'abris installés à d'autres stations ANETZ. Les températures du thermomètre ventilé VHT-1 servaient de base de comparaison. Il apparut que les conditions locales des emplacements, qui diffèrent d'une station à l'autre, exercent une influence plus importante que celle du type des abris utilisés jusqu'ici en Suisse. Aux stations conventionnelles, le degré de précision avec lequel les lectures sont faites peut avoir un effet encore plus important.

Riassunto

Dal 1979 al 1981 alla stazione ANETZ di Payerne è stato effettuato un confronto fra i tipi di capannine. I risultati fin qui raccolti sono poi stati completati con un paragone del comportamento delle capannine in altre stazioni ANETZ durante il mese di luglio 1983, nel quale la temperatura ha raggiunto estremi record. Come base per il paragone servirono i dati del termometro ventilato VHT-1. E' risultato che una diversa ubicazione alla singola stazione ha un'influenza più importante sulla temperatura nella capannina che non il tipo stesso di capannina usato fra quelli presenti in Svizzera. Nelle stazioni con misurazioni convenzionali, può avere peso ancora maggiore l'accuratezza della lettura.

Summary

At the location of the ANETZ station of Payerne, a comparison was made for the period 1979-1981 between temperature measurements in several meteorological huts. This comparison has been supplemented by other similar ones made during the very warm month of July 1983 at other ANETZ stations. The thermometer used as reference for the comparison was the ventilated thermometer VHT-1. It came out of these comparisons that the local conditions surrounding the huts cause much larger differences than the ones due to the different types of huts used up today in Switzerland. At the conventional stations the degree of accuracy with which the readings are made by the observers could still have a larger effect.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Problemstellung -----	1
2. Hüttenvergleich in Payerne -----	2
2.1. Versuchsanordnung	2
2.2. Datenqualität und -repräsentativität	2
2.3. Stündliche Temperaturdifferenzen	3
2.3.1. Monats- und Jahresmittel	3
2.3.2. Terminmittel	5
2.3.3. Extremwerte	7
2.4. Differenzen der täglichen Temperaturmaxima und -minima	17
2.5. Einfluss unpunktlicher Thermometerablesungen	19
3. Stationsvergleich unter Berücksichtigung verschiedener Hüttentypen -----	22
3.1. Grundlagenmaterial	22
3.2. Stündliche Temperaturdifferenzen	22
3.2.1. Monatsmittel	22
3.2.2. Terminmittel	23
3.3. Differenzen der täglichen Temperaturmaxima und -minima	31
4. Schlussfolgerungen -----	34
5. Literaturverzeichnis -----	36

1. Problemstellung

=====

In der Schweiz wurden seit Beginn der offiziellen Temperaturmessungen im Klimanetz von 1863 sehr unterschiedliche Thermometeraufstellungen in verschiedenen Wetterhütten oder ohne Wetterhütten verwendet. Es ist Ziel dieser Arbeit, mit Hilfe von automatischen Temperaturmessungen an ANETZ-Stationen die Eigenschaften der wichtigsten Wetterhüttentypen im Vergleich mit dem ventilierten Thermometer darzustellen.

Dazu fand auf dem Messfeld in Payerne unter homogenen Standortbedingungen während zwei Jahren ein Hüttenvergleich statt (vgl. Kap. 2.). Zur Untersuchung unterschiedlicher Standorteinflüsse wurden als Ergänzung die Temperaturdifferenzen zwischen dem ventilierten Thermometer VHT-1 und den im ANETZ gebräuchlichen Wetterhütten auch an anderen ANETZ-Stationen anhand der stündlichen Terminwerte und der täglichen Extremwerte bearbeitet (vgl. Kap. 3.).

Die Messbedingungen der konventionellen Handablesungen lassen sich durch automatische Messungen in denselben Hütten nicht mehr gleichwertig reproduzieren. Beobachterqualität (Ablesegenauigkeit, Pünktlichkeit) und verschiedene Messmethodik (z.B. Öffnen der Hütte bei der Messung) verbleiben als wichtige Unterschiede, deren Einfluss es ebenfalls abzuschätzen galt.

2. Hüttenvergleich in Payerne

=====

2.1. Versuchsanordnung

Vom 1.7.1979 bis 30.6.1981 wurden auf dem Messfeld der ANETZ-Station Payerne zusätzlich zu den im Zehnminutenrhythmus erfassten Standard-Lufttemperaturen ANETZ

Adr. 3: Ventiliertes Thermometer (Abkürzung VHT)

Adr.23: Stevensonhütte, englisches Modell SMA, auf Holzbock (GRH)

Adr.25: Alu-Strahlungsschutz Hygrometer (TUH)

die Lufttemperaturen in folgenden Wetterhütten stündlich durch die ASTA gemessen:

Adr.29: Kleine Holzhütte mit Doppeljalousie (KLH)

Adr.30: Wild'sche Hütte (WILD)

Adr.32: Militärwetterhütte (MIL) aus Holz mit Doppeljalousie, braun, auf 4 Eisenrohren, Dimensionen ungefähr wie GRH

Adr.33: Stevensonhütte, englisches Modell SMA, auf verzinktem 4"-Metallfuss (GRHM)

Als Messelement diente wie für Adr. 3, 23 und 25 ein linearisierter Thermistorfühler YSI, welcher auf einer Höhe von 2m über Boden in der Hütte am sonst für das Quecksilber-Stationsthermometer vorgesehenen Platz befestigt war.

2.2. Datenqualität und -repräsentativität

Der Temperaturvergleich wurde dadurch erschwert, dass am 28.12.1979 die Gesamtmeldung im ANETZ von HH+40 auf HH+10 verschoben wurde. Betroffen waren Adr. 29,30,32 und 33. Bei den Differenzbildungen (Hütte - Ventiliertes Thermometer) musste deshalb für die betroffenen Hüttentemperaturen vor diesem Zeitpunkt VHT (HH+40), nachher VHT (HH+10) als Vergleichswert verwendet werden. Für Adr. 23 und 25 wurde dagegen während der ganzen Vergleichsdauer VHT (HH+40) als Vergleichswert benützt.

Wegen zunehmend ungenügender Ventilatorleistung erwiesen sich die Messwerte des ventilierten Thermometers von ca. Anfang November 1980 an als teilweise zu hoch und blieben bis zur Reparatur des Gerätes am 19.12.1980 unbrauchbar. Für die Monatsstatistiken November und Dezember konnten deshalb nur die Messungen eines Jahres (1979) beigezogen werden. Die Auswechslung des Ventilatormotors am 11.10.1979 sowie die ASTA-Züglete am 11.3.1980 blieben ohne Einfluss auf die Messwerte.

Die Witterung während den Vergleichsmessungen kann als durchschnittlich eingestuft werden. Speziell gilt dies für die zweite Hälfte 1979 (Ausnahme: zu starke Besonnung im Dezember) und die erste Hälfte 1981. Das Jahr 1980 war dagegen eher etwas zu kühl mit überdurchschnittlichen Niederschlägen und leicht unterdurchschnittlicher Besonnung (speziell Juni und Juli).

2.3. Stündliche Temperaturdifferenzen

2.3.1. Monats- und Jahresmittel

Fig. 1 zeigt den Jahresgang der mittleren monatlichen Temperaturdifferenzen Hütte - ventiliertes Thermometer für die einzelnen Hütten, Abb. 2 die entsprechenden Standardabweichungen.

Zusammengefasst nach Jahreszeiten und für das ganze Jahr betragen die mittleren Temperaturdifferenzen und Standardabweichungen (Tab. 1):

Tab.1: Mittlere stündliche Temperaturdifferenzen Hütte - vent. Thermometer (Grad C)

		GRH -VHT	GRHM-VHT	KLH -VHT	WILD-VHT	MIL -VHT	TUH -VHT
Winter (Okt.-März)	M	0.06	0.13	0.08	0.20	0.24	0.12
	S	0.31	0.36	0.32	0.58	0.46	0.72
Sommer (Apr.-Sept.)	M	0.19	0.32	0.21	0.58	0.40	0.53
	S	0.33	0.40	0.35	0.85	0.50	0.98
Jahr	M	0.13	0.23	0.15	0.41	0.32	0.35
	S	0.33	0.40	0.34	0.76	0.49	0.89

M Mittelwert, S Standardabweichung

Das ventilierte Thermometer liefert in allen Monaten durchschnittlich tiefere Temperaturen als alle Hüttenmessungen. Hauptgrund ist die mehr oder weniger ausgeprägte Strahlungsempfindlichkeit der letzteren. Während im Winter zumindest GRH und KLH nur geringfügig höhere Temperaturen als VHT aufweisen, sind in den strahlungsreicheren Sommermonaten die Abweichungen zu VHT deutlich grösser. Überdurchschnittlich sind die Abweichungen im Dezember. Sie sind auf den aussergewöhnlichen Strahlungsreichtum im Dezember 1979 zurückzuführen; der "normalere" Dezember 1980 konnte wegen Defekt am ventilierten Thermometer nicht in die Auswertung miteinbezogen werden.

Die Unterschiede zwischen GRH und KLH sind in allen Monatsmitteln vernachlässigbar klein. Erwartungsgemäss zeigen die strahlungsempfindlichsten Hütten, TUH und WILD, im Sommer extreme Wärmeüberschüsse; am deutlichsten bereits im Juni, ein Indiz für deren auch im Jahresgang schnelleres Reaktionsvermögen.

In der Militärwetterhütte wurden in allen Monaten im Mittel mindestens 0.2 Grad zu hohe Temperaturen gemessen. Im Winterhalbjahr resultierten gar die gegenüber VHT am stärksten überhöhten Temperaturen aller Hüttentypen.

Erstaunlich deutlich zeigt sich der Effekt des Metallsockels bei GRHM, welcher sich das ganze Jahr über bemerkbar machte und im Sommermittel fast 0.15 Grad Temperaturerhöhung gegenüber GRH bewirkte.

Die Standardabweichungen von den Monatsmitteln der stündlichen Differenzen Hütte - ventiliertes Thermometer entsprechen in der Grössenreihenfolge

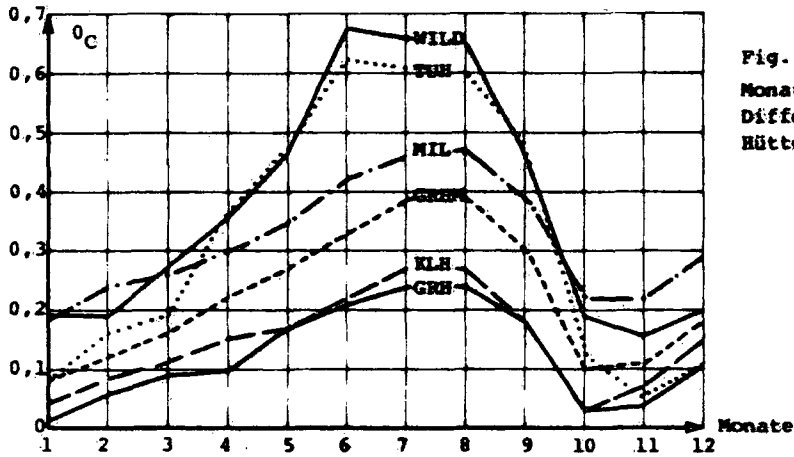


Fig. 1:
Monatsmittel der stündlichen
Differenzen Temperatur
Hütte - vent. Thermometer

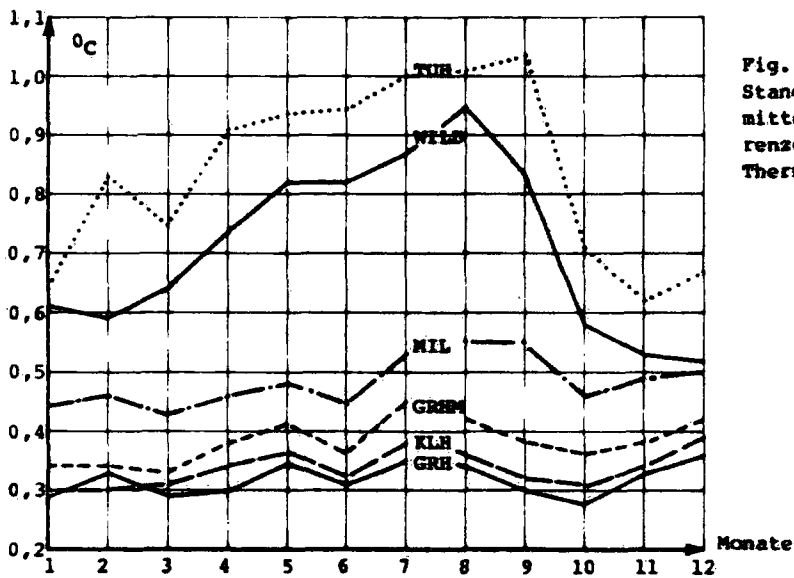


Fig. 2:
Standardabweichung vom Monats-
mittel der stündlichen Diffe-
renzen Temp. Hütte - vent.
Thermometer

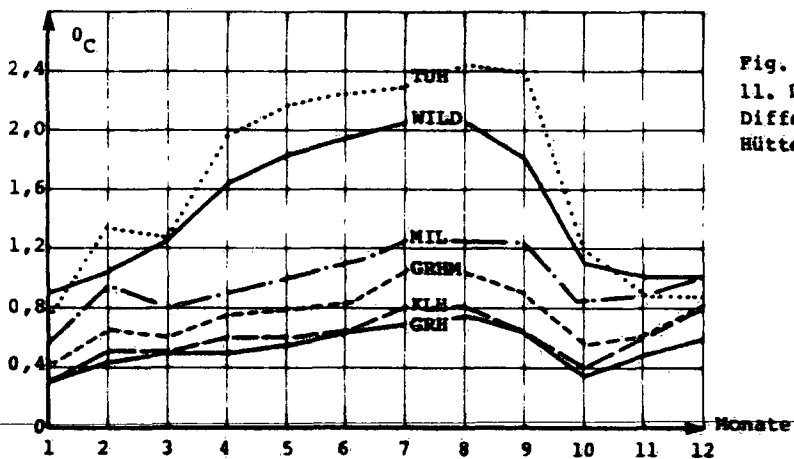


Fig. 3:
11. Duodezil der stündlichen
Differenzen
Hütte - vent. Thermometer

den Monatsmitteln der stündlichen Differenzen. Am stärksten streuen diese Differenzen für TUH und WILD, besonders im Sommer. Die Streuung der Differenzen ist bei den übrigen Hütten nur geringen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen.

2.3.2. Terminmittel

In Fig. 4 und 5 sind die mittleren Temperaturdifferenzen von GRH und WILD zum ventilierten Thermometer in Abhängigkeit von Monat und Termin graphisch dargestellt.

Die thermische Trägheit der Stevenson-Hütte GRH zeigt sich nicht nur im Jahresablauf, sondern besonders deutlich auch im Tagesablauf; die grössten Differenzen zu VHT treten im Sommerhalbjahr erst zur Zeit der Klima-Abendbeobachtung auf (bis maximal 0.5 Grad im Monatsmittel Juli). Im Winterhalbjahr erscheinen die grössten Differenzen (bis 0.2 Grad) bereits im Verlaufe des Nachmittags. Die Temperaturen in GRH sind im Durchschnitt das ganze Jahr über und zu allen Stundenterminen höher als bei VHT.

Bei WILD zeigen die Linien gleicher Temperaturdifferenzen sowohl tages- wie auch jahreszeitlich ein fast symmetrisches Bild in Abhängigkeit vom Sonnenstand; ein Indiz für die geringere Trägheit der Wild'schen Hütte. Im Tagesablauf finden sich die grössten Differenzen zu VHT bereits um 11 z (im Sommer bis 1.8 Grad), im Jahresablauf von Juni bis September. Im Gegensatz zu GRH resultieren nachts, v.a. im Winter, in der Wild'schen Hütte bis maximal 0.2 Grad zu tiefe Temperaturen.

Mit Fig. 4 und 5 lassen sich die in GRH und WILD zu erwartenden Temperaturmessfehler zu den Klimaterminen beurteilen. Sie scheinen deutlich grösser zu sein als die durch M.Schüepp 1953/54 in Zürich ermittelten Differenzen (1). Die Verschiebung der Klima-Abendbeobachtung von 2030z nach 1830z hat sich auf die Repräsentativität der Abendbeobachtung und des Tagesmittels eher nachteilig ausgewirkt, weil um 1830z die Abhängigkeit der Temperaturmessung vom Hüttentyp deutlicher in Erscheinung tritt. Zudem sind die Temperaturänderungen pro Zeiteinheit um 1830z grösser, so dass sich Unpünktlichkeiten bei der Thermometerablesung stärker auswirken (vgl. Tab. 7).

Für GRH und WILD existieren mehrere ältere Vergleichsreihen welche nur zum Teil ausgewertet und publiziert wurden. Zur Beurteilung der Messergebnisse an der ANETZ-Station Payerne sind nachstehend einige dieser älteren Vergleiche WILD - GRH zusammengefasst (Tab. 2):

Zürich-SMA: (SMA)	Vergleichsmessungen 1961-1970 Ablesungen an unventilierten Stationsthermometern zu den Klimaterminen 0730, 1330, 2130 h
Basel-Binningen: (BAS)	Vergleichsmessungen 1966 (2) WILD: Thermographen-Registrierungen, reduziert nach Terminablesungen 0730, 1330, 2130 h an unventiliertem Stationsthermometer. GRH: ventiliertes Psychrometer
Zürich-Kloten: (KLO)	Vergleichsmessungen August 1953 - Juli 1954 (3) Ablesungen WILD an unventiliertem Stationsthermometer an täglich 8 Synopteterminen. Temperaturfernregistrierung GRH, wahrscheinlich nicht nach Terminablesungen reduziert

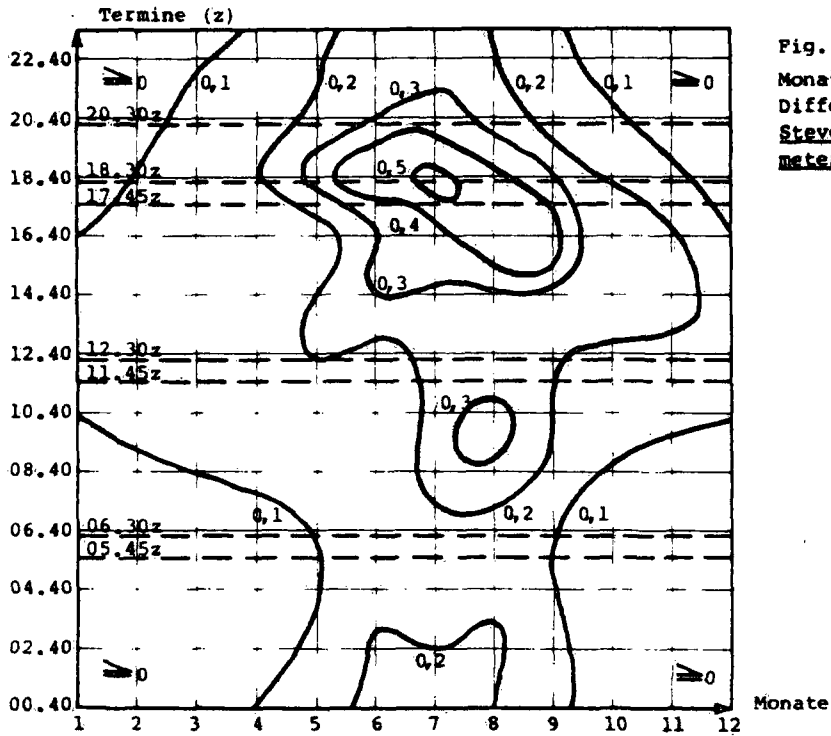


Fig. 4:
Monatsmittel der stündlichen
Differenzen Temperatur
Stevensonhütte - vent. Thermo-
meter nach Terminen (°C)

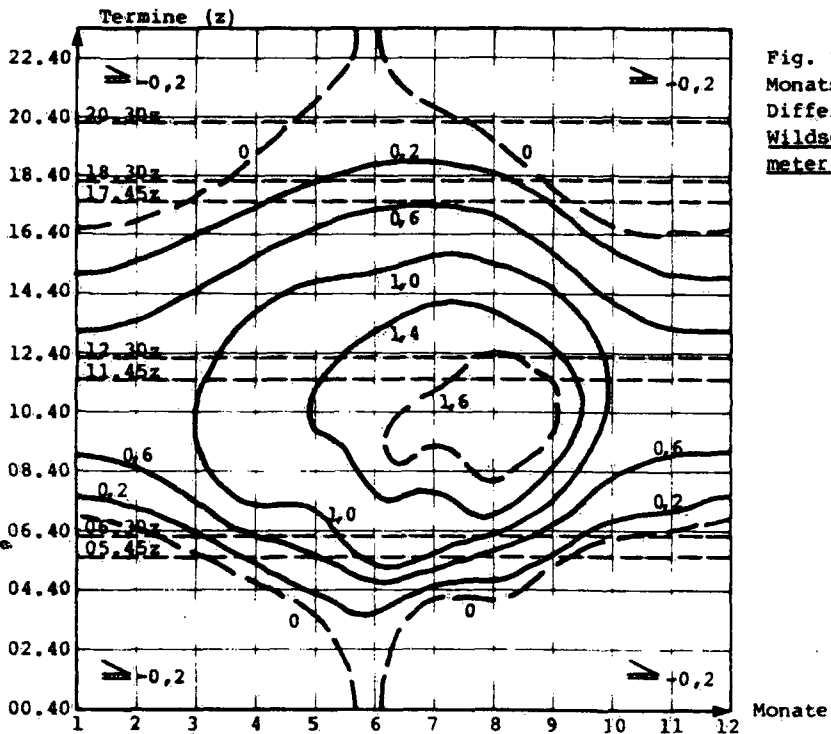


Fig. 5:
Monatsmittel der stündlichen
Differenzen Temperatur
Wildsche Hütte - vent. Thermo-
meter nach Terminen (°C)

Payerne: vlg. S. 2.
(PAY)

Die Temperaturdifferenzen in Kloten und Payerne entsprechen sich für alle Monate und Jahreszeiten gut. Um 0730 Uhr ist WILD im Winter leicht kälter, im Sommer dagegen -unter Strahlungseinfluss- wärmer als GRH (vgl. auch Fig. 6). Um Mittag übersteigt die Temperatur in WILD jene in GRH während des ganzen Jahres deutlich; die Differenz zwischen den beiden Hütten ist im Sommermittel etwa doppelt so gross wie im Wintermittel. Abends sind die Temperaturen in WILD stets etwas tiefer, speziell im Sommer.

Die Vergleichsreihe in Zürich ist wegen ihrer Länge als sehr aussagekräftig einzustufen. Es fällt auf, dass in den Tagesabschnitten mit ansteigenden Temperaturen (0730 Uhr im Sommer, 1330 Uhr (MEZ) während ganzem Jahr) die Differenz WILD-GRH in Zürich im Winterdurchschnitt ca. 0.3, im Sommer sogar ca. 0.6 Grad kleiner ist als in Payerne und Kloten. Eine Erklärung muss darin gesucht werden, dass in Payerne und Kloten GRH bei der Messwertentnahme jeweils geschlossen war, in Zürich jedoch die Hütte zur Ablesung geöffnet wurde. Nach Öffnen der Hütte stieg die in GRH leicht nachhinkende Temperatur entsprechend der wärmeren Aussenluft. Die Differenz zur weniger trägen und darum schon wärmeren Wild'schen Hütte konnte sich verkleinern. Der Ventilationseffekt beim Öffnen der Stevenson-Hütte GRH beträgt demnach durchschnittlich knapp ein halbes Grad.

Zwischen den in Zürich und Basel gemessenen Differenzen WILD-GRH bestehen vor allem abends grosse Unterschiede, obwohl die Basler Thermographenregistrierungen auf Ablesungen am Thermometer reduziert wurden. WILD war in Basel weniger stark zu kalt und/oder GRH weniger stark zu warm, so dass beide Hütten im Abendmittel ungefähr die gleichen Temperaturen aufwiesen; als Ursachen müssen in Betracht gezogen werden:

-Abschwächung Hütteneffekte bei GRH: bessere Ventilation von GRH mit bereits kühlerer Aussenluft durch Ablesungen an einem ventilierten Psychrometer.

-Verstärkung Hütteneffekte bei WILD: Schlechtere Belüftung der Messgeräte durch weiter hinuntergezogene Jalousien und die Hecke südlich der Hütte.

Insgesamt sind die Temperaturdifferenzen WILD - GRH abends in der Basler Messreihe 0.3 bis 0.4 Grad geringer als bei den Vergleichsmessungen in Zürich.

Da viele im Beobachtungsnetz eingesetzte Wild'sche Hütten Einzelanfertigungen waren, muss auch andernorts mit solchen stationsspezifischen Hütteneigenarten gerechnet werden.

2.3.3. Extremwerte

Anhand des ersten und elften Duodezils wurde versucht, Temperaturdifferenzen Hütte - ventiliertes Thermometer zu definieren, deren Absolutbetrag als sehr gross bezeichnet werden muss.

Tab. 2: Temperaturdifferenzen Wild'sche Hütte (WILD) - Stevenson Hütte (GRH) zu den Klimaterminen (Grad)

Termin:	0730 Uhr				1330 Uhr				2130 Uhr			
	PAY	KLO	SMA	BAS	PAY	KLO	SMA	BAS	PAY	KLO	SMA	BAS
Messzeit (GMT):	0620	0600	0630	0630	1220	1200	1230	1230	2020	2100	2030	2030
Januar	-0.1	0.2	-0.2	---	0.8	0.7	0.4	---	0	0	-0.3	---
Februar	-0.1	0	-0.2	---	0.8	1.2	0.6	---	-0.1	-0.1	-0.3	---
März	0	0.2	-0.2	0	0.8	1.1	0.7	0.8	-0.2	-0.6	-0.3	-0.1
April	0.5	0.3	0.1	0.1	1.3	0.8	0.7	0.6	-0.2	-0.3	-0.4	0
Mai	0.8	1.0	0.2	0.3	1.1	1.5	0.9	0.8	-0.2	-0.3	-0.4	0
Juni	1.0	1.0	0.2	0.3	1.4	1.7	1.0	1.1	-0.3	-0.6	-0.4	0
Juli	1.0	0.9	0.2	0.3	1.3	1.5	0.9	0.9	-0.3	-0.3	-0.5	-0.3
August	0.9	0.5	0	0.2	1.4	1.2	0.8	0.7	-0.3	-0.3	-0.4	0
Sept.	0.4	0.1	-0.1	0.2	1.2	0.6	0.8	0.9	-0.3	-0.4	-0.4	0
Okt.	0.1	0	-0.2	0.2	1.0	0.7	0.6	0.4	-0.3	-0.1	-0.3	0.2
Nov.	0	0	-0.3	0.1	0.5	0.6	0.2	0.3	0	-0.1	-0.3	-0.1
Dez.	0	0	-0.2	-0.1	0.6	0.4	0.3	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.1
Jahr	0.4	0.4	-0.1	---	1.0	1.0	0.7	---	-0.2	-0.3	-0.3	---

Tab. 3: Erstes und elftes Duodezil der stündlichen Temperaturdifferenzen Hütte - ventilertes Thermometer VHT, (0.01 Grad C)

(0.1 Grad)		GRH - VHT		GRHM - VHT		KLH - VHT		WILD - VHT		MIL - VHT		TUH - VHT	
		1/12	11/12	1/12	11/12	1/12	11/12	1/12	11/12	1/12	11/12	1/12	11/12
Jahr	M	-21	54	-18	75	-21	60	-31	147	-17	98	-51	165
	S	9	14	7	19	5	16	6	46	6	21	12	66
Winter	M		45		60		52		105		83		105
Sommer	M		63		89		68		189		113		225

M Mittelwert, S Standardabweichung

Wie Tab.3 zeigt, ist die Temperatur des ventilierten Thermometers während des ganzen Jahres nur ganz selten mehr als 0.2 bis 0.3 Grad C höher als jene in den Holzhütten und der Wild'schen Hütte (vgl. 1. Duodezil).

Extrem überhöhte Hüttentemperaturen (11. Duodezil) sind stärker von Hüttentyp und Jahreszeit abhängig (Fig. 3). Dabei zeigt sich v.a. im Sommer wiederum die unterschiedliche Strahlungsempfindlichkeit der einzelnen Hütten. Bei TUH und WILD können erst Temperaturüberschüsse von über ca. 2 Grad im Sommer und ca. 1 Grad im Winter als wirklich gross betrachtet werden, bei GRH, GRHM, KLH praktisch das ganze Jahr hindurch solche von ca. 0.7 Grad.

In Tab. 4 sind die absolut grössten Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Hütten und dem ventilierten Thermometer zusammen mit den möglichen Ursachen monatsweise zusammengestellt.

Die Wettersituationen, welche zu derart grossen Differenzen führten, sind mannigfaltig. Wichtige gemeinsame Voraussetzung bildete aber in den meisten Fällen eine Schwachwindlage mit mittleren Zehnminutenwindstärken von weniger als ca. 1 m/s auf einer Höhe von 10 m über Boden zum Messzeitpunkt. Als weitere typische Wettervoraussetzungen lassen sich zusammenfassen:

a) Tage mit extremem Strahlungshaushalt:

Praktisch durchgehende Besonnung tagsüber und wolkenarme Nächte. Die grössten positiven Abweichungen zu VHT entstanden bei TUH am frühen Vormittag, bei WILD, KLH und MIL am Mittag oder im Laufe des Nachmittags, bei GRH und GRHM dagegen wegen der grösseren thermischen Trägheit erst kurz nach Sonnenuntergang (vgl. auch Fig. 11). Noch verstärkt wurde dieses Hüttenverhalten v.a. bei TUH und WILD, wenn hoher Schnee lag.

Eine solche Situation ist in Fig. 7 dargestellt: Am 8./9.1.81 lag über 1 m Schnee. Am Morgen des 8. betrug die Schneehöhe gar 1.70 m. über Nacht waren 50 cm Neuschnee gefallen. Die Messfühler WILD und TUH erreichten die stärksten Temperaturüberhöhungen der beiden Messjahre, da sie durch die am Schnee reflektierte Strahlung auch von unten Wärme absorbierten und der Messfühler selbst, besonders bei WILD, nicht geschützt war. Im Gegensatz zu Einstrahlungssituationen ohne Schnee erfuhr dadurch WILD eine noch grössere Strahlungsverfälschung als TUH.

Extreme Temperaturdefizite traten in Strahlungsnächten speziell bei WILD und TUH zu Tage, am deutlichsten bei diesen Hütten in den ersten Stunden nach Sonnenuntergang.

b) Psychrometereffekte an Hütten und ihren Messfühlern:

Ein Beispiel ist in Fig. 8 anhand des Temperaturverlaufes vom 25.1.80 dargestellt; in der Nacht zum 25.1.83 fielen starke Niederschläge mit anschliessender Nebelbildung am Boden. Ca. um 9z löste sich der Nebel auf, bei schwachen Winden mit Geschwindigkeiten unter 2.5 m/s (10 m über Boden) begann eine intensive Phase der Besonnung. Das Holz der Hütten wies nach der feuchten Nacht eine maximale Wassersättigung auf, die Thermistorenfühler waren nass und vermutlich mit Reif bedeckt. Die durch die Erwärmung der Luft produzierte Verdunstungskälte führte bei KLH, GRHM und WILD um 10z zu den grössten negativen Abweichungen gegenüber VHT der ganzen Vergleichsperiode. Etwas geringer sind diese Abweichungen wegen des zeitlich verschobenen Messzeitpunktes für GRH. Die Zeitspanne zwischen 12 und 14z war darauf gekennzeichnet durch eine starke Überhitzung der Hütten. Die dafür massgebenden Ursachen sind unter a) erläutert. In Locarno-Monti

Tab. 4: Grösste stündliche Temperaturdifferenzen Hütte - ventiliertes Thermometer VHT (Grad C)

	GRH - VHT		GRHM- VHT		KLH - VHT		WILD- VHT		MIL - VHT		TUH - VHT	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Januar	b-3.4	c3.0	b-4.1	c2.9	b-4.4	c2.6	b-3.1	a5.4	b-1.9	c4.6	d-2.5	a5.2
Februar	c-4.4	c2.0	c-2.6	?1.6	c-1.3	?1.6	b-1.4	a3.5	c-1.3	a2.6	a-1.9	a4.6
März	b-1.6	d2.0	b-1.5	a1.9	b-1.7	c1.8	a-1.1	a3.7	b-1.1	a3.0	d-1.6	a4.2
April	d-1.1	d2.1	d-1.9	a2.6	d-2.0	d2.0	d-1.3	a3.6	d-1.8	a2.8	a-2.1	a4.2
Mai	d-1.2	d4.2	d-2.4	d4.0	d-2.4	d3.8	d-1.6	d5.2	d-2.2	d3.9	a-1.8	a4.7
Juni	d-1.2	a2.1	d-1.2	?1.7	d-1.2	?1.6	d-1.3	a4.1	d-1.2	a2.7	a-1.4	a4.2
Juli	c-1.1	a2.1	d-1.0	a2.5	d-1.1	a2.0	a-1.6	?4.7	d-1.2	a2.8	a-1.5	a4.2
August	c-1.3	a1.8	d-0.7	c2.2	d-0.9	c2.0	a-1.4	a3.8	d-0.8	a3.1	a-1.6	a4.6
Sept.	d-0.8	c1.5	d-0.9	a1.8	d-1.0	a1.6	a-1.3	a3.9	d-0.9	a3.3	a-1.8	a4.4
Okt.	d-2.0	d1.2	d-1.6	d1.9	d-1.8	d1.6	a-1.0	a3.6	d-1.3	a3.7	a-1.5	a3.9
Nov.	c-1.3	?1.7	c-1.2	?1.8	c-1.1	?1.8	d-1.3	a2.5	d-1.0	a2.8	d-1.7	c3.3
Dez.	d-1.8	c2.0	d-2.2	c2.1	d-2.2	?1.9	d-2.2	c2.4	d-2.2	a3.2	d-2.9	a4.0
Jahr	c-4.4	d4.2	b-4.1	d4.0	b-4.4	d3.8	b-3.1	a5.4	d-2.2	c4.6	d-2.9	a5.2

a, b, c, d: Ursachen (im Text unter a), b), c) und d) beschrieben)

wurde der Psychrometereffekt mit Laborversuchen nachgewiesen (4), wo die Verdunstungskälte bis zu etwa ein Grad zu tiefen Temperaturen führte.

Ein ähnlich markanter Psychrometereffekt trat auch am 15.1.81 bei der Wild'schen Hütte auf (-2.5 Grad zu tiefe Temperaturen), nachdem der Temperaturfühler nach starken Schneeschauern und Schneetreiben bei einer Schneehöhe von ca. 1.5 m wahrscheinlich mit Schnee verklebt war und der Schnee am Messfühler bei über 0 Grad steigenden Lufttemperaturen schmolz und verdunstete.

c) Rasche Luftmassenwechsel in Verbindung mit Frontdurchgängen:

Die Hüttentemperaturen passten sich den neuen Lufttemperaturen mit Verspätung an. Bei Kaltfrontdurchgängen führte dies zu extrem zu hohen Lufttemperaturen, bei Warmfrontdurchgängen waren zu tiefe Hüttentemperaturen die Folge.

Die Reaktion der Hütten auf einen raschen Einbruch warmer Luft nach mehrtägiger Auskühlung zeigt Fig. 9. Dem 3.2.81 ging unter Einfluss eines Hochs eine Nebelphase mit Temperaturen zwischen -5 bis -9 Grad voraus. Der Windmesser war bereits seit dem 31.1. eingefroren, der Boden ununterbrochen schneebedeckt. Die Hütten waren ausgekühlt, die Lamellen vielleicht sogar mit Rauhreif stellenweise verstopft. Mit Einbruch der Warmluft stiegen die Temperaturen sprunghaft an, unterstützt durch einsetzende Besonnung. Der stärkste Anstieg setzte nach ca. 11z ein (5 Grad in 30 Minuten). Wegen ihrem Trägheitsverhalten verzeichnete GRH in dieser Phase die grössten Abweichungen der Vergleichsperiode und lieferte bis 4.4 tiefere Temperaturen als das ventilierte Thermometer (VHT).

Auch ohne Luftmassenwechsel ergaben sich ähnlich extreme Differenzen zwischen VHT und den Hütten, falls die Sonneneinstrahlung nach einer Phase stärkerer Bewölkung plötzlich bei hohem Sonnenstand einsetzte. Wegen der grösseren Strahlungsempfindlichkeit trat dabei der Einfluss der thermischen Trägheit bei MIL weniger stark in Erscheinung als bei GRH, GRHM und KLH.

d) Kurze Temperaturschwankungen:

Diese konnten mit den Messungen in den verschiedenen Hütten wegen der Hüttenträgheit nicht erfasst werden. Die Gründe für solche Temperaturschwankungen waren in fast allen Fällen nicht aus den Messwerten ersichtlich.

Als Beispiel sind in Fig. 10 die kurzen Temperaturschwankungen VHT vom 22.5.80 festgehalten. Zwischen 0940 und 1010z stieg die Lufttemperatur wegen beginnender Sonneneinstrahlung um 3.6 Grad. Zwischen 1240 und 1440z fiel sie binnen Halbstundenfrist aus unbekanntem Gründen um ca. 3 Grad und stieg kurz darauf ebenso rasch um fast 4 Grad wieder an. Die Hütten machten diese Temperaturschwankungen nicht mit, was zu grossen Abweichungen zum ventilierten Thermometer führte.

Die grossen Differenzen gehen bei TUH und WILD vornehmlich auf die unter a) definierten Wetterbedingungen zurück. Für die grossen Abweichungen der Holzhütten sind hauptsächlich die Bedingungen c) und d) verantwortlich.

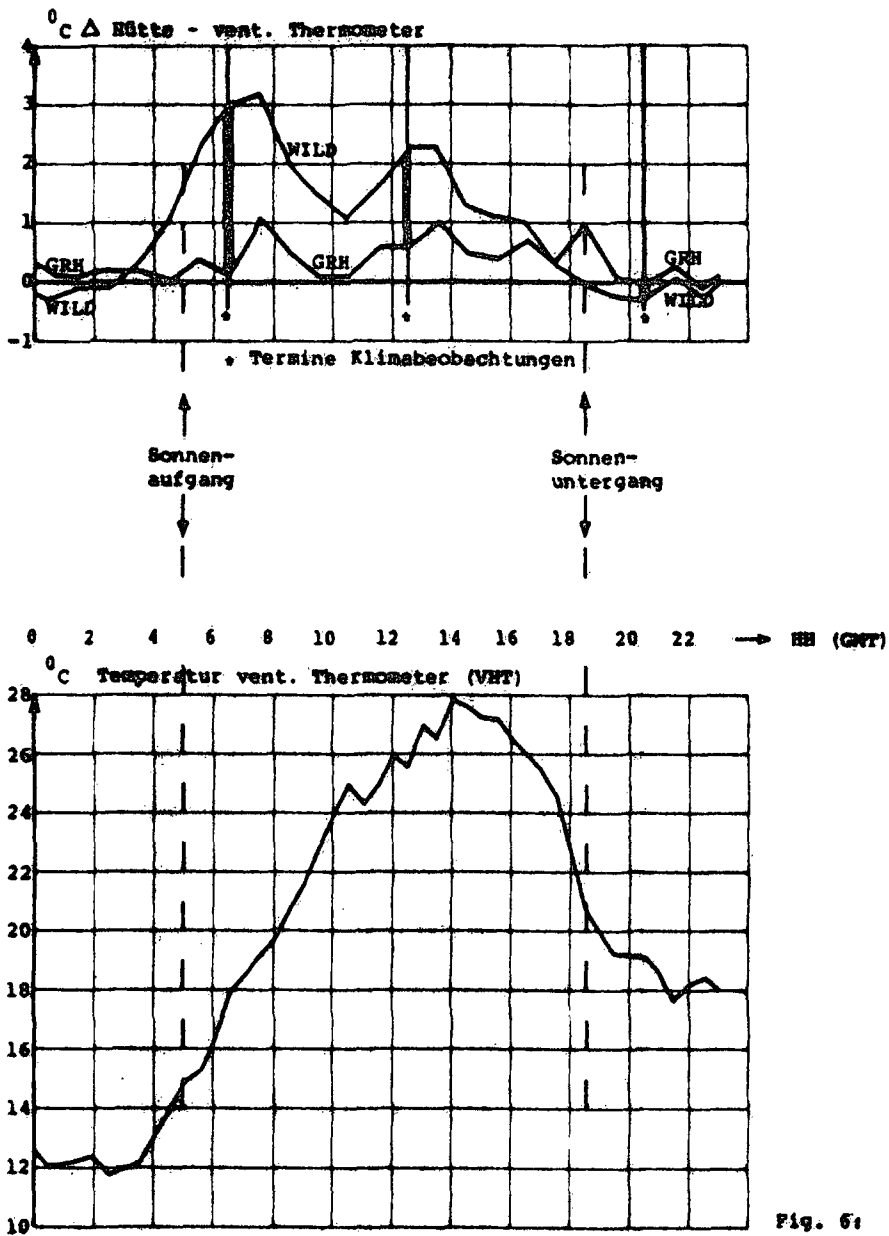
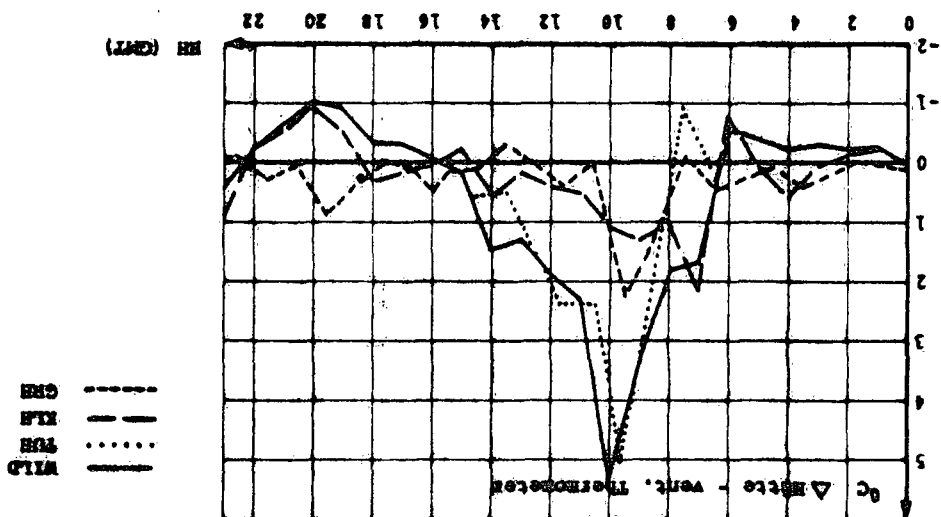
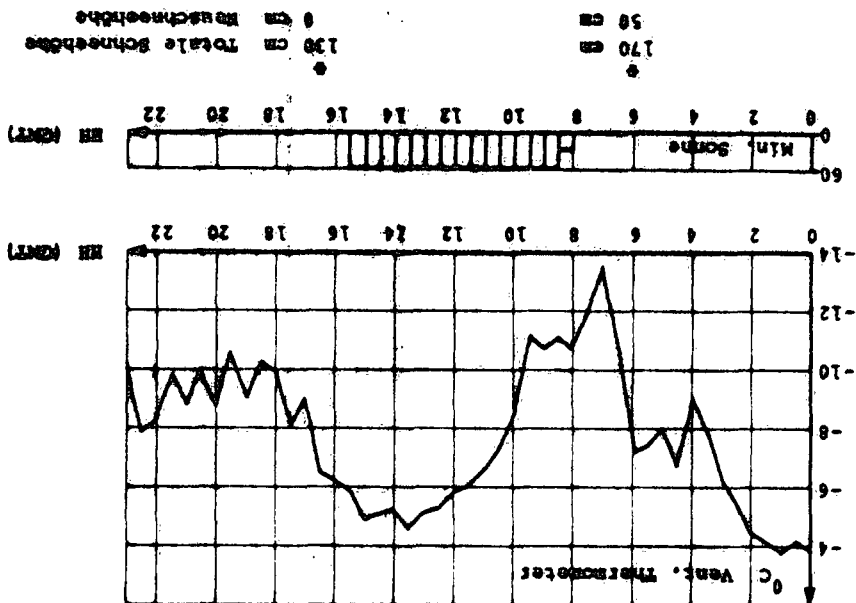


Fig. 6:
Temp.differenzen WILD - TLH
GRH - TLH
an einem windschwachen
Schönwettertag im Sommer
(18. Juli 1979)

Temperaturverlauf an einem windstarken
 Wintertag mit hohem Schnee (8. Jan. 1961)

Fig. 71



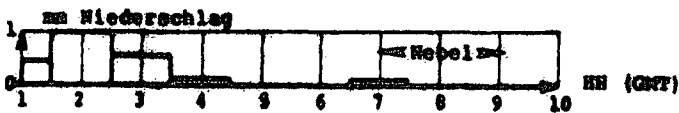
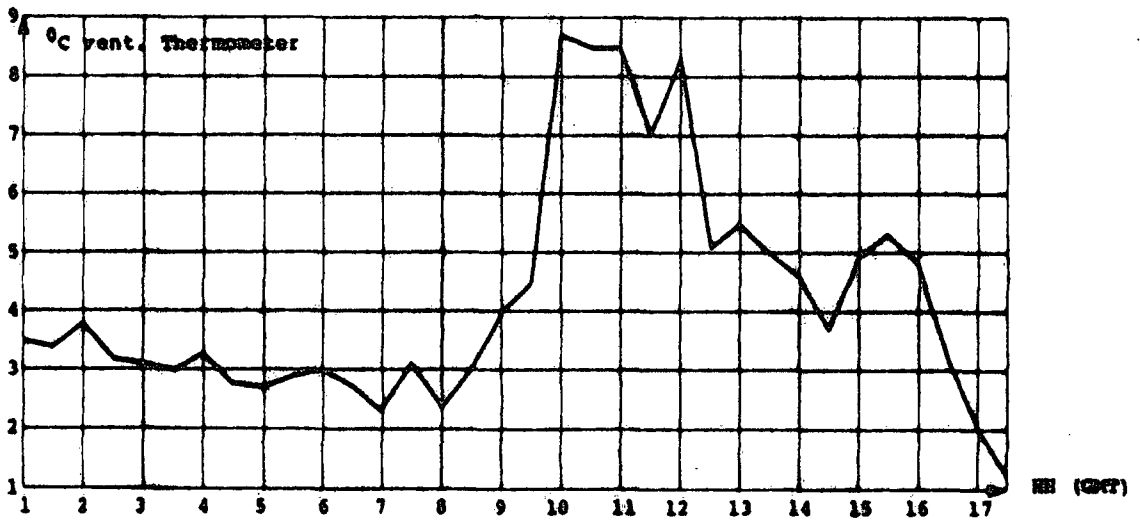
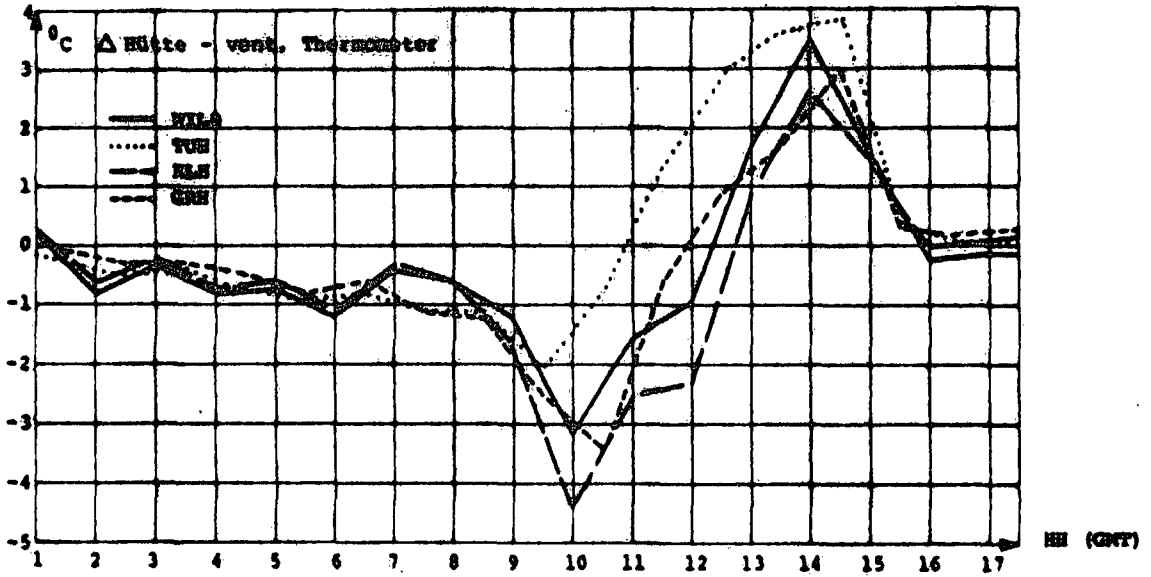


Fig. 8:
Psychromstereffekt Hütten
(25. Januar 1980)

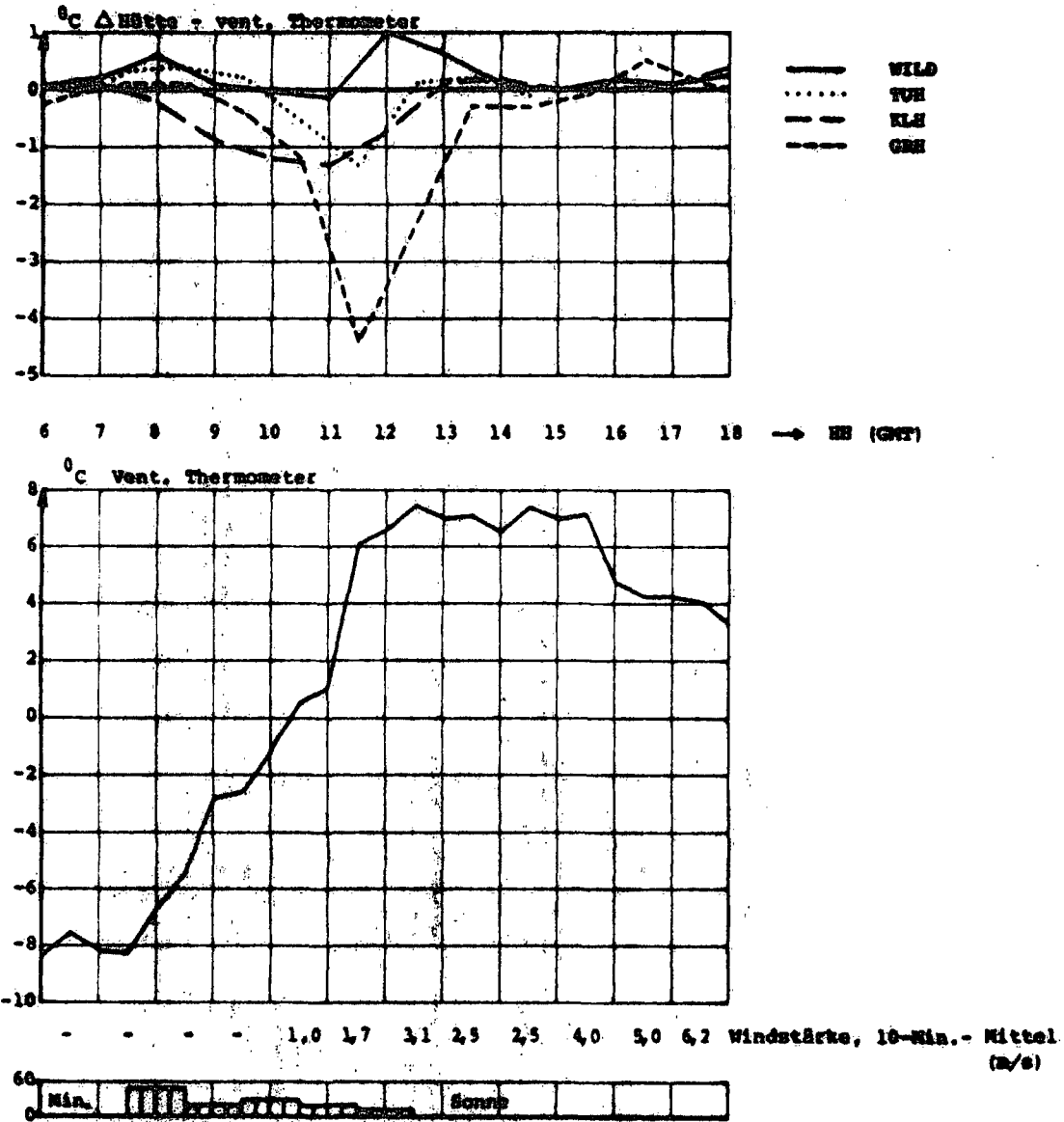


Fig. 9:
 Temperaturverlauf bei einem
 Warmlufteinbruch nach
 mehrtägiger Auskühlung
 (3. Februar 1981)

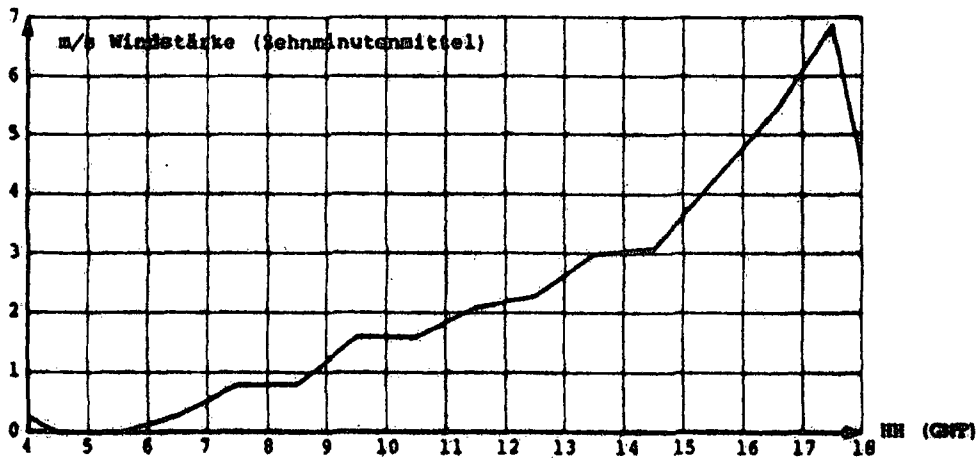
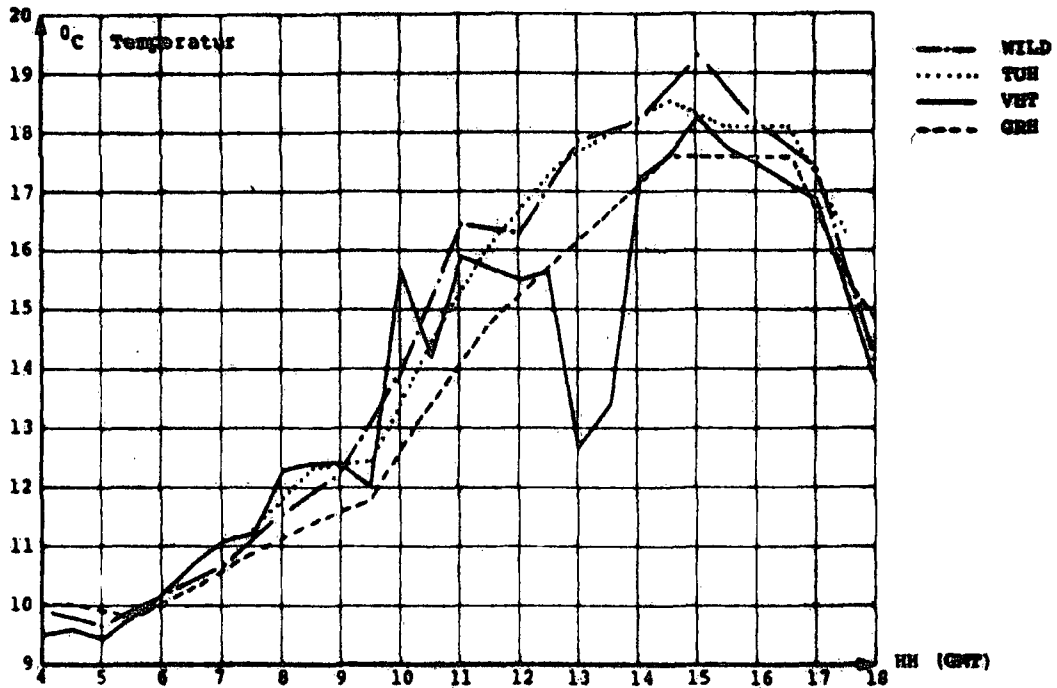


Fig. 10:
Reaktion der HÜTTEN auf kurze
Temperaturschwankungen
(22. Mai 1980)

2.4. Differenzen der täglichen Temperaturmaxima und -minima

Tab. 5 und 6 enthalten die mittleren monatlichen Differenzen zwischen den täglichen Temperaturextremwerten der verschiedenen Hütten und des ventilierten Thermometers. Pro Tag wurden die stündlichen Messwerte der Periode von Mitternacht bis Mitternacht ausgewertet. Wegen der Stundenauf-
lösung sind die Extremwerte betragsmässig zu klein und mussten mit Hilfe von Tab. 7 korrigiert werden.

Tab. 5: Differenzen Tagesmaxima Hütte - ventiliertes Thermometer VHT im Jahresmittel (Grad C)

		GRH-VHT	GRHM-VHT	KLH-VHT
Winter (Okt.-März)	M	-0.1	0.1	0.0
	S	0.3	0.4	0.1
	Min.	-2.3	-2.5	-2.1
	Max.	1.5	2.3	1.6
Sommer (Apr.-Sept.)	M	0.0	0.2	0.2
	S	0.3	0.4	0.3
	Min.	-1.3	-1.3	-1.3
	Max.	1.1	1.9	1.9
Jahr	M	-0.1	0.1	0.1
	S	0.3	0.4	0.2
	Min.	-2.3	-2.5	-2.1
	Max.	1.5	2.3	1.9

		WILD-VHT	MIL-VHT	TUH-VHT
Winter (Okt.-März)	M	0.7	0.4	0.7
	S	0.7	0.5	0.8
	Min.	-2.1	-1.7	-1.5
	Max.	5.0	4.2	5.5
Sommer (Apr.-Sept.)	M	1.4	0.5	1.2
	S	1.4	0.7	0.9
	Min.	-0.9	-1.1	-0.9
	Max.	4.3	2.6	4.1
Jahr	M	1.1	0.5	1.0
	S	1.1	0.6	0.9
	Min.	-2.1	-1.7	-1.5
	Max.	5.0	4.2	5.5

M Mittelwert, S Standardabweichung, Min. Minimum, Max. Maximum

Tab. 6: Differenzen Tagesminima Hütte - ventiliertes Thermometer VHT
im Jahresmittel (Grad C)

		GRH-VHT	GRHM-VHT	KLH-VHT
Winter (Okt.-März)	M	0.1	0.2	0.0
	S	0.2	0.3	0.3
	Min.	-0.7	-0.7	-0.8
	Max.	1.6	2.5	2.3
Sommer (Apr.-Sept.)	M	0.4	0.4	0.2
	S	0.3	0.4	0.4
	Min.	-0.2	-0.6	-0.8
	Max.	2.0	2.0	1.7
Jahr	M	0.3	0.3	0.1
	S	0.2	0.3	0.4
	Min.	-0.7	-0.7	-0.8
	Max.	2.0	2.5	2.3

		WILD-VHT	MIL-VHT	TUH-VHT
Winter (Okt.-März)	M	-0.1	0.2	-0.2
	S	0.3	0.3	0.3
	Min.	-1.1	-0.8	-1.4
	Max.	1.9	2.1	1.3
Sommer (Apr.-Sept.)	M	0.2	0.4	0.0
	S	0.4	0.4	0.3
	Min.	-1.2	-0.8	1.0
	Max.	1.9	2.1	1.9
Jahr	M	0.0	0.3	-0.1
	S	0.4	0.4	0.3
	Min.	-1.2	-0.8	-1.4
	Max.	1.9	2.1	1.9

M Mittelwert, S Standardabweichung, Min. Minimum, Max. Maximum

Tab. 7: Aus Zehnminuten- minus aus Stundenwerten ermittelte Extremwerte (mittlere Differenzen mehrerer Stationen im Juli 83) (Grad C)

Temperaturmaximum	VHT	GRH	GRHM	KLH	MIL	WILD	TUH
Winter	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
Sommer	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4

Temperaturminimum	VHT	GRH	GRHM	KLH	MIL	WILD	TUH
Winter	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
Sommer	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3

Im Mittel aller Monate erreichten alle Holzhütten weniger tiefe Tagesminima als das ventilierete Thermometer (Tab. 6). Die Tagesminima sind in den Holzhütten im Sommer 0.2 bis 0.4 Grad, im Winter 0 bis 0.2 Grad weniger tief als jene des ventilierten Thermometers. Im Gegensatz zu den Metallhütten dämpfen die Holzhütten die Tagesminima.

Bei den Tagesmaxima ist das Verhalten der Holzhütten nicht gleichartig. Die Tagesmaxima werden im Mittel nur durch GRH gedämpft. Wesentlich verstärkt werden die Tagesmaxima durch MIL und ganz besonders durch die strahlungsempfindlicheren Metallhütten WILD und TUH, deren Abweichungen gegenüber VHT stark von der Jahreszeit abhängen. Die Tagesmaxima von WILD und TUH sind im Sommerhalbjahr durchschnittlich über 1 Grad, im Winter über 0.5 Grad höher als diejenigen des ventilierten Thermometers.

Die Ursachen für die grössten Differenzen zwischen den Extremwerten der Hütten und des ventilierten Thermometers sind dieselben wie für die Stundenwerte (vgl. Kap. 3.3). So wurden beispielsweise die am stärksten überhöhten Tagesmaxima in allen Hütten am 9.1.81 erreicht, einem windschwachen, sonnigen Wintertag mit Schneehöhen über 1 m (vgl. Fig. 7). Die Trägheit der Hütten wirkte sich besonders dann noch deutlich aus, wenn sich die Extremwerte VHT kurz vor Mitternacht, jene der Hütten aber erst nach Mitternacht einstellten und nicht mehr zum selben Auswertetag gehörten.

In Tab. 8 werden die Tagesextrema WILD und GRH verglichen. Die Wild'sche Hütte weist das ganze Jahr über im Mittel leicht tiefere Tagesminima auf als GRH. Die Tagesmaxima sind bei WILD während des Winterhalbjahres durchschnittlich ca. 0.6 Grad, im Sommerhalbjahr 1.3 Grad höher als bei GRH.

2.5. Einfluss unpunktlicher Thermometerablesungen

Die Beobachter der konventionellen Klimastationen lesen dreimal täglich das Stationsthermometer ab. Die Pünktlichkeit der Ablesungen kann kaum kontrolliert werden. Nur bei den Bulletin-Stationen können zu späte Beobachtungen auffallen, da die Beobachtungen in Form von Wettermeldungen zeitgerecht an die SMA zu übermitteln sind. Anhand der halbstündlichen Messungen des ventilierten Thermometers in Payerne wurde deshalb versucht, den Einfluss von 30 Minuten zu früh ausgeführten Ablesungen an folgenden Terminen (GMT) abzuschätzen:

Termin HH	Ablesezeit (GMT) Konvent. Klimastation		Messzeitpunkte ASTA (GMT)	
			HH-20 <pünktlich>	HH-50 <unpünktlich>
6	0545	Bulletin, Synop	0540	0510
7	0630	Klima	0640	0610
12	1145	Bulletin, Synop	1140	1110
13	1230	Klima	1240	1210
18	1745	Bulletin, Synop	1740	1710
19	1830	Klima	1840	1810

Tab. 9 stellt die ermittelten Unterschiede der Temperatur des ventilerten Thermometers HH-50 - HH-20 dar. Falls ein Beobachter eine halbe Stunde zu früh, d.h. um HH-50 statt HH-20 beobachtet, so hat dies im Mittel folgende Auswirkungen auf die abgelesenen Temperaturwerte:

- Morgens im Sommer Temperatur ca. 0.5 Grad zu tief, da die Sonne -z.T. seit längerer Zeit- aufgegangen ist und man sich im steilen Temperaturanstieg befindet.
- im Winter Unpünktlichkeit spielt eine geringe Rolle. Die Sonne ist noch nicht oder eben erst aufgegangen. Die Ablesetermine befinden sich im flachen Bereich des Temperaturtagesanges um das Temperaturminimum herum.
- Mittags im Sommer und Winter Temperatur ca. 0.3 Grad zu tief. Man befindet sich im flacheren Temperaturanstieg vor dem Tagesmaximum.
- Abends im Winter Temperatur nur ca. 0.2 Grad zu hoch, da die Sonne bereits seit einiger Zeit untergegangen ist und der Temperaturabfall sich abgeschwächt hat.
- im Sommer Temperatur ca. 0.7 Grad zu hoch. Die Sonne ist am untergehen. Die Ablesungen fallen in steilsten Bereich des Temperaturabfalles.

30 Minuten zu früh ausgeführte Beobachtungen führen demnach v.a. im Sommer bei der Morgen- und Abendbeobachtung zu sehr grossen Fehlern, die ein halbes Grad übersteigen können. Im Maximum hätten im September 1980 bei der Abendbeobachtung im Monatsmittel sogar 1.3 Grad zu hohe Temperaturen resultiert, wenn die Temperatur um 1710 Uhr (GMT) statt 1740 Uhr gemessen worden wäre.

An den meisten Klimastationen SMA sind grosse Holzhütten (GRH) eingesetzt. Die dort wegen Unpünktlichkeit auftretenden wirklichen Fehler sind wegen der Trägheit der Hütte eher etwas kleiner anzunehmen, als mit dem ventilerten Thermometer berechnet.

Tab. 8: Monatliche Differenzen Tagesextrema WILD - GRH (Grad C)

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temp.minimum	-0.1	-0.1	-0.1	0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
Temp.maximum	0.6	0.5	0.7	1.1	1.3	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	0.5	0.5	0.9

Tab.9: Temperaturdifferenz zwischen pünktlich und 30 Minuten zu früh ausgeführter Terminablesung (HH-50 - HH-20, ventiliertes Thermometer) (Grad C)

Termin HH (GMT)		6	7	12	13	18	19
Winter (Okt-Mär)	M	0.0	0.0	-0.3	-0.2	0.3	0.2
	S	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
Sommer (Apr-Sep)	M	-0.4	-0.6	-0.4	-0.3	0.6	0.7
	S	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2
Jahr	M	-0.2	-0.4	-0.3	-0.3	0.5	0.5
	S	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3

M Gesamtmittel Juli 1979 - Juni 1981, S Standardabweichung

3. Stationsvergleich unter Berücksichtigung verschiedener Hüttentypen

=====

3.1. Grundlagenmaterial

Zur Erfassung der Temperaturunterschiede zwischen dem ventilierten Thermometer VHT und einigen Wetterhüttentypen wurden die stündlichen Terminwerte und die täglichen Extremwerte folgender Stationen in einen Vergleich mit- einbezogen:

-Stationen mit grosser Holzhütte auf Holzbock (GRH):
Payerne (PAY), Sion (SIO), Davos (DAV), Gütsch (GUE), Basel (BAS), Schaff-
hausen (SHA), Bern (BER; kein Holzbock, sondern Metallfüsse)

-Stationen mit grosser Holzhütte auf Metallsockel (GRHM):
Kloten (KLO), San Bernardino (SBE)

-Stationen mit kleiner Holzhütte auf Holzpfehl (KLH):
Säntis (SAE), Zermatt (ZER), Visp (VIS), Rünenberg (RUE), Engelberg (ENG)

Der Vergleich der Tagesextrema basiert auf Zehnminutenwerten, jener der Terminwerte auf Stundenwerten.

Der Wärmerekordmonat Juli 1983 war für einen Standortvergleich in besonderem Masse geeignet, weil praktisch während des ganzen Monats und in allen Regio-
nen der Schweiz einheitliches, extremes Strahlungswetter herrschte.

3.2. Stündliche Temperaturdifferenzen

3.2.1. Monatsmittel

Im allgemeinen zeigten sich grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen, so dass es schwerfällt, typische Eigenschaften der einzelnen Hütten oder des ventilierten Thermometers zu erkennen. Standortgebundene Unterschiede waren bei den Extremwerten und bei den stündlichen Terminwerten zum vornherein zu erwarten. Erstaunlich sind aber die grossen Differenzen zwischen den Monatsmitteln der einzelnen Stationen (Tab. 10).

Das Monatsmittel der Differenzen GRH - VHT in Payerne ist im Juli 83 und im Juli 79/80 fast gleich gross. Für Sion und Gütsch sind die Standard-
abweichungen überdurchschnittlich gross. Zumindest ein zeitweises Fehl-
verhalten des ventilierten Thermometers ist dort wahrscheinlich. Darauf
deuten auch grosse Temperatursprünge zwischen aufeinanderfolgenden
Zehnminutenintervallen hin (z.T. über 5 Grad). In Visp hat sich nach-
träglich gezeigt, dass wegen fehlerhaftem Thermistor das ventilierte
Thermometer systematisch 0.5 bis 1.0 zu tiefe Temperaturen ermittelte.

Die Schwankungen zwischen den mittleren monatlichen Differenzen GRH - VHT an den einzelnen Stationen werden erst mit Berücksichtigung des Tagesganges der Differenzen verständlich (vgl. Kap. 3.2.2.).

Tab. 10: Mittlere stündliche Temperaturdifferenzen Hütte - ventiliertes Thermometer im Juli 1983 (Grad C)

Hüttentyp	Stationen						
GRH	PAY	SIO	GUE	BER	DAV	BAS	SHA
	0.20	0.39	-0.22	-0.02	0.48	0.42	0.15
GRHM	KLO	SBE					
	0.25	0.34					
KLH	ZER	ENG	SAE	RUE	VIS		
	-0.15	0.10	0.27	0.20	0.82		

3.2.2. Terminmittel

In Fig. 11 bis 13 sind die stündlichen Differenzen Hütte - ventiliertes Thermometer VHT als mittlerer monatlicher Tagesablauf dargestellt. Die Standardabweichungen schwankten, ausser bei den Stationen SIO und GUE mit zeitweise fehlerhaftem VHT, zwischen 0.3 und 0.5 Grad.

Die Differenzen der Stationen PAY, SIO, GUE, BER, KLO, SBE, ZER und ENG weisen einen ähnlichen Tagesgang auf. Dieser wird zu einem wesentlichen Teil durch das Trägheitsverhalten der Hütten geprägt. Unter der Voraussetzung, dass die Trägheit des VHT vernachlässigbar klein ist, wird die Differenz zur trägeren Hütte dann besonders gross, wenn sich die Lufttemperatur pro Zeiteinheit rasch ändert. Beim steilen Temperaturanstieg in den Stunden nach Sonnenaufgang bleibt die Temperatur in der Hütte hinter jener des VHT zurück, beim Temperaturfall nach Sonnenuntergang bleiben die Hüttentemperaturen einige Stunden lang überhöht. Am besten ist dies an Tagesgängen der Stationen GUE und ZER zu sehen (Fig. 11 und 13).

Die Trägheit der Hütten lässt sich durch einen Trägheitskoeffizienten (a) charakterisieren, der durch die Gleichung

$$T_H - T = -a \frac{dT}{dt}$$

definiert wird (5). T_H ist die Lufttemperatur in der Hütte, T die wahre Temperatur der umgebenden Luft und $\frac{dT}{dt}$ die Änderung der Temperatur T pro Zeiteinheit. Für T kann man als Näherung die Temperatur VHT einsetzen. Mit $T_H - T = y$ und $\frac{dT}{dt} = x$ wurde für die Stationen mit typischem Tagesgang von y die Abhängigkeit y/x in den Fig. 14 und 15 aufgezeichnet und mittels Regressionsgerade

$$y = -a x + b$$

beschrieben. b ist ein Mass für die nicht durch die Hüttenträgheit

erklärbaren Einflüsse auf die Temperaturdifferenz Hütte - VHT. Als y- und x- Werte wurden für jede Station die 24 stündlichen Terminwerte im Monatsmittel sowie für dt Stundenschritte benutzt. Am Vormittag bestimmte bei praktisch allen Stationen der Strahlungseinfluss die Differenz y. Die entsprechenden Datenpaare wurden nicht in die Regressionsrechnung miteinbezogen.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Temperaturdifferenz Hütte - VHT und der Temperaturänderung in der vorangegangenen Stunde schwanken zwischen -0.71 und -0.95. Sie beweisen den grossen Einfluss der Hütten-trägheit auf die Temperaturdifferenzen.

Der Trägheitskoeffizient der untersuchten Hütten scheint kaum vom Hüttentyp abhängig zu sein. Er beträgt zwischen 11 Minuten (PAY) und 16 Minuten (SBE,ZER). Ein aussergewöhnlicher Wert ergibt sich nur für GUE (28 Minuten).

Setzt man die mittleren gemessenen Temperaturänderungen pro Stunde in die berechneten Regressionsgleichungen ein, so erhält man den theoretischen Tagesgang der wegen Hütten-trägheit zu erwartenden Temperaturdifferenzen Hütte - VHT. Dieser ist in den Fig. 11, 12 und 13 ebenfalls eingezeichnet. Bei den Stationen PAY, BER, SIO, KLO, SBE und ENG zeigt sich deutlich, wie der Strahlungseinfluss die Wirkung der Hütten-trägheit vor allem am Vormittag mehr als kompensiert und die Temperaturen in der Hütte über diejenigen des VHT anhebt. In Sitten wird ein systematischer Unterschied zwischen der theoretisch zu erwartenden und der wirklich auftretenden Temperaturdifferenz von ca. 0.3 Grad deutlich. Auf die vermutliche Fehlfunktion des dortigen ventilierten Thermometers wurde bereits in Kap. 3.2.1. hingewiesen.

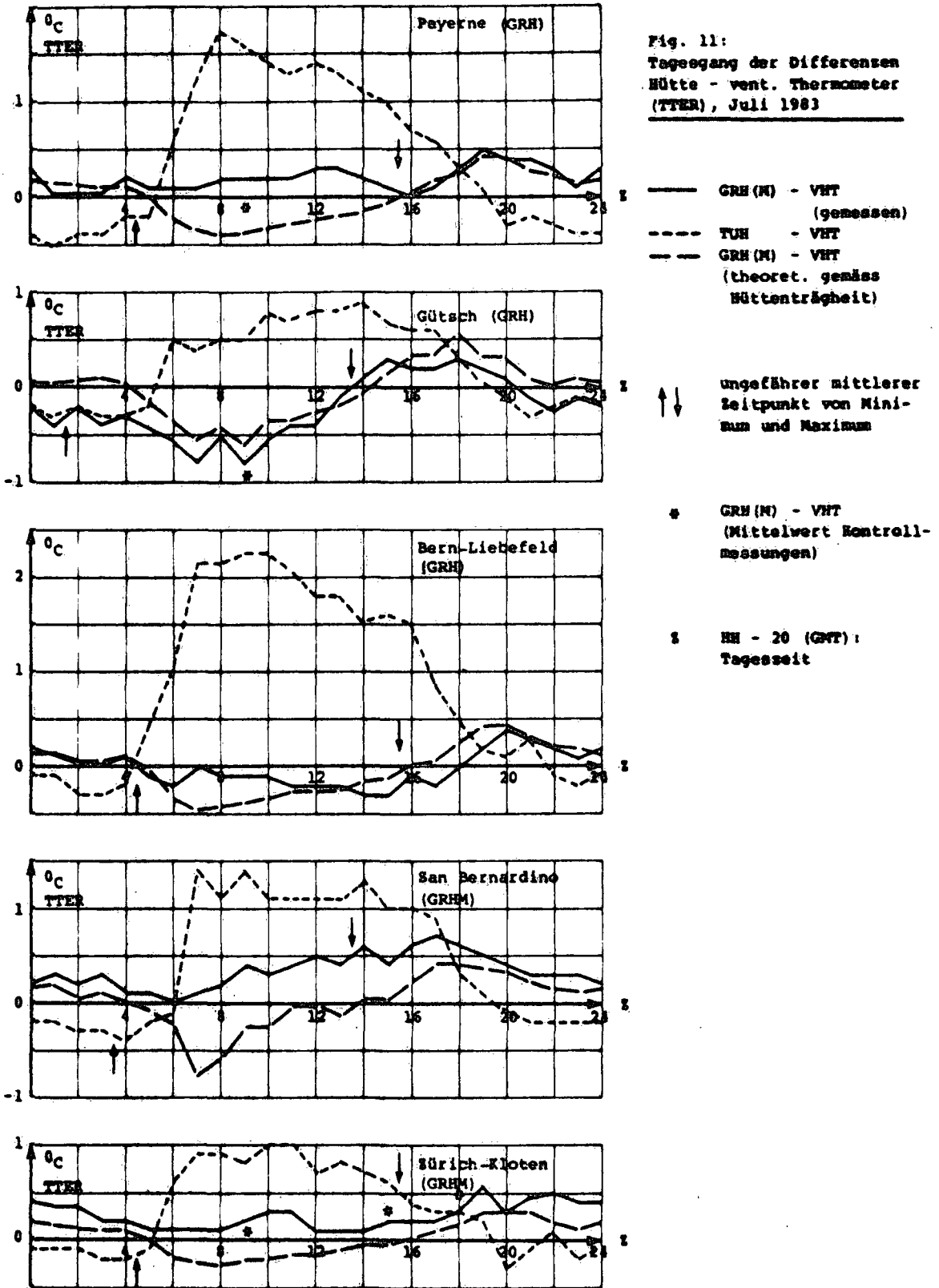
In ähnlichen früheren Untersuchungen wurde in den Trägheitskoeffizienten a vielfach auch der Einfluss der Windgeschwindigkeit v in der Form

$$a = a' / \sqrt{v}$$

miteinbezogen (4). Ein entsprechender Versuch mit den Messwerten des Juli 83 erbrachte keine Verbesserung der Korrelation y/x, unabhängig davon, ob für v eine momentane, mittlere oder maximale Windgeschwindigkeit verwendet wurde. Die Windgeschwindigkeiten waren selbst auf der Messhöhe von 10 m über Boden im Mittel gering (1 - 2 m/s) und von vermutlich kleiner Repräsentativität für die Ventilation im Hüttenniveau. Die Windverhältnisse an den einzelnen Stationen unterschieden sich kaum; sie schwankten auch im Tagesablauf trotz leichter Zunahme am Nachmittag (durchschnittliche Geschwindigkeit 2 - 3 m/s) wenig.

Die Differenzen Hütte - VHT weisen an den Stationen DAV, BAS, SHA (Fig. 12), SAE und RUE (Fig. 13) keinen mit der Hütten-trägheit erklärbaren Tagesgang auf. Für SAE wird die korrekte Funktion VHT durch die gute Übereinstimmung mit einem parallel betriebenen, zweiten ventilierten Thermometer belegt. Den Hüttenaufstellungen der Stationen DAV, SHA und SAE ist als gemeinsamer Standortfaktor die Nähe von tagsüber wirksamen Wärmequellen mit entsprechenden Strahlungseigenschaften eigen:

DAV: Hütte (Spezialtyp mit nach S abfallendem Giebeldach) auf schmaler windgeschützter Terrasse nahe einer grossen, asphaltierten Parkfläche. VHT oberhalb der Terrasse auf windexponierter Anhöhe.



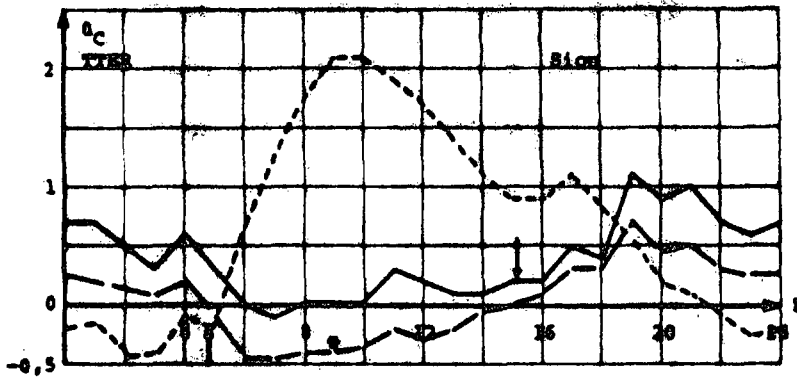
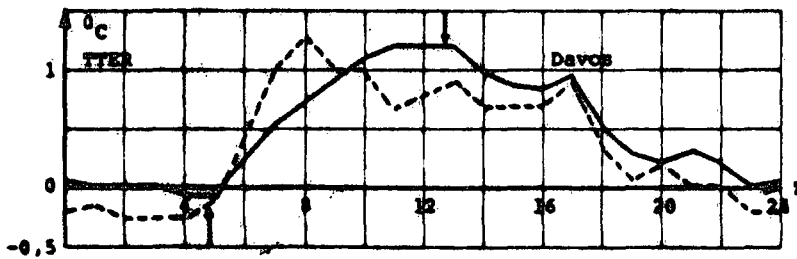


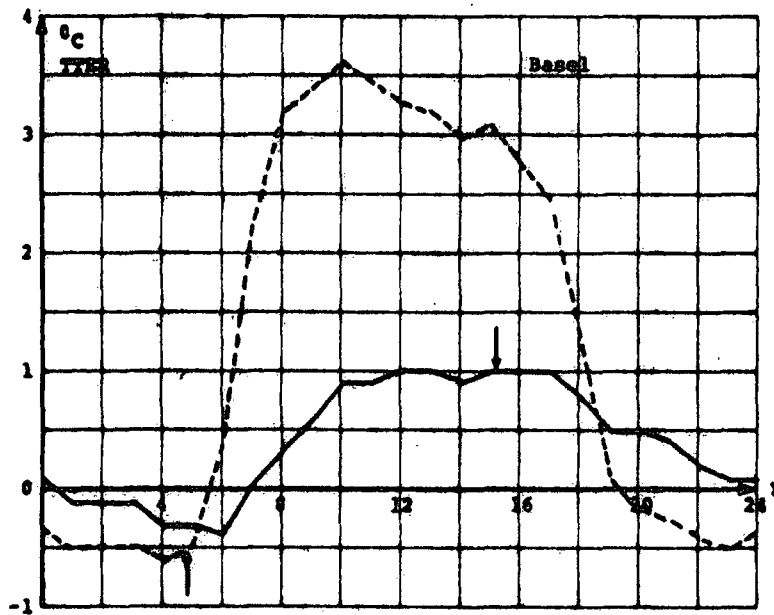
Fig. 12:
Tagesgang der Differenzen
Hütte - vent. Thermometer
(TTEB), Juli 1963

— GKH - VHT (gemessen)
- - - YUH - VHT
- · - GKH - VHT (theoret.
gemäß Hütten-
trägeit)

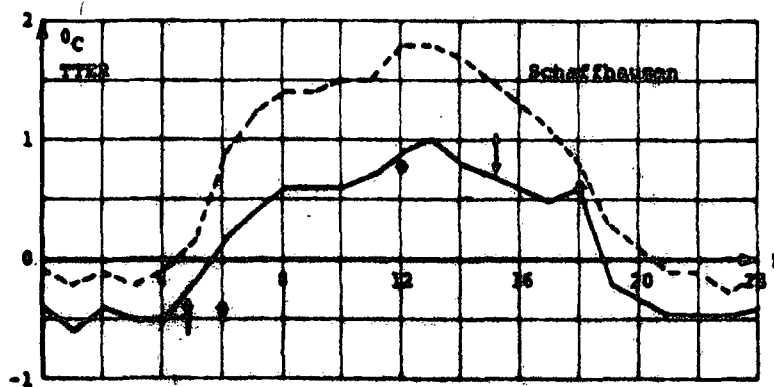


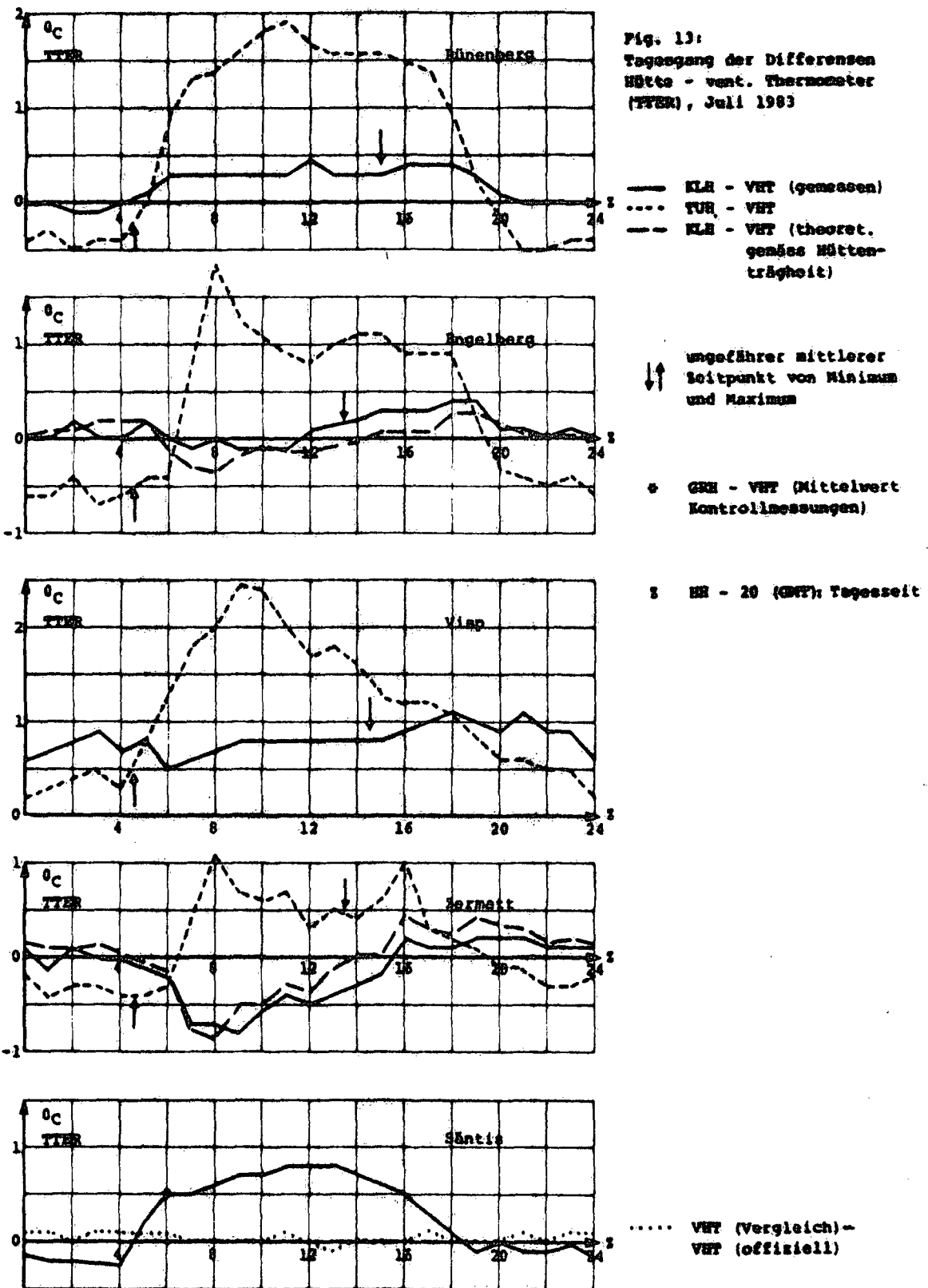
↑ ↓ ungefährer mittlerer
Zeitpunkt von Minimum
und Maximum

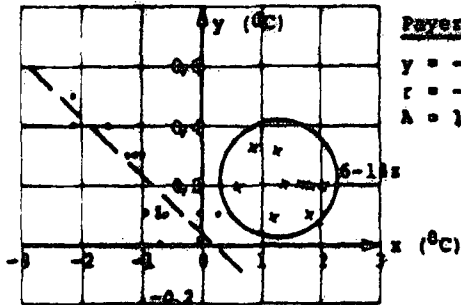
• GKH - VHT (Mittelwert
Kontrollmessungen)



⊗ HH - 20 (GHT):
Tageszeit



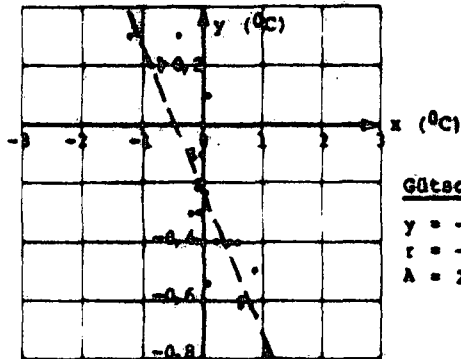




Payerne (GRH)
 $y = -0,19 x + 0,04$
 $r = -0,84$
 $A = 11,4$

Fig. 14:
 Zusammenhang zwischen
 Temp.differenz Hütte - vent.
 Thermometer (y) und Änderung
 der Temp. in der vorangegangenen
 Stunde (x), Juli 1963

• in Regressionsrechnung berücksichtigte Datenpaare

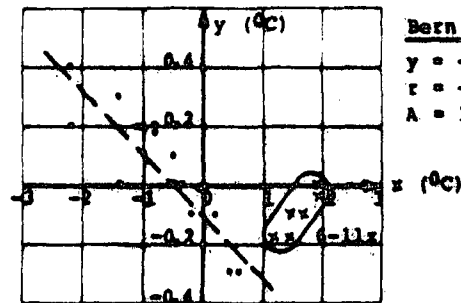


Gütisch (GRH)
 $y = -0,51 x - 0,23$
 $r = -0,92$
 $A = 28,2$

⊗ in Regressionsrechnung wegen
 Strahlungseinfluss nicht
 berücksichtigte Datenpaare
 (Zeitspanne in GMT)

x positiv bei Temperaturanstieg
 in vorangegangener Stunde
 negativ bei Temperaturfall
 in vorangegangener Stunde

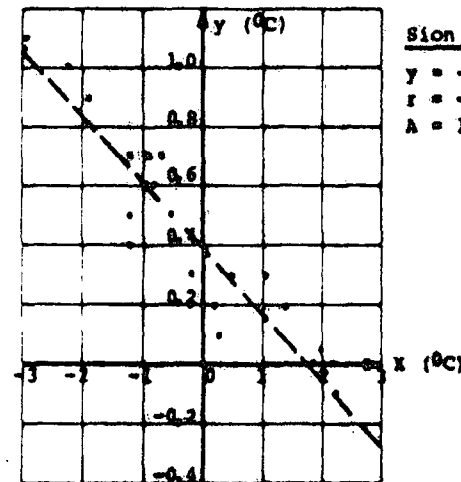
r Korrelationskoeffizient x/y



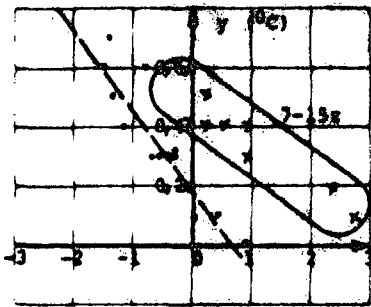
Bern (GRH)
 $y = -0,21 x - 0,11$
 $r = -0,84$
 $A = 12,6$

A Trägheitskoeffizient
 Hütte (Minuten)

--- Regressionsgerade



Sion (GRH)
 $y = -0,22 x + 0,39$
 $r = -0,93$
 $A = 13,2$



San Bernardino (GRHM)

$y = -0,27 x + 0,18$
 $r = -0,90$
 $A = 16,2$

Fig. 15:

Zusammenhang zwischen Temp.differenz Hütte - vent. Thermometer (y) und Änderung der Temp. in der vorangegangenen Stunde (x), Juli 1963

• in Regressionsgleichung berücksichtigte Datenpaare

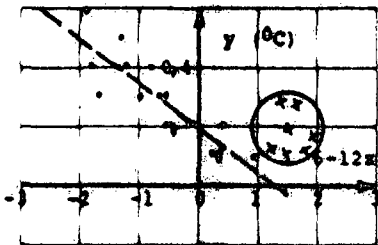
⊗ in Regressionsgleichung wegen Strahlungseinfluss nicht berücksichtigte Datenpaare (Zeitspanne in GMT)

x positiv bei Temperaturanstieg in vorangegangener Stunde
negativ bei Temperaturfall in vorangegangener Stunde

r Korrelationskoeffizient

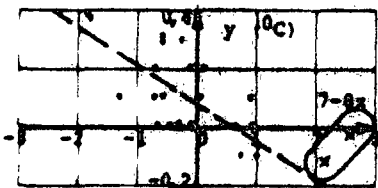
A Trägheitskoeffizient (Minuten)

--- Regressionsgerade



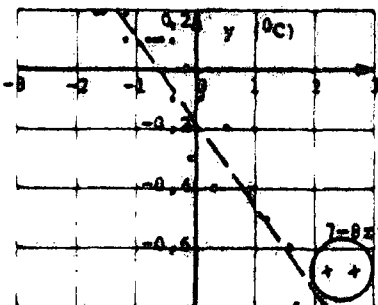
Zürich-Kloten (GRHM)

$y = -0,15 x + 0,19$
 $r = -0,85$
 $A = 9,0$



Engelberg (KLH)

$y = -0,13 x + 0,08$
 $r = -0,71$
 $A = 7,8$



Zermatt (KLH)

$y = -0,28 x - 0,17$
 $r = -0,95$
 $A = 16,8$

SHA: Hütte ca. 5 m westlich eines leicht gegen die Hütte geneigten Ziegeldaches, etwa auf gleicher Höhe mit diesem. VHT ausserhalb Einflussbereich des Daches.

SAE: Hütte und VHT auf südexponierter Betonterrasse, nahe an Südfassade des PTT-Neubaus.

Für den Tagesgang der Differenzen in RUE konnte bisher keine gesicherte Erklärung gefunden werden. Als mögliche Ursache kann der beobachtete starke Dunst mit grossem diffusen Strahlungseinfall und entsprechend grösserer Erwärmung der Hütte in Erwägung gezogen werden. Allerdings trat Dunst auch an anderen Stationen, aber ohne dieselbe Wirkung auf.

Leider erwiesen sich die Kontrollmessungen, die routinemässig an allen Stationen durch die Beobachter parallel zu den Automatenmessungen durchzuführen sind, für weitere Erklärungsversuche als unbrauchbar. Ihre Häufigkeit (meist zwei- bis dreimal pro Woche, wechselnde Termine) ist an vielen Stationen zu gering. Ausserdem sind sie manchmal mit Ablese- oder Eingabefehlern behaftet. Führt der Beobachter die Kontrollmessungen zu Zeiten mit raschen Temperaturänderungen durch, reicht die durchschnittliche Verzögerung der Eingabe gegenüber der Messung aus, um eine vernünftige Interpretation der Differenz zwischen Automatenwert und Handablesung zu verunmöglichen. Kontrollmessungen sollten deshalb regelmässig zu festen Terminen und zu Zeiten ohne grosse Temperaturänderungen durchgeführt werden. Für SHA und SAE waren diese Voraussetzungen meist erfüllt (Ausnahme morgendliche Kontrollmessungen SHA), Automaten- und Handmessung stimmen gut überein (Fig. 12 und 13). Dadurch kann eine fehlerhafte Befestigung des Thermistors und seines Zuleitungskabels als Ursache für die tagsüber überhöhten Hüttentemperaturen mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

In Fig. 11 bis 13 sind auch die Tagesgänge der mittleren stündlichen Temperaturdifferenzen TUH - VHT eingezeichnet. Charakteristisch sind an allen Stationen mit korrekt arbeitendem VHT (Ausnahme VIS) die negativen Werte nachts, welche auf die starken Wärmeverluste der kleinen Metallhütte TUH infolge langwelliger Abstrahlung zurückzuführen sind. Die tagsüber auftretenden Differenzen ergeben an den verschiedenen Stationen kein einheitliches Bild.

In BAS sind die übergrossen Differenzen von GRH und TUH zu VHT teilweise mit einer ungenügenden Kabelzuführung zu den Thermistorenfühlern zu erklären: Die letzten 50 cm des Zuleitungskabels zum Thermistor sind wegen möglicher Wärmezuleitung zum Fühler temperaturempfindlich. In Basel war dieser Leitungsabschnitt im Innern von GRH längs der Hüttensüdwand geführt, wo ein stärkerer Temperatur-Tagesgang zu erwarten ist. Bei TUH war das schwarze, temperaturempfindliche Zuleitungskabel sogar in Form einer Schlaufe unterhalb der Metallhütte direkt der Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Daneben mag in BAS die windgeschützte Lage inmitten von kleineren Gebäuden, Gebüsch und Bäumen eine wichtige Rolle gespielt haben. Auch der Wärme- und Strahlungseinfluss der Gebäude und des vorbeiführenden, asphaltierten Fussweges auf die nahen Hütten ist nicht zu vernachlässigen.

3.3. Differenzen der täglichen Temperaturmaxima und -minima

Tab. 11 und 12 enthalten die durchschnittlichen Differenzen Hütte - VHT der Tagesmaxima (TMAX) und -minima (TMIN). Wie schon bei den mittleren Differenzen der Terminwerte sind beim Verhalten der einzelnen Holzhütten-typen keine eindeutigen Unterschiede erkennbar.

Die Tagesminima traten im allgemeinen zwischen 3 und 5z (GMT) auf, die Tagesmaxima bei Flachlandstationen ca. um 14 bis 15z, bei Gebirgsstationen etwas früher.

Eigentlich müsste in der Zeitspanne des Auftretens der Extremwerte die Differenz der Terminwerte (TTER) der Differenz der Extremwerte (TMAX, TMIN) entsprechen. Zwischen TMAX/TMIN und TTER bestehen aber im Mittel folgende Unterschiede:

$$TMIN = TTER + 0.3 \text{ (ca.) (Grad C)}$$

$$TMAX = TTER - 0.2 \text{ (ca.) (Grad C)}$$

Die Differenzbeträge von 0.3 und -0.2 Grad C werden durch die grossen kurzzeitigen Schwankungen der Temperaturen VHT verursacht. Die Temperaturkurve der trägeren Hütten ist im Bereich der Extremwerte geglätteter. Fig. 16 und 17 illustrieren den Einfluss der Temperatursprünge VHT auf die Differenz der Extremwerte:

Am 16.7.83 wies GRH zwischen 15 und 16z im allgemeinen höhere Temperaturen auf als das ventilierte Thermometer (TTER positiv). Um 1530z führte vermutlich eine vom erhitzten Boden aufsteigende Warmluftblase zu einem hohen Zehnminutenwert des VHT. Das dadurch erreichte Temperaturmaximum VHT überstieg das gleichzeitig auftretende, gedämpfte Maximum in der Hütte; TMAX wurde negativ.

Am 18.7.83 war das Temperaturniveau VHT zwischen 3 und 4z bereits tiefer als in der Hütte (TTER positiv). Das VHT erreichte um 0340z das Temperaturminimum infolge eines kurzen Temperaturfalles von ca. 0.6 Grad, der in der Hütte nur andeutungsweise nachvollzogen wurde; TMIN nahm gegenüber TTER deutlich zu.

Die aussergewöhnlich grosse mittlere Differenz der Tagesmaxima bei der Station Gütsch ist mit dem bereits diskutierten instrumentellen Fehler des ventilierten Thermometers zu erklären. Unter Strahlungseinfluss mass das VHT mangels ausreichender Ventilation im Mittel zu hohe Tagesmaxima. Der nur sporadisch auftretende Defekt hatte auf die mittleren Termin-differenzen Hütte - VHT einen weit geringeren Einfluss als auf die mittlere Differenz der Tagesmaxima.

In Payerne stimmen die mittleren Differenzen der Extrema GRH - VHT vom Juli 83 mit jenen aus der Vergleichsperiode 79/81 gut überein (Tab. 5 und 6, resp. 11 und 12).

Tab.11: Differenzen der Tagesmaxima Hütte - ventiliertes Thermometer im Monatsmittel Juli 83 (TMAX) (Grad C)

Grosse Hütte mit Holzbock (GRH):

	PAY	SIO	SHA	BAS	DAV	GUE
Mittel	-0.2	-0.2	0.6	0.7	1.1	-1.1
Standardabweichung	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	1.2
Maximum	0.3	0.5	1.2	1.3	2.0	1.7
Minimum	-1.0	-0.6	-0.1	-0.6	0.0	-3.5

Grosse Hütte mit Metallsockel (GRHM) oder -füssen (GRH):

	KLO	BER	SBE
Mittel	0.0	-0.5	0.0
Standardabweichung	0.5	0.3	0.4
Maximum	1.6	0.1	0.8
Minimum	-0.7	-1.1	-1.0

Kleine Hütte auf Holzpfahl (KLH):

	RUE	VIS	ZER	ENG
Mittel	0.2	0.6	-0.7	-0.3
Standardabweichung	0.3	0.2	0.4	0.4
Maximum	0.8	1.0	-0.1	0.6
Minimum	-0.4	0.0	-2.4	-1.4

Tab.12: Differenzen der Tagesminima Hütte - ventiliertes Thermometer im Monatsmittel Juli 83 (TMIN) (Grad C)

Grosse Hütte mit Holzbock (GRH):

	PAY	SIO	SHA	BAS	DAV	GUE
Mittel	0.5	0.8	-0.2	0.1	0.2	0.1
Standardabweichung	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.6
Maximum	0.9	1.7	1.0	0.7	0.7	1.6
Minimum	0.1	0.2	-1.1	-0.4	-0.2	-0.8

Grosse Hütte mit Metallsockel (GRHM) oder -füssen (GRH):

	KLO	BER	SBE
Mittel	0.5	0.3	0.6
Standardabweichung	0.3	0.3	0.3
Maximum	1.1	1.2	1.0
Minimum	0.1	-0.1	0.1

Kleine Hütte auf Holzpfahl (KLH):

	RUE	VIS	ZER	ENG
Mittel	0.2	1.2	0.4	0.5
Standardabweichung	0.2	0.4	0.2	0.3
Maximum	0.7	2.0	0.9	1.2
Minimum	-0.3	0.5	0.0	0.0

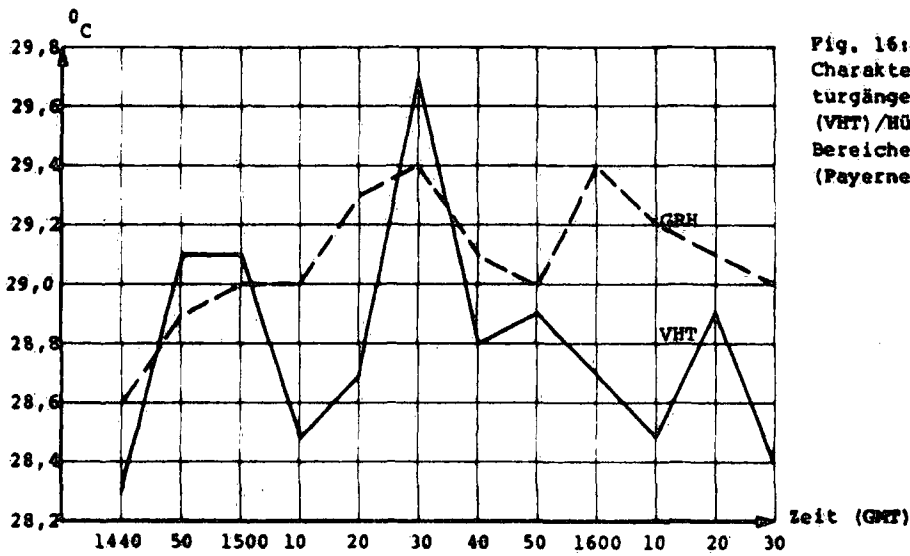


Fig. 16:
Charakteristische Temperaturgänge vent. Thermometer (VHT)/Hütte (GRH) in Bereiche des Tagesmaximums (Payerne, 16. Juli 1983)

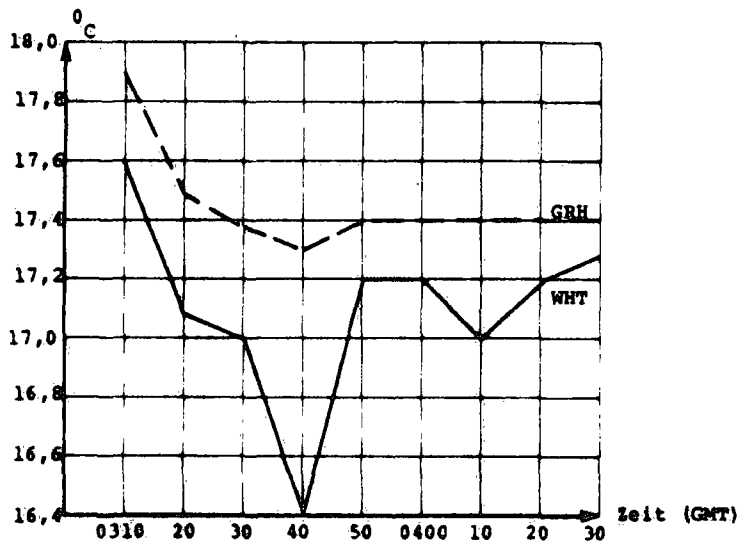


Fig. 17:
Charakteristische Temperaturgänge vent. Thermometer (VHT)/Hütte (GRH) in Bereiche des Tagesminimums (Payerne, 18. Juli 1983)

4. Schlussfolgerungen

=====

- a) Zumindest bei den heute in den Beobachtungsnetzen eingesetzten Wetterhütten (GRH, KLH, GRHM) üben die an den einzelnen Stationen unterschiedlichen Standortbedingungen einen grösseren Einfluss aus auf die Temperatur in den Wetterhütten als der Hüttentyp selbst:

Beispiele:

-Unterschiede in den Monatsmitteln der stündlichen Differenzen Temperatur Hütte - VHT (Grad C)

zwischen Hütten (Juli 79/80), (Fig. 1): unter 0.2
zwischen einzelnen Stationen mit gleicher Hütte (Juli 83),
(Tab. 10): bis 0.7

-Unterschiede in den Monatsmitteln der Differenzen der Tagesmaxima Hütte - VHT (Grad C)

zwischen Hütten (Juli 79/80): unter 0.4
zwischen einzelnen Stationen mit gleicher Hütte (Juli 83),
(Tab. 11): bis über 1.0

Als Referenz für die Zuverlässigkeit des Vergleiches von Differenzen aus dem Juli 83 und Juli 79/80 können die Messwerte von Payerne dienen; die Differenzen GRH - VHT waren im Monatsmittel für beide Zeitspannen ungefähr gleich gross (0.2 Grad), die mittleren Differenzen der Tagesmaxima unterschieden sich nur wenig (Juli 83: -0.2, Juli 79/80: -0.1 Grad C).

- b) Das ventilierte Thermometer liefert in allen Monaten durchschnittlich tiefere Temperaturen als alle Hüttenmessungen. Seine Messwerte sind aber nur ganz selten mehr als 0.7 Grad tiefer als diejenigen in GRH, GRHM und KLH. Für die grössten Differenzen zu den trägen Holzhütten (ca. 4 Grad) sind meist kurze Temperaturschwankungen verantwortlich, die in der kurzen, während eines Zehnminutenintervalles nur ca. 1 Sekunde dauernden Messphase des VHT erfasst wurden. Dadurch kann die Repräsentativität einer Einzelmessung beim VHT manchmal in Frage gestellt werden.
- c) Deutlich tritt der Effekt des Metallsockels bei GRHM in Erscheinung. Er bewirkte beispielsweise im Sommermittel eine Temperaturerhöhung von ca. 1.5 Zehntelgrad gegenüber GRH (Fig. 1); grössere Differenzen zu VHT traten bei GRHM häufiger auf als bei GRH (Fig. 3). Trotz Vereinfachung des Unterhaltes scheint es deshalb wenig günstig, den verwitterungsanfälligen Holzbock der grossen Holzhütte routinemässig in den Netzen durch einen Metallsockel zu ersetzen.
- d) TUH und WILD sind durchschnittlich ähnliche Temperaturmittel (Fig. 1) und tägliche Extremwerte (Tab. 5 und 6) eigen. Bei der Bearbeitung von Klimareihen von Stationen mit früheren WILD-Aufstellungen können unter Bezug der heutigen TUH-Messungen die ehemaligen Verhältnisse näherungsweise nachvollzogen werden.
- e) Die Eigenschaften von ursprünglich weissen Wetterhütten verändern sich im Laufe der Jahre durch den Witterungseinfluss, der Hüttenanstrich ergraut. Die Farbe blättert ab und das zum Vorschein kommende dunkle Holz bestimmt das Reflexionsverhalten der Hütte. Der Vergleich zwischen GRH und der dunklen Militärwetterhütte MIL kann

diesen Verwitterungseinfluss illustrieren: Eine dunkle (stark verwitterte oder verschmutzte) Stevenson-Hütte ist in den Monatsmitteln konstant ca. 0.2 Grad zu warm (Fig.1); ihre Tagesmaxima liegen durchschnittlich etwa 0.5 Grad höher. Geringfügiger ist der Einfluss auf die Tagesminima.

- f) Die konventionellen Thermometerablesungen sind in hohem Masse von der Sorgfalt des Beobachters abhängig: Der Ventilationseffekt beim Öffnen der Wetterhütte beträgt durchschnittlich knapp 0.5 Grad. Falls der Beobachter nach dem Öffnen der Hütte nicht sofort die Zehntelgrade abliest oder sich gar mit der ganzen Ablesung Zeit lässt, produziert er Fehler dieser Grössenordnung. Zudem kann bereits eine Unpünktlichkeit von einer halben Stunde Beobachtungsfehler von bis über 1 Grad verursachen.
- g) Die bisherigen Temperaturkontrollmessungen an den ANETZ-Stationen scheinen zur Beurteilung der Funktion des ventilierten Thermometers wenig brauchbar. Geringe Häufigkeit und freie Wahl der Ablesestermine durch den Beobachter, verbunden mit Ablese- oder Eingabefehlern, erschweren die Interpretation. Redundante automatische Temperaturmessungen in einer Holzhütte oder im Metallstrahlungsschutz des Hygrometers bieten zuverlässigere und vollständigere Kontrollmöglichkeiten. Die Temperaturkontrollmessungen können im ganzen ANETZ aufgehoben werden.
- h) Die Ablösung von WILD durch GRH in den Messnetzen der SMA Ende der Fünfzigerjahre verursachte einen grösseren Bruch in den Temperaturmessreihen als die Umstellung von GRH auf das ventilierte Thermometer. Für einige klimatologische Fragestellungen ist der Unterschied zwischen GRH und VHT sogar so gering, dass man angesichts der beträchtlichen Pannenanfälligkeit des VHTs und des Betreuungsaufwandes die Frage nach dem Sinn dieser letzten Umstellung stellen könnte. Da auf eine Hüttenaufstellung zu Kontrollzwecken an automatischen Stationen vorderhand kaum zu verzichten ist, würden auch Temperaturmessungen mit Thermistorfühlern in Wetterhütten GRH oder KLH vielen Bedürfnissen gerecht werden.

5. Literaturverzeichnis

=====

- (1) Schüepp M.: Die Temperaturdifferenzen zwischen verschiedenen Thermometeraufstellungen. Verh. Schweiz. Naturf. Ges., Altdorf 1954, S. 109 - 110
- (2) Schüepp W.: Vergleich zwischen alter und neuer Hüttenaufstellung auf der Astron. Meteor. Anstalt Basel-Binningen 317 NN. Basel 1968 (unveröffentlicht)
- (3) Lehmann J.: Beschreibung der Beobachtungsstation des Wetterdienstes auf dem Flughafen Zürich-Kloten. Kloten 1955 (unveröffentlicht)
- (4) Joss J.: Messfehler der ventilierten Thermometer VHT und VT-3 und des Thermohygrometers TH - Einige Gedanken zum Bericht Wasserfallen im Hinblick auf das ANETZ und die UWZ. Locarno 1983 (unveröffentlicht)
- (5) Sparks W.R.: The Effect of Thermometer Screen Design on the Observed Temperature. WMO - 315, Genf 1972

Dank

Fuer die Reinzeichnungen aller Figuren war Herr M. Cossalter besorgt, dessen sorgfältige Arbeit an dieser Stelle herzlich verdankt sei.

Anschrift des Autors:

Gerhard Müller
Schweizerische Meteorologische Anstalt
Postfach
CH-8044 Zürich

