

Versuch einer Homogenisierung der Monatsmittel der Zürcher Temperaturreihe

Heinz Bachmann (Zürich)

Zusammenfassung

Die zur Beurteilung der Klimaentwicklung wichtige Homogenisierung der langjährigen Temperaturreihe eines Ortes kann auf verschiedene Weise durchgeführt werden, wobei bei allen diesen Versuchen ein gewisses hypothetisches Moment bestehen bleibt. Eine oft angewandte Methode ist daher der Vergleich mit als homogen angenommenen Vergleichsreihen anderer Stationen (wie z. B. im Rahmen des Projektes «KLIMA 90» der METEO Schweiz für die Jahre 1961–90). Im Gegensatz dazu soll hier die Homogenisierung (Reduktion auf den heutigen THYGAN-Standard) der gesamten Reihe der Monatsmittel der Temperatur von Zürich (METEO Schweiz) durch an der Station selbst durchgeführte Parallelmessungen erreicht werden, soweit dies möglich ist.

A homogenization of the temperature series of Zurich

Indispensable for studying the climatic change is the availability of very long and homogenous temperature series. Homogenizing such a series can be achieved in different ways, all being somehow hypothetical. The homogenization of the temperature series of Zurich (monthly means) is here, in opposition to the often used method of comparison with other series assumed to be homogenous, produced (as far as possible) by own simultaneous measurements in the Zurich station (METEO Schweiz), arranged in the times of discontinuities in the measurements.

Key words: Dreiermittel – homogenisierte Monatsmittel – moderne Temperaturmessungen – verschiedene Messstandorte – Vierermittel – Wetterhütten

1 AUS DER STATIONSGESCHICHTE DER SMA

Zur Erfassung langfristiger Klimaänderungen benötigt man möglichst homogene Messreihen für die wichtigsten meteorologischen Parameter, insbesondere für die Temperatur (wobei hier stets die in 2 m Höhe über dem Terrain gemessene Temperatur gemeint sein soll). Die Zürcher Temperaturreihe der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA, heute METEO Schweiz) geht lückenlos bis zum 1. Dezember 1863 zurück, weist aber einige Inhomogenitäten auf, die im Folgenden beschrieben werden. Wir untersuchen hier nur die für die Klimatologie besonders wichtigen Monats- und Jahresmittel der Temperatur.

1.1 Standortwechsel

Die SMA wurde am 1. Dezember 1863 in der Eidgenössischen Sternwarte der ETH Zürich (Schmelzbergstr. 25) in Betrieb genommen (Terrainhöhe 468,3 m ü. M.). Es gab später zwei Standortwechsel:

Am 1. Oktober 1889 wurde der Umzug ins Physikgebäude der ETH (Gloriastr. 35) vorgenommen (Terrainhöhe

474,7 m ü. M.), wobei aber am ersten Standort bis Ende 1890 die Temperaturmessungen fortgesetzt (und in den ANNALEN publiziert) wurden, während am zweiten Standort erst provisorische Messungen durchgeführt wurden.

Am 8. August 1949 fand der Umzug vom Physikgebäude in ein eigenes Gebäude an der Krähbühlstr. 58 statt (Terrainhöhe 555,6 m ü. M.). Vom 1. September 1949 bis 31. August 1951 wurden am zweiten und dritten Standort Parallelmessungen ausgeführt.

1.2 Verbesserung der Messtechnik

Bis Ende 1977 wurde die Temperatur mit Quecksilberthermometern gemessen. Am ersten Standort wurde sie zuerst in einem Zinkgehäuse in Hausaufstellung auf der Nordseite des Turmes der Eidgenössischen Sternwarte über einer Terrasse (mit ca. 470 m ü. M.) gemessen, das Anfang 1874 in eine Holzhütte auf dem Terrain verlegt wurde, in der die Messungen bis Ende 1890 gemacht wurden.

Am zweiten Standort wurde die Temperatur ab 10. Oktober 1890 in einer Französischen Doppeldach-Holzhütte auf dem Terrain gemessen (wobei diese Messwerte erst ab An-

fang 1891 veröffentlicht wurden). Am 1. Oktober 1895 wurde diese Wetterhütte durch eine **Wildsche Hütte** ersetzt, in der auch am dritten Standort bis Ende 1960 gemessen wurde. Diese Messmethode ergab wegen Besonnung besonders im Sommer bei schönem Wetter zu hohe Temperaturmaxima, während bei bedecktem Himmel die Temperatur etwa richtig gemessen wurde¹. Anfang 1954 wurde die bessere (aber etwas träge) **Stevenson-Hütte** (Englische Hütte) aufgestellt; nach Parallelmessungen in beiden Hütten 1954–1960 wurde aber 1961 nur noch in der Stevenson-Hütte gemessen.

Eine völlige Neuerung brachte die (nach Vorversuchen ab 28. April 1976) Anfang 1978 in Betrieb genommene automatische Station mit einem frei exponierten elektronischen **ventilierten Thermometer (VHT)**; später wurde eine elektronische Temperatursonde zwecks Parallelmessungen auch in der Stevenson-Hütte installiert. Diese Art von Temperaturmessung ermöglichte nicht nur eine automatische Messung und Speicherung der Temperaturwerte im 10-Minuten-Rhythmus rund um die Uhr, sondern auch eine völlige Elimination der Strahlung und der durch Wärmestau in den Hütten aufgetretenen Fehler früherer Messungen; ihr Nachteil lag aber darin, dass wegen mangelhafter oder zeitlich schlecht koordinierter Ventilation die Temperatur zu gewissen Zeiten etwas zu hoch (aber nie zu tief) gemessen wurde. Eine verbesserte Auflage des VHT ist die (nach Vorversuchen ab 26. Juli 1985) seit Anfang 1991 verwendete Messvorrichtung **THYGAN**, bei der die Pannen des früheren VHT weitgehend eliminiert sind (mit beiden Messvorrichtungen wurden Parallelmessungen weitergeführt).

1.3 Unterschiedliche Berechnung der Tagesmittel der Temperatur

Bis Ende 1970 wurden die Tagesmittel (und daraus die Monats- und Jahresmittel) der Temperatur aus den drei Terminablesungen um 07.30, 13.30 und 21.30 Uhr MEZ durch Bildung eines gewogenen Mittels berechnet, wobei der dritten Messung doppeltes Gewicht gegeben wurde (sog. **Vierermittel** M_4). Es stellte sich heraus, dass diese Berechnung ein etwas zu kleines Tagesmittel ergab.

Anfang 1971 wurde die Ablesung von 21.30 auf 19.30 Uhr verlegt, und als Tagesmittel wurde von 1971–1975 das **korrigierte Dreiermittel**

$$M_3 = n - k(n - m) \quad (1)$$

genommen, wobei n das arithmetische Mittel aus den Terminablesungen um 07.30, 13.30 und 19.30 Uhr MEZ, m das Minimum vom Abend des Vortages bis zum Abend des betreffenden Tages und k ein Korrekturfaktor mit den monatlichen Werten (von Januar bis Dezember)

0,10 0,10 0,11 0,13 0,16 0,18 0,18 0,16 0,13 0,11 0,11 0,10
ist. Man versuchte auf diese Weise, einen dem Vierermittel möglichst nahe kommenden Mittelwert zu erhalten.

Anfang 1976 wurden die Ablesetermine um 45 Minuten vorverschoben. In den Jahren 1976–1980 wurde als Tagesmittel das korrigierte Dreiermittel M'_3 nach der Formel

$$M'_3 = n' - k'(n' - m) \quad (2)$$

berechnet, wobei n' das arithmetische Mittel aus den drei Terminablesungen um 06.45, 12.45 und 18.45 Uhr MEZ ist und der Korrekturfaktor k' die etwas abgeänderten Werte
0,08 0,09 0,10 0,12 0,14 0,16 0,16 0,14 0,11 0,09 0,09 0,08
hat.

Diese Mittelbestimmung aus drei Terminwerten hat nicht nur den Nachteil, dass sie nicht genau das wahre Tagesmittel gibt (und somit korrigiert werden muss), sondern auch, dass² die Terminablesungen meist etwas zu früh vorgenommen wurden (der sich dadurch ergebende Verfrühungsfehler wurde noch vergrößert durch die Trägheit der Wetterhütten, die bei der Stevenson-Hütte besonders ausgeprägt war), so dass die anzubringenden Korrekturen nur ungenau zu rekonstruieren sind.

Seit Anfang 1981 werden die **wahren Mittel** M aus den 144 täglich gemessenen Temperaturen des ventilerten Thermometers bestimmt. Es gab natürlich auch schon früher eine kontinuierliche Temperaturmessung durch Thermographen, wobei aber die Abstimmung auf die Terminablesungen (und somit auch die Bestimmung der Temperaturextreme) stets problematisch war.

1.4 Die Originalwerte der Monatsmittel der Temperatur

Unter den **Originalwerten** der Temperatur, auf die sich die im Folgenden zu bestimmenden Homogenisierungsgrößen beziehen, sollen hier die folgenden Werte verstanden werden:

– die 1864–1890 am ersten, 1891–1949 am zweiten und seit 1950 am dritten Standort gemessenen und in den ANNALEN und bis 1970 in den SCHWARZEN BÄNDEN auf $0,1^\circ$ genau aufgezeichneten Temperaturen³, mit einer zusätzlich

¹ Dieser Effekt fiel mir in den 1940er Jahren beim Vergleich mit eigenen Messungen deutlich auf; er verringerte sich etwas in den 1960er Jahren beim Übergang zu einem andern Wetterhütentypus.

² Nach einer mündlichen Mitteilung von M. Schüepp.

³ Mit der einzigen Ausnahme einer Korrektur von -5° am 3. Termin des 5. 4. 1943.

angebrachten Instrumentenkorrektur von $-0,2^\circ$ in den Jahren 1864–1873⁴ und von $-0,1^\circ$ in den Jahren 1950–1951⁵, und zwar die bis 1873 in Hausaufstellung, 1874–1960 in der Wildschen Hütte (und ihren Vorgängern), 1961–1977 in der Stevenson-Hütte, 1978–1990 mit dem VHT (sog. «Tageswerte» des VHT, die gegenüber den «Momentanwerten» in Zeiten grösserer Pannen korrigiert wurden) und seit 1991 mit dem THYGAN gemessenen Werte.

Als Originalwerte der Monatsmittel werden hier die (zur Vermeidung von Häufungen von Rundungsfehlern) auf $0,01^\circ$ genau berechneten Mittelwerte genommen, die bis 1970 aus den Mitteln M_4 , 1971–1975 aus den Mitteln M_3 , 1976–1980 aus den Mitteln M'_3 und seit 1981 aus den Mitteln M (die auch in den ANNALEN zu finden sind) berechnet wurden.

Zwischen diesen Originalwerten und den offiziellen Originalwerten in der Klima-Datenbank der ETH (auf $0,1^\circ$ genau berechnet) bestehen einige Unterschiede:

1. In der offiziellen Liste wird der Übergang vom 2. zum 3. Standort Anfang September 1949 gemacht (hier aber Anfang 1950).
2. Die oben erwähnten Instrumentenkorrekturen sind bei den offiziellen Werten nicht angebracht.

2 DIE AN DEN ORIGINALWERTEN ANZUBRINGENDEN REDUKTIONEN

Zur Homogenisierung der Originalwerte müssen also folgende Korrekturen bestimmt werden:

- Korrekturen wegen der Standortwechsel (Standortwechsel-Korrekturen).
- Reduktion der Messungen in der Wildschen Hütte (und ihren Vorgängern) auf diejenigen in der Stevenson-Hütte (1. Hüttenkorrektur).
- Reduktion der Messungen in der Stevenson-Hütte auf die vom VHT gemessenen Werte (2. Hüttenkorrektur).
- Reduktion der VHT-Werte auf die THYGAN-Werte.
- Bestimmung der wahren Mittel aus dem Vierermittel M_4 (Vierermittelkorrektur).
- Bestimmung der wahren Mittel aus den Dreiermitteln M_3 und M'_3 (Dreiermittelkorrekturen).

2.1 Die Standortwechsel-Korrekturen

Der erste Standortwechsel (Erhöhung um 6,4 m) bedeutet für die Temperatur gemäss der Normalatmosphäre eine Ernied-

rigung um $0,04^\circ$. Unter Vernachlässigung der kleinen Höhenänderung von Anfang 1874 subtrahieren wir für die Reduktion vom 1. auf den 2. Standort von den Temperaturwerten von 1864–1890 diesen Wert.

Dem zweiten Standortwechsel (Erhöhung um weitere 80,9 m) entspricht nach der Normalatmosphäre eine Erniedrigung von $0,53^\circ$. Die Parallelmessungen an der SMA von September 1949 bis August 1951 (s. SCHWARZE BÄNDE) ergaben aber eine grössere Differenz, weil der Wechsel vom Stadtgebiet in ein locker bebautes und mit vielen Grünflächen durchsetztes Aussenquartier stattfand; sie ergaben (aus den Mitteln M_4 auf $0,01^\circ$ genau berechnete) monatliche Differenzen $Z_1 - Z_2$ zwischen den am 2. Standort gemessenen Werten Z_1 und den am 3. Standort gemessenen Werten Z_2 , die ohne klaren Jahresgang unregelmässig zwischen $0,60^\circ$ und $1,00^\circ$ schwanken, mit dem Mittelwert $0,81^\circ$. Deshalb hat man in den Temperaturtabellen der SMA (SCHÜEPP, 1961) zur Reduktion vom 2. auf den 3. Standort stets genau $0,8^\circ$, in den Frühlingsmonaten oft auch $0,9^\circ$ abgezogen (was natürlich nur für die Monatsmittel gilt und nicht etwa für die Einzelmessungen oder die Extrema).

Wir finden die oben genannte Zeit von 2 Jahren etwas zu kurz, um Mittelwerte von $Z_1 - Z_2$ auf längere Sicht zu bestimmen (und anscheinend war die Differenz in dieser Zeit gerade etwas hoch); deshalb wurden ausnahmsweise die Messungen von Winterthur (490 m ü. M.) von 1945–1955 (s. SCHWARZE BÄNDE) zum Vergleich herangezogen. Ich bestimmte für die aus den Mitteln M_4 der Winterthurer Werte auf $0,01^\circ$ berechneten Monatsmitteln W_i die Differenzen $Z_1 - W_i$ für September 1945 bis August 1951 mit den 6-jährigen Mittelwerten

0,65	0,86	0,98	0,85	0,57	0,53	0,71	0,73	0,99	1,06	0,57	0,68
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

und die Differenzen $Z_2 - W_i$ für September 1949 bis August 1955 mit den Mittelwerten

-0,32	0,08	0,21	-0,01	-0,04	-0,16	-0,02	0,14	0,22	0,36	0,10	-0,08
-------	------	------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	-------

Aus der Differenz dieser beiden Reihen (die übrigens einen schwachen jahreszeitlichen Rhythmus in Form einer Doppelwelle zeigen) erhält man Werte, die man als Mittelwerte von $Z_1 - Z_2$ für den ganzen Zeitraum interpretieren kann:

0,97	0,78	0,77	0,86	0,61	0,69	0,73	0,59	0,77	0,70	0,47	0,76
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

mit dem Jahresmittel $0,72^\circ$. Da diese Werte ein weniger regelmässiges Bild zeigen, schlage ich vor, für die 2. Standortwechsel-Korrektur für alle Monate je $0,72^\circ$ abzuzählen statt $0,8^\circ$ (wenn auch die Messwerte vor 1949 am heutigen Standort nicht rekonstruierbar sind, muss doch die Reduktion so angesetzt werden, dass sie im Mittel über viele Jahre die wahrscheinlichsten Werte ergibt).

2.2 Die erste Hüttenkorrektur (Wild – Stevenson)

Die ersten 1954–1960 an der SMA durchgeführten Parallelmessungen in der Wildschen Hütte und in der Stevenson-

⁴ Siehe z. B. ANNALEN 1865, S. VII und 1873, S. IV, auch SCHÜEPP 1961, S. 32 und MAURER et al. 1909/10, S. 29.

⁵ Siehe ANNALEN 1950, Anhang Nr. 6, Fussnote auf S. 3. In den SCHWARZEN BÄNDE sind die Temperaturen ohne und mit dieser Instrumentenkorrektur gegeben.

Hütte (s. SCHWARZE BÄNDE) ergaben folgende mittlere Differenzen $W - S$ der in der Wildschen Hütte erhaltenen Monatsmittel W und der in der Stevenson-Hütte erhaltenen Monatsmittel S (stets aus den Mitteln M_4 und auf $0,01^\circ$ genau berechnet):

0,031 0,064 0,069 0,141 0,196 0,149
0,109 0,119 0,026 0,003 -0,047 -0,044

Solche Mittelwerte enthalten, wenn die Dauer der Parallelbeobachtungen (wie hier) relativ kurz ist, im Jahresverlauf meist gewisse durch Witterungseinflüsse bedingte Unregelmässigkeiten. Da es keinen Sinn hat, diese stehen zu lassen, wenn die Korrekturen ausserhalb der Zeit der Parallelbeobachtungen angebracht werden, unterwerfen wir in einem solchen Fall die Werte einer **leichten Glättung**: der Wert jedes Monats wird ersetzt durch das Mittel aus dem mit doppeltem Gewicht gezählten Wert dieses Monats und den Werten der beiden Nachbarmonate (wobei das Jahresmittel unverändert bleibt). Der Ausdruck «leichte Glättung» soll hier immer die Glättung der beschriebenen Art bedeuten. Auf die obige Reihe (deren Werte auf 3 Dezimalen nach dem Komma berechnet werden mussten, um nachher richtig runden zu können) angewandt, erhalten wir durch diese leichte Glättung die Werte

0,02 0,06 0,09 0,14 0,17 0,15 0,12 0,09 0,04 0,00 -0,03 -0,03 (A)
Diese Korrekturen (A) sind 1874–1960 von den Originalwerten abzuziehen, um eine Reduktion auf den Stevenson-Standard zu erhalten.

Dabei machen wir die (heute kaum noch zu prüfende) **Annahme**, dass bei den ab 1874 vor der Wildschen Hütte verwendeten Wetterhütten etwa die gleichen obigen Korrekturen genommen werden dürfen.

2.3 Parallelmessungen des VHT, des THYGAN und der Stevenson-Hütte

Diese an der SMA in den 1980er und 1990er Jahren ausgeführten Parallelmessungen müssen zuerst etwas eingehender betrachtet werden. Es standen mir zur Verfügung (bis auf ein paar Ausnahmen) die täglichen Mittelwerte M (sog. VAMP-Tagesdaten) von 1984–1997⁶

- der Temperatur V des VHT,
- der Temperatur T des THYGAN (erst ab August 1985),
- der Temperatur S einer Temperatursonde in der Stevenson-Hütte.

Aus diesen Daten bestimmte ich die Monatsmittel aller Differenzen $S - V$ und $V - T$ (und daraus durch Summierung auch der Differenzen $S - T$) auf $0,01^\circ$ genau (in der Annahme, dass bei der gegebenen Genauigkeit der Tageswerte von $0,1^\circ$ die entstehenden Fehler herausgemittelt werden). Einige besonders abweichende Differenzen wurden nicht berücksichtigt.

Wegen Lackierung der Perle am Fühler des VHT am 23. März 1989 sind die Messwerte des VHT von diesem Zeitpunkt an im Jahresdurchschnitt konstant um etwa $0,2^\circ$ höher als vorher. Wir bezeichnen deshalb mit V nur die VHT-Mess-

werte bis und mit März 1989, dagegen diejenigen ab April 1989 mit V' .

Somit stehen die Monatsmittel folgender Differenzen zur Verfügung: $S - V$: Januar 1984 – März 1989, $S - V'$: April 1989 – Dezember 1997, $V - T$: August 1985 – März 1989, $V' - T$: April 1989 – Dezember 1997, $S - T$: August 1985 – Dezember 1997; sie sind in Tab. 1 aufgelistet.

Diese Differenzen zeigen, dass die Temperaturen V, V', S und T von Zeit zu Zeit je für einige Monate systematisch zu hoch sind (kurzfristige Ausrutscher machen sich in den Monatsmitteln kaum bemerkbar), was ziemlich sicher nicht auf Witterungseinflüsse zurückzuführen ist. So zeigen sich folgende Zeitabschnitte, in denen die Messwerte gestört sind:

- $S - V$ zu tief: Januar 1984 – April 1985,
 $S - V'$ zu tief: Oktober 1994 – März 1995,
Dezember 1996 – Januar 1997,
 $S - V'$ zu hoch: Juni – August 1995.
- $V - T$ zu tief: April 1986 – Oktober 1987,
 $V - T$ zu hoch: November 1988 – Februar 1989,
 $V' - T$ zu hoch: Oktober 1994 – März 1995,
Dezember 1996 – Januar 1997.
- $S - V$ zu tief: April 1986 – Oktober 1987,
 $S - V$ zu hoch: Januar – Februar 1989,
Juni – August 1995.

Da V, V' und T kaum zu tief, aber bei Pannen oft zu hoch sein können, während die unventilierte Temperatur S weniger Störungen (die in beide Richtungen gehen können) aufweist, folgt daraus

- V zu hoch: November 1988 – Februar 1989,
 V' zu hoch: Oktober 1994 – März 1995,
Dezember 1996 – Januar 1997,
- S zu hoch: Januar – Februar 1989,
Juni – August 1995,
- T zu hoch: April 1986 – Oktober 1987,

während von Januar 1984 – April 1985 V zu hoch oder (weniger wahrscheinlich) S zu tief war.

2.4 Die zweite Hüttenkorrektur (Stevenson – VHT)

Aus den im letzten Abschnitt genannten Gründen nehmen wir zur Bestimmung der Monatsmittel von $S - V$ die Parallelmessungen der Jahre 1985–1988, in denen S und V fast durchwegs ungestört sind; es ergeben sich folgende Werte: 0,034 0,072 0,137 0,090 0,206 0,240 0,303 0,290 0,225 0,164 0,082 0,061 oder nach der leichten Glättung

0,05 0,08 0,11 0,13 0,19 0,25 0,28 0,28 0,23 0,16 0,10 0,06 (B)
Diese Werte stimmen sehr gut überein mit den von G. MÜLLER 1984 für die Zeit von Juli 1979 bis Juni 1981 in Payerne erhaltenen Werten, die man z. B. aus seiner Fig. 4 bestimmen kann. Sie beziehen sich auf die vollen Tagesmittel M , sind aber auch gute Näherungswerte für die aus den Vierermitteln M_4 berechneten Differenzen $S - V$. Dagegen stimmen unsere Werte (A) für die erste Hüttenkorrektur schlecht mit den ebenfalls von G. MÜLLER 1984 bestimmten entsprechenden Werten überein.

Die Werte (B) sind von den Originalwerten abzuziehen von 1874–1977, damit wir eine Reduktion auf die Werte des ungestörten VHT erhalten.

⁶ Ich verdanke Herrn R. Dössegger von der SMA die Überlassung vieler Computerdaten.

Versuch einer Homogenisierung der Monatsmittel der Zürcher Temperaturreihe

Tab. 1. Die Monatsmittel der Differenzen $S - V$ (bzw. $S - V'$), $V - T$ (bzw. $V' - T$) und $S - T$ (untereinander geschrieben in dieser Reihenfolge) $S =$ Stevenson, $V =$ VHT, $T =$ THYGAN

Tab. 1. The monthly means of the differences $S - V$ (resp. $S - V'$), $V - T$ (resp. $V' - T$) and $S - T$ (written in this order for each month)

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1984	-0,08	-0,05	-0,03	-0,01	0,03	-0,01	-0,06	-0,07	-0,03	-0,08	-0,27	-0,45

1985	-0,10	-0,03	0,01	0,05	0,24	0,28	0,30	0,26	0,22	0,14	0,07	0,05
	....	....	....	....	....	....	....	-0,14	-0,13	-0,05	0,02	0,09
	....	....	....	....	....	....	....	0,12	0,09	0,09	0,09	0,14
1986	0,08	0,10	0,16	0,17	0,33	0,33	0,32	0,43	0,27	0,27	0,15	0,14
	0,03	0,05	-0,03	-0,18	-0,33	-0,31	-0,31	-0,39	-0,29	-0,27	-0,08	-0,05
	0,11	0,15	0,13	-0,01	0,00	0,02	0,01	0,04	-0,02	0,00	0,07	0,09
1987	0,08	0,12	0,24	-0,01	0,04	0,11	0,34	0,27	0,25	0,13	0,10	0,08
	-0,03	-0,08	-0,09	-0,03	-0,09	-0,17	-0,35	-0,33	-0,32	-0,35	0,01	0,07
	0,05	0,04	0,15	-0,04	-0,05	-0,06	-0,01	-0,06	-0,07	-0,22	0,11	0,15
1988	0,08	0,10	0,14	0,15	0,22	0,24	0,25	0,20	0,16	0,12	0,00	-0,03
	0,06	0,07	0,01	0,08	0,03	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,25	0,24
	0,14	0,17	0,15	0,23	0,25	0,29	0,29	0,25	0,22	0,17	0,25	0,21
1989	-0,02	0,05	0,11	0,03	0,05	0,10	0,14	0,10	0,04	0,02	-0,12	-0,13
	0,31	0,27	0,11	0,18	0,11	0,10	0,10	0,15	0,15	0,18	0,35	0,31
	0,29	0,32	0,22	0,21	0,16	0,20	0,24	0,25	0,19	0,20	0,23	0,18
1990	-0,15	-0,02	0,00	-0,03	0,02	0,07	0,01	-0,01	0,01	-0,03	-0,08	-0,11
	0,40	0,22	0,17	0,19	0,15	0,11	0,15	0,12	0,14	0,17	0,23	0,28
	0,25	0,20	0,17	0,16	0,17	0,18	0,16	0,11	0,15	0,14	0,15	0,17
1991	-0,05	-0,06	-0,08	-0,04	-0,02	0,02	0,03	-0,01	0,00	-0,08	-0,12	-0,10
	0,21	0,26	0,15	0,18	0,17	0,11	0,13	0,15	0,11	0,19	0,19	0,19
	0,16	0,20	0,07	0,14	0,15	0,13	0,16	0,14	0,11	0,11	0,07	0,09
1992	-0,10	-0,11	-0,06	-0,06	-0,01	-0,05	-0,02	-0,01	-0,05	-0,11	-0,12	-0,21
	0,26	0,25	0,17	0,23	0,23	0,27	0,32	0,23	0,29	0,30	0,26	0,37
	0,16	0,14	0,11	0,17	0,22	0,22	0,30	0,22	0,24	0,19	0,14	0,16
1993	-0,15	-0,13	-0,07	-0,10	-0,05	-0,02	0,00	-0,03	-0,06	-0,15	-0,13	-0,06
	0,25	0,33	0,22	0,23	0,25	0,26	0,25	0,25	0,27	0,30	0,33	0,26
	0,10	0,20	0,15	0,13	0,20	0,24	0,25	0,22	0,21	0,15	0,20	0,20
1994	-0,09	-0,12	-0,05	-0,09	0,00	-0,05	-0,08	-0,09	-0,15	-0,20	-0,35	-0,30
	0,28	0,32	0,18	0,26	0,28	0,30	0,33	0,34	0,35	0,42	0,47	0,51
	0,19	0,20	0,13	0,17	0,28	0,25	0,25	0,25	0,20	0,22	0,12	0,21
1995	-0,35	-0,22	-0,22	0,00	0,12	0,44	0,39	0,37	0,06	0,03	-0,16	-0,24
	0,56	0,40	0,43	0,18	0,12	0,14	0,17	0,11	0,14	0,13	0,29	0,35
	0,21	0,18	0,21	0,18	0,24	0,58	0,56	0,48	0,20	0,16	0,13	0,11
1996	-0,25	-0,16	-0,13	-0,07	-0,02	0,00	0,00	0,04	-0,04	-0,09	-0,17	-0,28
	0,40	0,40	0,30	0,20	0,13	0,16	0,15	0,16	0,14	0,13	0,27	0,34
	0,15	0,24	0,17	0,13	0,11	0,16	0,15	0,20	0,10	0,04	0,10	0,06
1997	-0,30	-0,13	-0,11	-0,08	-0,04	0,03	0,02	0,00	0,01	-0,11	-0,22	-0,27
	0,40	0,28	0,20	0,18	0,14	0,16	0,15	0,19	0,17	0,19	0,28	0,32
	0,10	0,15	0,09	0,10	0,10	0,19	0,17	0,19	0,18	0,08	0,06	0,05

Bemerkung zur Zeit vor 1874: Zur Homogenisierung der Temperatur-Monatsmittel in der Zeit vor 1874 können im Rahmen dieser Arbeit keine genauen Angaben gemacht werden. Dazumal wurden keine Wetterhütten verwendet, aber die völlige Streichung der Hüttenkorrektur wäre doch nicht gerechtfertigt, da bei der Hausaufstellung des Thermometers sein Gehäuse im Sommer jeweils morgens und abends wohl der Sonne ausgesetzt war und dann etwas zu hohe Temperaturen lieferte. Da 1874–1960 die Summe A + B der beiden Hüttenkorrekturen abgezogen werden muss, kommt man einer realistischen Reduktion auf den VHT in der Zeit vor 1874 wohl einigermaßen nahe, wenn man (statt nichts abzuziehen) die halbe Summe subtrahiert; diese hat die monatlichen Werte
 0,04 0,07 0,10 0,13 0,18 0,20 0,20 0,19 0,13 0,08 0,03 0,02
 Ich verwende diese Werte, die eine (nicht besser zu begründende) **Annahme** sind.

2.5 Reduktion auf den heutigen THYGAN-Standard

Die Differenz V – T zwischen der ungestörten Temperatur des VHT und des THYGAN lässt sich wegen der erwähnten technischen Pannen im Zeitraum unserer Parallelmessungen nicht direkt bestimmen, aber auf einem Umweg, denn für S – V' und V' – T sind die Jahre 1990–1993 brauchbar, in denen S und T ungestört sind.

Für diese Jahre erhält man für S – V' die Monatsmittel
 –0,114 –0,080 –0,053 –0,059 –0,016 0,004
 0,006 –0,013 –0,024 –0,093 –0,113 –0,119
 und für V' – T die Monatsmittel
 0,281 0,264 0,179 0,207 0,200 0,188 0,212 0,191 0,202 0,240 0,250 0,274
 Aus diesen beiden Reihen erhält man durch Addition und nachfolgende leichte Glättung für S – T die Monatsmittel
 0,17 0,17 0,15 0,15 0,18 0,20 0,20 0,19 0,17 0,15 0,15 0,15 (3)
 Subtrahiert man von diesen die leicht geglätteten Monatsmittel (B) von S – V, so erhält man die folgenden Monatsmittel für V – T:
 0,12 0,09 0,04 0,02 –0,01 –0,05 –0,08 –0,09 –0,06 –0,01 0,05 0,09 (C)
 Für diese Korrektur werden in KLIMA 90 höhere Werte mit dem Jahresmittel 0,1° genannt, die aber wahrscheinlich durch Verwendung teilweise gestörter V-Werte gewonnen wurden.

Die Werte (C) sind bis Juli 1985 von den V-Werten zu subtrahieren (sofern diese ungestört sind; s. darüber die Bemerkung am Ende dieses Abschnitts).

Von August 1985 an können dann direkt die vorhandenen T-Werte anstelle der V-Werte genommen werden (d. h., die vom Originalwert abzuziehende Grösse ist die für die betreffende Zeit geltende Differenz V – T bzw. V' – T). Als Ausnahme müssen aber die vom April 1986 bis Oktober 1987 gestörten (erhöhten) T-Werte zuerst korrigiert werden:

In der fraglichen Zeit von April 1986 bis Oktober 1987 waren die V-Werte und die S-Werte ungestört. Man erhält nun daraus T auf zwei Arten: einerseits aus V (Originalwerte) mit den Werten
 1986: . . . 6,04 14,13 15,79 17,40 16,86 13,57 10,71 5,35 1,59
 1987: –4,27 0,58 1,01 9,89 9,78 14,01 17,97 16,90 16,70 10,00 . . .
 und aus den Werten (B) für V – T, andererseits aus S mit den gegebenen Werten
 1986: . . . 6,20 14,46 16,10 17,72 17,28 13,84 10,98 5,50 1,72
 1987: –4,20 0,69 1,25 9,88 9,83 14,11 18,30 17,17 16,94 10,13 . . .

und den Werten S – T nach (3). Das Mittel aus den auf beide Arten erhaltenen Werte (die nur unwesentlich voneinander abweichen) ergibt dann eine plausible Annahme für T in der kritischen Zeitspanne:

1986: . . . 6,03 14,21 15,87 17,50 17,02 13,65 10,79 5,33 1,54
 1987: –4,38 0,51 1,04 9,80 9,72 13,99 18,08 16,99 16,77 10,00 . . .

Auf diese Werte sind die originalen V-Werte zu korrigieren. Nach 1990 ist keine Korrektur notwendig, weil seither die Messungen des THYGAN vor Störungen geschützt sind.

Bemerkung über die Zeit von 1978 bis Juli 1985:

a) In diesem Zeitabschnitt ist die Reduktion der V-Werte auf den THYGAN-Standard etwas unsicher, da vor 1984 keine simultanen Tageswerte für S erhältlich sind. Es scheint, dass die Tageswerte gegenüber den Momentanwerten nur bei grösseren Ausreissern (wie sie wiederholt im Juni 1980 vorkamen) korrigiert wurden (auch die in den Kapiteln 2.6 und 2.7 verwendeten Tagesmittel M₃ sind aus diesen korrigierten Werten berechnet worden).

b) Wie weiter oben festgestellt wurde, sind aber auch von 1984 bis April 1985 die V-Werte zu hoch (oder, weniger wahrscheinlich, die S-Werte zu tief), ohne dass für die Tageswerte korrigierte Werte genommen wurden. Setzt man voraus, dass die S-Werte in dieser Zeit ungestört waren, müsste man als Korrektur die Differenz zwischen den mittleren S – V-Werten (B) und den monatlichen S – V-Werten dieser Zeitspanne subtrahieren. Wegen der Unsicherheit dieser Voraussetzung subtrahiere ich aber nur die Hälfte dieser Differenz, also die folgenden Werte von den V-Werten:
 1984: 0,07 0,07 0,07 0,07 0,08 0,13 0,17 0,18 0,13 0,12 0,18 0,26
 1985: 0,08 0,06 0,05 0,06

(das ist eine vernünftige **Annahme**). Erst nach dieser Korrektur ergibt die Subtraktion von (C) die auf den THYGAN-Standard reduzierten Werte.

c) Im Gegensatz zur obigen Zeitspanne mit wiederholten Pannen zeigt das technische Protokoll des VHT in der Zeit vor 1984 (und auch von Mai bis Juli 1985) keine Pannen (weshalb wir die damaligen Messwerte als ungestört betrachteten); Ausnahmen bilden neben den erwähnten Störungen im Juni 1980 kurze Störungen im März 1978, die sich aber kaum nennenswert auf das Monatsmittel auswirken dürften.

2.6 Die Vierermittel- und die Dreiermittelkorrektur

Im Folgenden verwenden wir einige Resultate der Arbeit von DE MONTMOLLIN (1993). In dieser Arbeit sind aus den Messwerten des VHT in den Jahren 1981–1990 die Monatsmittel von M – M₄ berechnet (M₄ hat dort die Bezeichnung Tmp21) und in Fig. 5.2 auf S. 55 graphisch dargestellt worden. Da die Zahlenwerte nicht mehr verfügbar sind, habe ich aus der vergrösserten Figur folgende Werte abgelesen:
 –0,02 –0,01 0,00 0,00 0,01 0,04 0,09 0,16 0,10 0,04 0,00 –0,01 (4)
 Aus derselben Figur können auf dieselbe Weise auch die Monatsmittel M – M₃ (M₃ unter der Bezeichnung TmaK) abgelesen werden:
 0,00 0,00 0,01 –0,01 –0,08 –0,03 0,00 0,00 0,00 –0,04 –0,03 0,03 (5)
 Die Werte (4) und (5) sind aus Stundenwerten bestimmt, wobei bei der Berechnung von (5) die Minima der Stundenwerte genommen wurden. Deshalb sind, während die Werte (4) als richtig zu beurteilen sind, die Werte (5) etwas zu klein. Die

richtigen Werte für $M - M_3$ lassen sich (für die genannte Zeitperiode) aber so bestimmen:

Die Monatsmittel M lassen sich aus den in den ANNALEN angegebenen (oder ab 1982 als VAMP-Tageswertdaten der SMA gespeicherten) Tagesmitteln bestimmen (sie mussten zuerst auf $0,01^\circ$ genau berechnet werden, weil die verfügbaren Monatsmittel zur Berechnung kleiner Differenzen zu ungenau sind). Man erhält für M die Monatsmittel:

-0,109 0,405 4,667 8,145 12,551 15,437
18,462 17,490 14,441 10,131 4,111 1,923

Die Monatsmittel der Minima m lassen sich ebenso aus den ANNALEN bestimmen; auf $0,01^\circ$ genau erhält man (für den gleichen Zeitraum)

-2,48 -2,25 1,24 4,06 8,12 11,01 13,67 13,12 10,70 7,13 1,69 -0,27

In der Arbeit von DE MONTMOLLIN sind (in Fig. 5.6 auf S. 60) auch die Werte

$$x = n - M$$

graphisch dargestellt (n wird mit Tma19 bezeichnet), woraus wir folgende Werte für x ablesen können:

0,20 0,24 0,36 0,57 0,85 0,90 0,96 0,75 0,50 0,37 0,27 0,16

Aus M , m und x erhält man nach Formel (1) M_3 und daraus schliesslich für $M - M_3$ die Werte

0,057 0,049 0,057 0,035 -0,005 0,059
0,075 0,069 0,051 0,001 0,026 0,075 (6)

Würde man für m in allen Monaten einen um $0,5^\circ$ höheren Wert einsetzen (was etwa die Minima der Stundenwerte ergeben würde), so würden sich die Werte $M - M_3$ um $0,5^\circ$ erniedrigen, und man erhielte die Werte 0,01 0,00 0,00 -0,03 -0,09 -0,03 -0,02 -0,01 -0,01 -0,05 -0,04 0,03 in guter Übereinstimmung mit den Werten (5) von DE MONTMOLLIN.

Die Monatsmittel von $M - M_3$ sind in der Arbeit von DE MONTMOLLIN nicht berechnet worden; man erhält sie aber aus den Monatsmitteln M_3 der gleichen Zeitspanne 1981-1990, die aus den in der Klima-Datenbank der ETH gespeicherten Tageswerten auf $0,01^\circ$ genau berechnet werden können. So erhält man für M_3 die Werte

-0,178 0,322 4,572 8,095 12,594 15,431
18,413 17,489 14,325 10,068 4,065 1,870

Aus diesen und aus M erhält man für $M - M_3$

0,069 0,083 0,095 0,050 -0,043 0,006
0,049 0,001 0,116 0,063 0,046 0,053 (7)

Die Werte (4), (6) und (7) für die Vierermittel- und Dreiermittelkorrekturen sind noch nicht geglättet, denn sie müssen noch modifiziert werden.

2.7 Der Einfluss der Hüttenträgheit und der verfrühten Terminablesung

Die Werte (4), (6) und (7) wurden mit dem VHT bestimmt und sind für die Zeit vor 1978 zu modifizieren, und zwar aus zwei Gründen: erstens, weil die Wetterhütten etwas träge sind (besonders die Stevenson-Hütte) und deshalb etwas zu hohe Minima liefern und die effektiven Ablesetermine etwas verfrühen, und zweitens, weil in den Zeiten vor der Automatisierung meist ohnehin etwas zu früh abgelesen wurde. Die Auswirkung dieser Effekte lassen sich nicht genau angeben, sondern nur ungefähr abschätzen. Dazu machen wir folgende **Annahmen**, die wir wegen der Kleinheit der dadurch be-

dingten Modifikationen (Korrektur einer Korrektur!) als ausreichend genau erachten:

1. Für beide Verfrühungseffekte stellen wir eine Verfrühung von 22,5 Minuten in Rechnung (nämlich die Hälfte der Terminverfrühung von Anfang 1976, deren Auswirkung wir bestimmen können, s. u.).

2. Wegen der Hüttenträgheit verändert sich m um folgende Werte Δm :

0,05 0,06 0,10 0,15 0,20 0,24 0,25 0,24 0,20 0,15 0,10 0,06
die ich begründe mit der Angabe $\Delta m = 0,1^\circ$ im Winter und $\Delta m = 0,2^\circ$ im Sommer durch MÜLLER, 1984 (s. seine Tab. 6 auf S. 18).

Damit gehen wir nun so vor:

a) Zur Modifikation der ersten Dreiermittelkorrektur $M - M_3$ berechnen wir aus den Werten von M_3 für 1981-1990 (s. Kap. 2.6) nach Formel (2) n' , daraus und aus n die Änderung

$$\Delta n = n' - n,$$

um die sich das arithmetische Mittel aus den drei Terminablesungen um 07.30, 13.30 und 19.30 Uhr MEZ verändert bei Vorverlegen der Termine um 45 Minuten; wir erhalten für Δn die Werte

-0,069 -0,069 -0,085 -0,070 -0,079 -0,064
-0,106 -0,040 -0,168 -0,142 -0,081 -0,027

Nun ersetzen wir in Formel (1) n durch $n + 0,5 \Delta n$ und m durch $m + \Delta m$ und erhalten anstelle von M_3 das modifizierte Dreiermittel \bar{M}_3 und daraus die modifizierte erste Dreiermittelkorrektur $M - \bar{M}_3$ mit den Werten

0,083 0,075 0,083 0,046 -0,004 0,042
0,074 0,048 0,098 0,048 0,051 0,081

Durch leichte Glättung erhält man daraus die Werte

0,08 0,08 0,07 0,04 0,02 0,04 0,06 0,07 0,07 0,06 0,06 0,07 (E)

Sie sind zur Reduktion auf die wahren Tagesmittel M von 1971-1975 zu den M_3 -Werten zu addieren.

b) Um die Modifikation der Viererkorrektur $M - M_4$ vornehmen zu können, braucht man die monatlichen Mittelwerte der Änderungen $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ der Temperatur beim Übergang von den Terminen 07.30, 13.30, 19.30 bzw. 21.30 Uhr MEZ zu 45 Minuten früher liegenden Zeitpunkten. Zu einer genauen Bestimmung müsste man also den mittleren Tagesgang der Temperatur in den einzelnen Monaten kennen. Wegen der oben erwähnten nicht eliminierbaren Unsicherheit der Methode begnügen wir uns, die monatlichen Mittelwerte von $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ aus den bereits vorhandenen Daten für die Jahre 1981-1990 wie folgt abzuschätzen:

- Die Werte für Januar, März und Juli entnehmen wir Fig. 5.1 auf S. 54 bei DE MONTMOLLIN⁷.

- Ihren ganzen Jahresverlauf bestimmen wir so, dass er ungefähr proportional ist zum Jahresverlauf der entsprechenden Werte in Genf, der in KLIMA 90, Band 2, Fig. 5.1 auf S. 76 angegeben ist (in guter Übereinstimmung mit den ebenfalls in der vorher erwähnten Fig. 5.1 bei DE MONTMOLLIN für Genf und für Januar, März und Juli ablesbaren Werten).

- Die erhaltenen Werte können durch Anbringen kleiner Korrekturen schliesslich so modifiziert werden, dass $\frac{1}{3}(\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)$ etwa mit den oben angegebenen Werten von Δn für dieselbe Zeitspanne übereinstimmen.

Meine **Annahme**, die sich daraus für die Schätzwerte ergibt, ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

⁷ Sie stimmen nur schlecht mit dem in KLIMA 90, Band 1, Fig. 5.2 auf S. 63 gegebenen Zürcher Tagesgang überein, der sich wohl auf ein anderes Zeitintervall (statt des angegebenen Intervalls 1981-1990) bezieht.

Δ_1 : 0,0 -0,1 -0,2 -0,4 -0,5 -0,5 -0,65 -0,55 -0,5 -0,25 -0,05 0,0
 Δ_2 : -0,35 -0,4 -0,45 -0,45 -0,45 -0,45 -0,55 -0,55 -0,6 -0,5 -0,35 -0,2
 Δ_3 : 0,15 0,3 0,4 0,65 0,75 0,8 0,9 0,95 0,65 0,4 0,2 0,15
 Δ_4 : 0,2 0,25 0,4 0,5 0,6 0,6 0,7 0,7 0,6 0,35 0,2 0,15

Aus diesen Zahlen berechnet sich gemäss der gemachten Annahme das modifizierte Vierermittel \bar{M}_4 nach der Formel

$$\bar{M}_4 = M_4 + \frac{1}{8}(\Delta_1 + \Delta_2 + 2 \Delta_4)$$

und daraus die modifizierte Vierermittelkorrektur $M - \bar{M}_4$:

-0,026 -0,010 -0,019 -0,019 -0,021 0,009
 0,065 0,122 0,087 0,046 0,000 -0,023

Die leicht geglätteten Werte sind

-0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,01 0,02 0,07 0,10 0,09 0,04 0,01 -0,02 (D)

Diese sind den originalen Vierermitteln vor 1971 zu addieren, damit man die wahren Mittel erhält. Die erhaltenen Zahlen sind kleiner als erwartet; die Trägheit der Hütten und die verfrühten Ablesungen hatten zur Folge, dass das Vierermittel das richtige Tagesmittel beachtlich gut wiedergab.

Man könnte einwenden, dass man, da die Wildsche Hütte etwas weniger träg war als die Stevenson-Hütte, die für die Zeit vor 1961 eine etwas veränderte Modifikation des Vierermittels ausführen sollte. Setzt man z. B. nur 15 Minuten für den gesamten Verfrühungseffekt ein (statt 22,5 Minuten), so würden jedoch die Werte von (D) nur um höchstens 0,01° vergrössert, so dass wir die obigen Werte auch für die Zeit vor 1961 verwenden wollen.

c) Um die Modifikation der zweiten Dreiermittelkorrektur abzuschätzen, brauchen wir die Änderungen $\Delta n'$, um die sich das arithmetische Mittel aus den 3 Terminen 06.45, 12.45 und 18.45 Uhr MEZ verändert bei Verfrühung um 45 Minuten von den genannten Zeiten aus. Man könnte in guter Näherung $\Delta n' = \Delta n$ setzen. Aus der erwähnten Fig. 5.1 bei DE MONTMOLLIN* (1993), S. 54 ersieht man, dass für die Änderungen $\Delta'_1, \Delta'_2, \Delta'_3, \Delta'_4$ der Temperatur beim Übergang von den Terminen 06.45, 12.45 und 18.45 Uhr zu 45 Minuten früher liegenden Zeitpunkten ziemlich genau gilt $\Delta'_1 = \Delta_1, \Delta'_2 = \Delta_2$ und $\Delta'_4 = \Delta_4$, aber Δ'_3 im Winter um etwa 0,1° grösser und im Sommer um etwa 0,3° kleiner ist als Δ_3 . Ich mache deshalb für Δ'_3 die folgende Annahme:

0,25 0,4 0,45 0,5 0,55 0,55 0,65 0,7 0,55 0,4 0,3 0,25

Tab. 2. Die einzelnen Korrekturen der Monatsmittel

Tab. 2. The corrections of the monthly means

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
1. Standortkorrektur (1864–1890)	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
2. Standortkorrektur (1864–1949)	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72
Ann. f. Red. Hausaufst. (1864–1873)	-0,04	-0,07	-0,10	-0,13	-0,18	-0,20	-0,20	-0,19	-0,13	-0,08	-0,03	-0,02	-0,11
1. Hüttenkorrektur – A (1874–1960)	-0,02	-0,06	-0,09	-0,14	-0,17	-0,15	-0,12	-0,09	-0,04	0,00	0,03	0,03	-0,07
2. Hüttenkorrektur – B (1874–1977)	-0,05	-0,08	-0,11	-0,13	-0,19	-0,25	-0,28	-0,28	-0,23	-0,16	-0,10	-0,06	-0,16
Red. auf THYGAN – C (1864–1983)	-0,12	-0,09	-0,04	-0,02	0,01	0,05	0,08	0,09	0,06	0,01	-0,05	-0,09	-0,01
Red. auf THYGAN 1984	-0,19	-0,16	-0,11	-0,09	-0,07	-0,08	-0,09	-0,09	-0,07	-0,11	-0,23	-0,35	-0,14
1985	-0,20	-0,15	-0,09	-0,08	0,01	0,05	0,08	0,14	0,13	0,05	-0,02	-0,09	-0,01
1986	-0,03	-0,05	0,03	-0,01	0,08	0,08	0,10	0,16	0,08	0,08	-0,02	-0,05	0,04
1987	-0,11	-0,07	0,03	-0,09	-0,06	-0,02	0,11	0,09	0,07	0,00	-0,01	-0,07	-0,01
1988	-0,06	-0,07	-0,01	-0,08	-0,03	-0,05	-0,04	-0,05	-0,06	-0,05	-0,25	-0,24	-0,08
1989	-0,31	-0,27	-0,11	-0,18	-0,11	-0,10	-0,10	-0,15	-0,15	-0,18	-0,35	-0,31	-0,19
1990	-0,40	-0,22	-0,17	-0,19	-0,15	-0,11	-0,15	-0,12	-0,14	-0,17	-0,23	-0,28	-0,19
Vierermittelkorr. D (1864–1970)	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	0,02	0,07	0,10	0,09	0,04	0,01	-0,02	0,02
Dreiermittelkorr. E (1971–1975)	0,08	0,08	0,07	0,04	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06
Dreiermittelkorr. F (1976–1977)	0,07	0,10	0,10	0,07	0,02	0,03	0,06	0,08	0,12	0,11	0,06	0,05	0,07
Dreiermittelkorr. G (1978–1980)	0,07	0,08	0,08	0,04	-0,01	0,00	0,03	0,04	0,07	0,07	0,05	0,06	0,05

Versuch einer Homogenisierung der Monatsmittel der Zürcher Temperaturreihe

Tab. 3. Die Homogenisierungsbeiträge für die Monatsmittel

Tab. 3. *The homogenization amounts for the monthly means*

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Berechnung
1864–1873	-0,94	-0,94	-0,92	-0,93	-0,94	-0,89	-0,81	-0,76	-0,74	-0,79	-0,83	-0,89	-0,86	-0,76-(A+B)/2-C+D
1874–1890	-0,97	-1,01	-1,02	-1,07	-1,12	-1,09	-1,01	-0,94	-0,88	-0,87	-0,87	-0,90	-0,98	-0,76-A-B-C+D
1891–1949	-0,93	-0,97	-0,98	-1,03	-1,08	-1,05	-0,97	-0,90	-0,84	-0,83	-0,83	-0,86	-0,94	-0,72-A-B-C+D
1950–1960	-0,21	-0,25	-0,26	-0,31	-0,36	-0,33	-0,25	-0,18	-0,12	-0,11	-0,11	-0,14	-0,22	-A-B-C+D
1961–1970	-0,19	-0,19	-0,17	-0,17	-0,19	-0,18	-0,13	-0,09	-0,08	-0,11	-0,14	-0,17	-0,15	-B-C+D
1971–1975	-0,09	-0,09	-0,08	-0,11	-0,16	-0,16	-0,14	-0,12	-0,10	-0,09	-0,09	-0,08	-0,11	-B-C+E
1976–1977	-0,10	-0,07	-0,05	-0,08	-0,16	-0,17	-0,14	-0,11	-0,05	-0,04	-0,09	-0,10	-0,10	-B-C+F
1978–1980	-0,05	-0,01	0,04	0,02	0,00	0,05	0,11	0,13	0,13	0,08	0,00	-0,03	0,04	-C+G
1981–1983	-0,12	-0,09	-0,04	-0,02	0,01	0,05	0,08	0,09	0,06	0,01	-0,05	-0,09	-0,01	-C
1984	-0,19	-0,16	-0,11	-0,09	-0,07	-0,08	-0,09	-0,09	-0,07	-0,11	-0,23	-0,35	-0,14	
1985	-0,20	-0,15	-0,09	-0,08	0,01	0,05	0,08	0,14	0,13	0,05	-0,02	-0,09	-0,01	
1986	-0,03	-0,05	0,03	-0,01	0,08	0,08	0,10	0,16	0,08	0,08	-0,02	-0,05	0,04	
1987	-0,11	-0,07	0,03	-0,09	-0,06	-0,02	0,11	0,09	0,07	0,00	-0,01	-0,07	-0,01	
1988	-0,06	-0,07	-0,01	-0,08	-0,03	-0,05	-0,04	-0,05	-0,06	-0,05	-0,25	-0,24	-0,08	
1989	-0,31	-0,27	-0,11	-0,18	-0,11	-0,10	-0,10	-0,15	-0,15	-0,18	-0,35	-0,31	-0,19	
1990	-0,40	-0,22	-0,17	-0,19	-0,15	-0,11	-0,15	-0,12	-0,14	-0,17	-0,23	-0,28	-0,19	
1991–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Daraus berechnet man

$$\Delta n' = \frac{1}{3} (\Delta'_{1} + \Delta'_{2} + \Delta'_{3}).$$

Formel (2) liefert dann bei Ersetzung von n' durch $n' + 0,5 \square \Delta n'$ und von m durch $m + \Delta m$ anstelle von M' , das modifizierte Dreiermittel \overline{M}'_3 , und daraus erhält man die modifizierte zweite Dreiermittelkorrektur $M - \overline{M}'_3$:

0,080 0,093 0,115 0,084 -0,014 0,024

0,086 0,025 0,175 0,102 0,052 0,040

mit den leicht geglätteten Werten

0,07 0,10 0,10 0,07 0,02 0,03 0,06 0,08 0,12 0,11 0,06 0,05 (F)

Diese sind für die Reduktion auf die wahren Tagesmittel von 1975–1977 zu den M'_3 -Werten zu addieren.

d) Für die Zeit 1978–1980 muss, da die Originalwerte nicht mehr in der Stevenson-Hütte gemessen wurden, die unmodifizierte zweite Dreiermittelkorrektur (7) genommen werden. Da diese für die Zeit 1981–1990 bestimmt wurde, verwendet man am besten ihre leicht geglätteten Werte

0,07 0,08 0,08 0,04 -0,01 0,00 0,03 0,04 0,07 0,07 0,05 0,06 (G)

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die einzelnen Korrekturen sind in Tab. 2 zusammengestellt, die daraus abgeleiteten Homogenisierungsgrößen (die zu den Originalwerten addiert werden müssen, um sie auf den THYGAN-Standard zu reduzieren) in Tab. 3. In Tab. 4 sind die auf dieser Grundlage homogenisierten Monats- und Jahresmittel der Zürcher Temperaturreihe dargestellt, gemittelt über die üblichen 30-jährigen Klimaperioden. Daraus ist die Klimaerwärmung von 1° in 100 Jahren ersichtlich.

Eine detaillierte Entwicklung unseres Klimas ist aus den gleitenden Mittelwerten aus je 11 aufeinander folgenden Jahren zu ersehen. In Tab. 5 sind diese 11er-Mittel der homogenisierten Jahresmittel von 5 zu 5 Jahren berechnet (die Angabe aller homogenisierten Monats- und Jahresmittel

Tab. 4. Homogenisierte Monats- und Jahresmittel für die Klimaperioden

Tab. 4. *The homogenized monthly and yearly means for the climatic periods*

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
1871–1900	-2,5	-0,4	3,1	7,6	11,3	15,4	17,3	16,5	13,2	7,5	2,8	-1,4	7,5
1901–1930	-1,1	-0,1	3,7	7,2	12,1	14,9	16,7	16,1	12,9	8,1	2,9	0,3	7,8
1931–1960	-1,2	0,1	4,3	8,3	12,4	15,7	17,4	16,9	13,9	8,6	3,7	0,1	8,3
1961–1990	-0,5	0,9	4,3	7,9	12,2	15,4	17,7	16,9	14,1	9,4	4,0	0,5	8,6

⁸ Diese Tatsache kann als Beweis dafür angesehen werden, dass die Klimaerwärmung **höchstens zum Teil** menschlichen Ursprungs ist.

Tab. 5. Elfjahresmittel der Temperatur

Tab. 5. 11-year means of the temperature

1865–1875	8,1°	1930–1940	8,0°
1870–1880	7,7°	1935–1945	8,1°
1875–1885	7,6°	1940–1950	8,5°
1880–1890	7,2°	1945–1955	8,7°
1885–1895	7,1°	1950–1960	8,5°
1890–1900	7,6°	1955–1965	8,3°
1895–1905	7,7°	1960–1970	8,3°
1900–1910	7,6°	1965–1975	8,4°
1905–1915	7,7°	1970–1980	8,4°
1910–1920	7,8°	1975–1985	8,7°
1915–1925	7,8°	1980–1990	8,8°
1920–1930	8,1°	1985–1995	9,1°
1925–1935	8,0°	1990–2000	9,5°

würde den Rahmen dieses Artikels sprengen): Nach der vorübergehenden Erwärmung gegen 1870 zeigt sich eine starke Abkühlung bis zum Minimum um 1890 (Ende der «kleinen Eiszeit»), dann ein anfangs starker, später schwächerer, zeitweise sogar unterbrochener Anstieg bis zum hohen Maximum 1945–1955. Die nachfolgenden 2 Jahrzehnte

waren wieder etwas (aber deutlich) kälter⁸; dann folgte der jetzige Anstieg, der um 1990 bereits das 1950er-Maximum weit übertraf.

4 LITERATUR

ANNALEN der SMA (seit 1. Dezember 1863) – SMA, Zürich.

DE MONTMOLLIN, A. 1993. Comparaisons de différentes méthodes de calcul de la température journalière dans leurs influences sur les longues séries d'observations. – Veröff. der SMA Nr. 53, Zürich, 144 pp.

KLIMA 90. 1996. Klimatologie der Schweiz, Klimatologie 1961–1990. (2). Bereinigte Zeitreihen. Die Ergebnisse des Projekts Klima 90, 4 Bde. – SMA, Zürich, 900 pp.

MAURER, J., BILLWILER, R. & HESS, C. 1909/10. Das Klima der Schweiz, Band 2. – Huber, Frauenfeld, 218 pp.

MÜLLER, G. 1984. Vergleich der Temperaturen verschiedener Wetterhütten an einigen Stationen des ANETZ. Arbeitsberichte der SMA Nr. 119. – SMA, Zürich, 36 pp.

SCHÜEPP, M. 1961. Langjährige Temperaturreihen. Klimatologie der Schweiz, Standardreihe. (2) (I/C 2. Teil), Beiheft zu den ANNALEN 1960. – SMA, Zürich, 62 pp.

SCHWARZE BÄNDE. Im Archiv der SMA für verschiedene Stationen (für Zürich von 1864 bis 1970), handgeschrieben.

Dr. H. Bachmann, Im Klösterli 10, 8044 Zürich