

Nr. 171

**Untersuchung zur Übereinstimmung von Messungen
der Klimaelemente Lufttemperatur, Luftdruck und
relativer Luftfeuchtigkeit mittels herkömmlicher
Ablesung der Instrumente und
automatisch erfasster Daten**

von

Othmar Gisler

August 1992

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



**Untersuchung zur Übereinstimmung von Messungen
der Klimaelemente Lufttemperatur, Luftdruck und
relativer Luftfeuchtigkeit mittels herkömmlicher
Ablesung der Instrumente und
automatisch erfasster Daten**

von

Othmar Gisler

August 1992

Zusammenfassung

An 29 Stationen des klimatologischen Messnetzes wurden während verschieden langen Zeitperioden nach der Aufstellung einer automatischen Station Parallelmessungen durchgeführt. An einem ausgewählten Kollektiv wurden für die drei Klimaelemente Lufttemperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchtigkeit aus klimatologischer Sicht diese Parallelmessungen mit statistischen Methoden auf ihre an einer Station zu erwartende, gegenseitige Übereinstimmung hin untersucht.

Alle mittleren Vergleiche der behandelten Elemente an Stationslagen bis in mittlere Höhen genügen den Genauigkeitsansprüchen. Bei Messungen der Lufttemperatur auf Höhenstationen kann der Grenzwert der Genauigkeit überschritten werden, da der Standardfehler der Messdifferenz höhenabhängig ist. Die Genauigkeit der konventionellen Temperaturmessung, trotz der zeitlich nicht gleich genau ausführbaren Beobachtung durch den Stationswart, kann bestätigt werden. Der Standardfehler der Messdifferenz der relativen Luftfeuchtigkeit kann in Gipfellagen bis auf das Dreifache ansteigen, bleibt aber im tolerierbaren Bereich.

Diese Aussagen beziehen sich auf hochpassgefilterte Daten. Durch die Verwendung korrigierter Originaldaten für gleiche Untersuchungen bewegt man sich in Richtung unvorteilhafterer statistischer Werte.

Résumé

Des mesures parallèles ont été conduites pour des périodes de différentes durées pour 29 stations du réseau de mesures climatologiques à la suite de l'installation d'une station automatique. Ces mesures parallèles ont été examinées pour un collectif restreint avec des méthodes statistiques quant à leur consistance climatologique (concordance des mesures à une même station) pour les trois éléments climatologiques: température de l'air, pression de l'air et humidité relative.

Les comparaisons moyennes de ces trois éléments suffisent aux exigences de précision pour toutes les stations jusqu'à des altitudes moyennes. Aux stations de montagne, la valeur limite de précision peut être dépassée pour les mesures de température, car l'erreur standard des différences de mesures est dépendante de l'altitude. La précision de mesure de la température conventionnelle peut être confirmée, malgré le fait que le gardien de station ne mesure pas toujours exactement au même moment. L'erreur standard des différences de mesures de l'humidité relative pour des stations de haute montagne peut atteindre un facteur de trois, mais reste dans le domaine tolérable.

Ces affirmations concernent des données filtrées passe-haut. L'utilisation des valeurs originales corrigées pour ces mêmes vérifications donne des valeurs statistiques moins bonnes.

Riassunto

Presso 29 punti di misura della rete climatologica, durante periodi di tempo di varia lunghezza, sono stati eseguiti rilevamenti paralleli dopo l'installazione della stazione automatica. Di un gruppo di stazioni scelte, le misure parallele della temperatura dell'aria, pressione atmosferica e umidità relativa sono state analizzate dal profilo climatologico con metodi statistici per stabilire la concordanza reciproca da aspettarsi per ogni stazione.

Per le stazioni di bassa e media quota tutti i confronti medi degli elementi considerati adempiono i requisiti di precisione richiesti. Per le misure della temperatura ad alta quota invece, il valore soglia della precisione può essere superato, in quanto l'errore standard degli scarti di misura è dipendente dall'altezza. Comunque, e nonostante la difficoltà di eseguire le osservazione sempre esattamente allo stesso momento, la precisione delle misure convenzionali della temperatura può essere confermata. L'errore standard dello scarto di misura dell'umidità relativa nelle stazioni poste sulle cime può aumentare fino a tre volte, ciò che comporta però dei valori ancora accettabili.

Queste affermazioni si basano su dati elaborati con un filtro passa-alto. Adoperando i dati originali corretti per la stessa analisi ci muove in direzione di valori statistici più sfavorevoli.

Abstract

At 29 stations of the swiss climatic observing network, parallel observations of very different durations have been made after the installation of an automatic weather observing station. For a smaller ensemble of these stations, these parallel measurement series have been investigated for three parameters - temperature, pressure and humidity - from a climatological viewpoint.

For these parameters, the comparisons of the means fulfil for all the stations at mean altitude the requested accuracies. For the temperature measurements at high altitude, the requested accuracy is no longer be fulfilled, for the standard error of the differences between the parallel measurement series is a function of altitude. The accuracy of the conventionally measured temperature can be assessed, although the readings made by the observer do not always take place at the same exact time. The standard error of the differences in the measurements of the relative humidity can, for stations located on mountain summits, grow up to three times the values computed for the low altitude stations. Nevertheless, it remains in the domain of tolerance.

These considerations rely on high-pass filtered data. When the corrected original data are used for the same investigations, statistical values of a lesser quality are obtained.

Inhaltsverzeichnis

1.	<i>Einleitung</i>	5
1.1.	Zielsetzung und Abgrenzung	5
-1.2.	Datenmaterial	5
	1.2.1. Stationsauswahl, Standorte und Zeitabschnitte	5
	1.2.2. Zeitliche Auflösung der Untersuchungen	7
1.3.	Begriffe	7
1.4.	Einige statistische Begriffe	10
	1.4.1. Differenz und Variabilität	10
	1.4.2. Streuung	12
	1.4.3. Vertrauensgrenzen - Vertrauensbereich	12
1.5.	Zusammenhänge verschiedener Streubegriffe (Fehlerarten) aus der Sicht der WMO	13
1.6.	Methodische Bemerkungen	14
	1.6.1. Mittelwert	14
	1.6.2. Störende Einflüsse - Gleitende Mittelbildung - Residuen	14
	1.6.3. Streuung - Vertrauensbereich	15
2.	<i>Untersuchungen</i>	16
2.1.	Allgemeines	16
	2.1.1. Lufttemperatur	16
	2.1.2. Luftdruck	17
	2.1.3. Luftfeuchtigkeit	19
2.2.	Differenzen	20
	2.2.1. Lufttemperatur	20
	2.2.2. Luftdruck und Luftfeuchtigkeit	22
2.3.	Variabilität	22
	2.3.1. Lufttemperatur	22
	2.3.2. Luftdruck	25
	2.3.3. Relative Luftfeuchtigkeit	29
2.4.	Streuung	33
	2.4.1. Lufttemperatur	33
	2.4.2. Luftdruck	39
	2.4.3. Relative Luftfeuchtigkeit	40
2.5.	Standardfehler und Vertrauensgrenzen	41
	2.5.1. Lufttemperatur	42
	2.5.2. Luftdruck	43
	2.5.3. Relative Luftfeuchtigkeit	44
	2.5.4. Temperaturmessung mit zwei verschiedenen Fühlern innerhalb derselben Wetterhütte	45

3.	<i>Zusammenfassung</i>	49
3.1.	Lufttemperatur	49
3.2.	Luftdruck	50
3.3.	Relative Luftfeuchtigkeit	50
3.4.	Genauigkeitsvergleich	50
3.5.	Vergleich einiger statistischer Grössen mit der Fehlerrelation der WMO	51
3.6.	Bemerkung zu den CONRAD'schen Reduktionsbeurteilungsfaktoren	52
4.	<i>Schlussbetrachtungen</i>	53
5.	<i>Tabellenverzeichnis</i>	54
6.	<i>Figurenverzeichnis</i>	56
7.	<i>Literatur</i>	57

1. Einleitung

“1984 wurde in der Schweiz der Aufbau eines umfassenden Netzes von teilautomatisierten Wetterstationen abgeschlossen, das auch international zu den grössten und modernsten Einrichtungen dieser Art gehört. Ziel der 1974 begonnenen Entwicklung eines solchen Systems war die Bereitstellung von Messdaten in hoher Auflösung in digitaler Form aus einem dichten Netz bei 24-stündigem Betrieb.” (GUTERMANN 1986, Seite 3). Das sogenannte ANETZ (Automatische Messnetz) steht inzwischen samt den damit verbundenen mehrjährigen Erfahrungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) zur Verfügung. Die Daten sind in zeitlich unterschiedlich aufgelöster Form weiteren Benutzern zugänglich, so auch der Klimatologie. Aus klimatologischer Sicht erscheinen derart fein aufgelöste Messwerte als bestechende Möglichkeit, neuartige und detailliertere Analysen anzustellen. Diese Ausprägung klimatologischer Arbeitsweise wollen wir hier in den Hintergrund stellen. Vorerst interessiert die Vergleichbarkeit von klimatologischem Datenmaterial, welches durch eine in der Messmethodik begründete Änderung gekennzeichnet ist.

1.1. Zielsetzung und Abgrenzung

In dieser Arbeit wird eine Aussage angestrebt bezüglich der Vergleichbarkeit von Messungen nach herkömmlicher Methode erfasster Daten der klimatologischen Elemente Lufttemperatur, Luftdruck und relativer Feuchtigkeit (bis ca. 1980) mit Messwerten automatisierter Stationen, möglichst am selben Ort, zu selber Zeit erfasst (ab ca. 1980). Die Aussage über die Vergleichbarkeit ist eng mit der Fragestellung verbunden, wie genau die erste Messmethodik durch die zweite ersetzt werden kann. Wir versuchten die Untersuchung so zu gestalten, dass möglichst keine störenden Einflüsse die Daten und damit die Aussage verfälschen können (vgl. 1.6). Beispielsweise wollten wir nicht bereits bekannte Einflussgrößen auf Messungen neu untersuchen (Hütteneffekt), weder wollten wir instrumentelle noch methodische Schwierigkeiten in den Vordergrund stellen. Diese Ausführungen sollen für zeitlich und räumlich parallel messende Stationen gelten. Sobald sich die Horizontalabstand oder der zeitliche Unterschied der Erfassung von Messwerten an den Vergleichspunkten über Gebühr erhöht, schleichen sich systematische Fehler ein, denen hier nicht nachgegangen wird. Fragen nach dem unterschiedlichen Verhalten diverser Mittelungsverfahren möchten wir ebenso ausklammern wie eine Beurteilung, ob und wie gut die gemessenen Werte mit dem sogenannten wahren Wert übereinstimmen. Wir gehen vom Grundsatz aus, dass die automatische Station in erster Linie eine Austauschbarkeit der konventionellen klimatologischen Messung unter örtlicher und zeitlicher Koinzidenz von praktisch 100% aufweisen soll. Diese Austauschbarkeit kann zur Untermauerung eines zukünftigen Entscheides dienen, konventionell messende Stationen durch automatisierte Stationen ersetzen zu wollen. Insofern ist die Fragestellung von grösserer klimatologischer Bedeutung. Es geht uns somit darum, die Übereinstimmung zwischen konventioneller und automatischer Erfassungsmethode darzustellen, wie sie sich unter praktischen Bedingungen anbieten kann. An dieser Stelle möchten wir betonen, dass wir alle dargestellten Resultate und Überlegungen in dieser Arbeit nicht verwechseln wollen mit den unter Laborbedingungen erzielten Resultaten! Unsere Vergleiche werden gröber ausfallen. Vergleichende Untersuchungen im Labor sind in der Regel mit identischen Versuchsbedingungen für die Vergleichsinstrumente versehen. Diese Arbeit möchte demgegenüber den “Feldversuch mittels Parallelmessung” aus klimatologischer Sicht beleuchten. Die Qualität des Vergleichs in der Praxis ist eindeutig und mit hohem Prozentsatz vom Zustand, Unterhalt und der Bedienung der Instrumente sowie dem Zustand des Übermittlungsmediums abhängig. Diesen Aspekt beschreibt in der Regel die Stationsdokumentation, und dort zusätzlich das zwischen den Zeilen zu lesende. Die vorliegenden Resultate gelten für den Idealfall. In der Praxis sind sie weiter den durch den laufenden Dienst dokumentierten stationsgeschichtlichen Ereignissen unterworfen. Somit erhalten sie im allgemeinen eine die Qualität des oben erwähnten Vergleichs kaum verbessernde Komponente.

1.2. Datenmaterial

1.2.1. Stationsauswahl, Standorte und Zeitabschnitte

Insgesamt konnte auf einen Bestand von 29 parallel messenden Stationen zurückgegriffen werden. Der Ausdruck “Parallelmessung” bezieht sich in erster Linie auf Messungen gleicher Klimaelemente zu gleicher Zeit an möglichst demselben Ort. Die beiden ersten Bedingungen können ohne grosse Probleme eingehalten werden. Die örtliche Komponente der Parallelmessungen war aus mannigfachen Gründen nicht immer optimal erfüllbar (Figur 1). Nach den ersten Untersuchungen musste eine Reduktion des Kollektivs vorgenommen werden. Mit grafischen Methoden wurden die stationsgeschichtlichen Angaben mit Zeitreihengrafiken der Tagesmitteldifferenz zwischen konventioneller

und automatischer Elementemessung gleicher Zeitabschnitte verglichen. Wenn zwischen stationsgeschichtlichem Ereignis und auffälligem Differenzverhalten der Zeitreihe Koinzidenz bestand, wurden die entsprechenden Abschnitte markiert. Aufgrund von Perioden mit wenig Markierungen schälten sich die in Tabelle I aufgeführten Stationen und Zeitabschnitte für eine nähere Betrachtung heraus.

Figur 1: Relative geografische Lage der konventionellen und automatischen Stationsaufstellungen an mehreren Parallelmessstationen

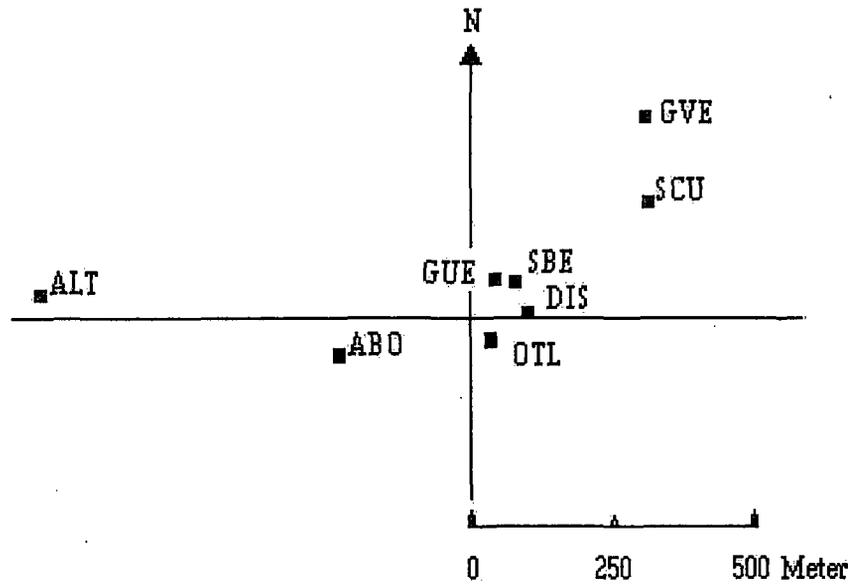


Tabelle I: Zeitabschnitte und Meereshöhen der verwendeten Parallelmessreihen

Station	Elemente		
	Temperatur	Luftdruck	Luftfeuchtigkeit
Jungfrauoch	3.1982-3.1983	1981-1982	1982
Weissfluhjoch	1986-1987	1985	-
Gütsch	1981-1982	1981-1982	1981-1982
San Bernardino	1982	1982	1982
Adelboden	-	1985	-
Schuls	1980-1981	-	1980-1981
Disentis	1979-1980	1980	-
Schaffhausen	1981-1982	1982	1981-1982
Altdorf	1978-1980	1979-1980	1979
Genf	1982-1983	1984-1985	1985
Locarno	1981-1983	1985	1987-1988
Basel	1978	-	-
Lugano	1979-1980	1978-1980	1980

Station	Meereshöhe [müM]	Abkürzung in Tabellen
Jungfrauoch	3572	JUN
Weissfluhjoch	2667	WFJ
Gütsch	2280	GUE
San Bernardino	1628	SBE
Adelboden	1325	ABO
Schuls	1295	SCU
Disentis	1180	DIS
Schaffhausen	457	SHA
Altdorf	451	ALT
Genève (Genf)	430	GVE
Locarno	379	OTL
Basel	317	BAS
Lugano	276	LUG

1.2.2. Zeitliche Auflösung der Untersuchungen

In dieser Arbeit werden vornehmlich die Tagesmittelwerte der parallel gemessenen Klimaelemente betrachtet. Für einige Spezialfragen wird der Sachverhalt für Termin- und Monatswerte untersucht und dargestellt. Es wird versucht, eine allgemein gültige Aussage zum Verhalten einzelner Messungen innerhalb des gewählten Kollektives anzustreben.

1.3. Begriffe

Die World Meteorological Organisation (WMO) führt in ihrem "Guide to meteorological instruments and methods of observation" (WMO 1983, Seite 1.9 ff.) eine Liste mit verschiedenen Begriffen und Definitionen. Deren Inhalt bezieht sich auf die Messungen und schildert allgemeine Anforderungen an die Genauigkeit. Einen Auszug aus dieser Liste setzen wir an den Anfang unserer Ausführungen, weil die Bedeutung und die richtige Verwendung der Begriffe uns als wichtig erscheint. Nicht allein der Messwert als Zahl ist von Bedeutung, sondern auch sein Anteil an den ihn näher beschreibenden statistischen Masszahlen. Wir beschränken uns in der Erwähnung von Definitionen zu Begriffen auf die in dieser Arbeit an mehreren Orten verwendeten und als wichtig erachteten Ausdrücke.

Wahrer Wert (true value):

Der Wert, von welchem angenommen wird, dass er eine Menge Bedingungen charakterisiert, welche zum Messzeitpunkt (oder zum Beobachtungszeitpunkt) herrschen. Er ist ein ideeller Wert, welcher nur erkannt werden kann, wenn sämtliche Fehlerquellen eliminiert werden können.

Genauigkeit (accuracy):

Das Ausmass, mit welchem eine Messung mit dem wahren Wert übereinstimmt. Dies geschieht unter der Annahme, dass alle bekannten Korrekturen angewendet wurden. Der quantitative Ausdruck für dieses Ausmass sollte durch die Beschreibung einer Unsicherheit erfolgen (Fehlerwahrscheinlichkeit).

Unsicherheit (uncertainty):

Ein Intervall, in welchem der wahre Wert einer gemessenen oder beobachteten Menge mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann.

Präzision (precision):

Die Nähe der Übereinstimmung zwischen unabhängigen Messungen einer Beobachtungsgrösse, welche durch die Verwendung einer definierten Messmethodik mehrere Male unter beschriebenen (denselben) Bedingungen erhoben wurde.

Genauigkeit hat zu tun mit der "Nähe zum wahren Wert", Präzision mit "Übereinstimmung unter Messwerten".

Reproduzierbarkeit (reproducibility):

Die Nähe der Übereinstimmung zwischen Messungen desselben Wertes einer Messgrösse, welche unter verschiedenen Bedingungen zustandekommt und welche fehlerhaften Einflüssen gestattet, sich zu entwickeln (verschiedene Beobachter, Instrumente, Orte, Zeitintervalle).

Übereinstimmung:

Wir untersuchen in dieser Arbeit einerseits nicht die "Genauigkeit", wir kennen ja den wahren Wert nicht. Andererseits ist der Ausdruck "Reproduzierbarkeit" für unsere Parallelmessungen zu streng gefasst. Die zeitliche Übereinstimmung der Messwerte des gleichen Terminzeitpunktes mit den beiden Methoden ist nur bedingt gegeben. Somit messen wir streng genommen nicht "denselben" Wert einer Messgrösse. Diese beiden Begriffe (Genauigkeit und Reproduzierbarkeit) wollen wir in diesem erweiterten Sinn verwenden. Dafür setzen wir den Begriff "Übereinstimmung" ein.

Fehler (error):

Der Unterschied zwischen dem Resultat einer Messung und dem wahren Wert einer gemessenen Grösse. Dieser Ausdruck wird auch verwendet für eine Differenz zwischen einem Messresultat und der besten Schätzung des wahren Wertes. Der beste Näherungswert kann ein Mittelwert einiger oder vieler Messungen sein.

Systematischer Fehler (systematic error):

Der Teil des Fehlers, welcher entweder:

- a) wertkonstant bleibt im Laufe einer Anzahl Messungen derselben Beobachtungsgrösse; oder
- b) sich gemäss einem bestimmten Gesetz unter bestimmten Bedingungen ändert.

Zufallsfehler, zufälliger Fehler (random error):

Der Teil des Fehlers, welcher sich in einer unvorhersehbaren Art und Weise in Grösse und Vorzeichen verändert, wenn Messungen desselben Wertes unter gleichen Bedingungen angestellt werden.

Quasikonstanz (quasiconstancy):

Die Differenzen der Messwerte eines Klimaparameters an zwei nicht zu weit entfernten Orten verhalten sich viel konstanter als die Messwerte selber. Diese Annahme verliert ihren Sinn, wenn die Veränderlichkeit der Differenzen der gemessenen Werte gleich der Veränderlichkeit des untersuchten Elementes wird (CONRAD, POLLAK 1950, 238ff.).

Automatische Messung, - Methode:

Neuzeitliche klimatologische Messung eines oder mehrerer Klimaelemente mit den entsprechenden Sensoren einer automatischen Station der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA). Es handelt sich um Momentanwerte der verschiedenen Elemente, welche automatisch durch die verschiedenen Sensoren erfasst werden.

Sinngemäß sind auch Ausdrücke wie "automatisches Instrument, automatische Erfassung" etc. zu verstehen.

Konventionelle Messung, - Methode:

Herkömmliche klimatologische Messung eines oder mehrerer Elemente mit den entsprechenden Sensoren einer bis ca. 1980 allgemein im klimatologischen Netz der SMA geführten Klimastation. Es handelt sich um Momentanwerte der verschiedenen Elemente, welche durch einen Beobachter an dieser Station erfasst wurden.

Sinngemäß sind auch Ausdrücke wie "konventionelles Instrument, konventionelle Erfassung" etc. zu verstehen.

Parallelmessung

Messung eines oder mehrerer meteorologischer Elemente am selben Ort und zur selben Zeit mit mindestens zwei verschiedenen Instrumenten oder Mess-, resp. Beobachtungsverfahren. Diese Messanordnung dient dem Vergleich der an der Messung beteiligten Instrumente, Beobachtungsverfahren oder Aufstellungen zur Feststellung der Identität der Messung.

Methodendifferenz, -unterschied:

Damit bezeichnen wir im folgenden einen Vergleich zwischen Messwerten konventioneller Messtechnik (Stevenson-Screen, - auch als Wetterhütte bezeichnet -, Beobachter, Quecksilberthermo- und -barometer, Haarhygrometer) und automatisierter Messtechnik (ventiliertes Widerstandsthermometer, Anaeroidbarometer, Haarhygrometer oder THYGAN). Diese Bezeichnung soll in keinem Sinne wertend aufgefasst werden, sie soll lediglich die Schreibweise vereinfachen.

Hütteneinfluss (va. bezogen auf die Temperatur):

Jahreszeitlich und tageszeitlich auftretender Effekt der leichten Verfälschung der Temperaturmessung in der Wetterhütte durch diverse Einflussgrößen (Thermische und materialabhängige Trägheit; Psychrometereffekt; Frontdurchgänge, etc.).

Psychrometereffekt:

Verfälschung der Temperaturmessung in der Wetterhütte durch Abkühlung des Thermofühlers infolge Wärmeentzug an seiner Oberfläche durch Verdunstung von angelagerter Feuchtigkeit (Niederschlag, Nebel, Schnee etc.).

Mittelwert:

Wenn nicht ausdrücklich anders vermerkt, wird für die *Tagesmittelbildung das einfache Dreiermittel* verwendet. Diese Tagesmittelwerte werden zur Bildung von Monatsmittelwerten weiterverwendet. Wir wollten bewusst auf das Einbringen von zusätzlichen Komplikationen in die vergleichenden Untersuchungen bei Temperatur- oder Feuchtemittelung verzichten (vgl. 1.6). Die Thematik der Verhaltensweisen verschiedener Mittelungsformeln untereinander wird andernorts eingehend untersucht (DE MONTMOLLIN, 1992).

Instrument, Fühler, Sensor:

Mit diesen synonym gebrauchten Ausdrücken sind die konventionellen und automatischen Messinstrumente gemeint, womit die Parallelmessungen ausgeführt wurden.

1.4. Einige statistische Begriffe

1.4.1. Differenz und Variabilität

Einzig beim Element Lufttemperatur führen wir eine Differenzentabelle auf, welche unbehandelte Daten enthält (nicht korrigierte oder justierte Daten). Die Interpretation einer Differenz bietet je nach vorgängig eingebrachter, an die Untersuchung angepasster Berechnung, mehr oder weniger Gehalt. Somit erübrigen sich an dieser Stelle weitere Bemerkungen zu dieser Verfahrensweise.

Wenn zwei Messstationen im Raum etwa dieselbe Höhenlage aufweisen, nicht zu weit auseinanderliegen und ähnlich exponiert sind, so verlaufen die Messungen, über längere Zeiträume betrachtet, mehr oder weniger gleichsinnig. Vergleicht man die Messwerte an beiden Stationen, variieren sie recht viel. Betrachtet man jedoch die Differenzen zwischen den Messungen, wird die Variation sehr viel kleiner. RUBINSTEIN (1922) hat diese Ansicht der Variabilität oder Veränderlichkeit klimatologischer Elemente als

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (1)$$

festgelegt. Sie kann als durchschnittlicher Betrag der Abweichungen der Einzelwerte von ihrem Durchschnittswert bezeichnet werden. RUBINSTEIN ging dabei vom Begriff der Quasikonstanz der klimatologischen Messungen aus. Auf unsere Parallelmessungen angewendet, findet man für die Horizontaldistanzen zwischen parallel messenden Stationen definitionsgemäss geringe Werte. Somit muss sich die Variabilität der Differenzen in sehr kleinen Grenzen bewegen. Wir können an einzelnen Stationen weiter gehen und annehmen, die Variabilität der Parallelmessungen sei nur durch den Zufall bedingt. Somit könnten wir den Betrag der summierten Differenzen pro Stichprobenanzahl als

Mass für die Präzision der Messungen verwenden.

Für unsere Betrachtungen ist ein solches Streumass allerdings nicht sehr geeignet, da durch die einfache Differenzbildung zwischen konventionellen und automatischen Messwerten (x_i , resp. y_i) gleicher zeitlicher Ableseung sich naturgemäss ein Mittelwert der Differenzen von $\bar{\Delta} = \bar{x} - \bar{y} = 0$ einstellt. Dies gilt insbesondere für den Variabilitätskoeffizienten nach CONRAD und POLLAK (1950, Seite 38ff.; CV=coefficient of variation; s=Streuung des Kollektives, Gleichung 2). Er bezieht sich auf den Mittelwert einer betrachteten Grösse. Die Variabilität V ist nur für die von möglichst allen Nebeneinflüssen befreiten Werte anwendbar (CONRAD, POLLAK 1950, Seite 50ff.). Dies ist naturgemäss schwierig zu realisieren, somit ist diese Grösse recht anfällig auf störende Einflüsse.

$$CV = 100 \cdot \frac{s}{\bar{x}} \quad (2)$$

Die Variabilität wurde ursprünglich zur Beurteilung der Frage gebraucht, ob eine Messreihe auf eine zweite reduziert werden dürfe. Die Veränderlichkeit wird auch als "Durchschnittsfehler der Messung" oder "mittlerer Absolutfehler" bezeichnet (SCHÖNWIESE 1985, Seite 90).

CONRAD nimmt an, dass die Variabilität eines Klimaparameters sich im Raum zwischen zwei Messstationen quasikonstant verhält. Da für unsere Vergleiche der "Raum" zusammengeschrumpft auf das Messfeld an einer Station, wird dadurch die Variabilität des Klimaparameters an sich interessant aufgrund der Verwendung zweier verschiedener Instrumente zu dessen Erfassung. Da das automatische Temperaturinstrument mit seinem völlig andern Messprinzip für den gleichen Zweck bestimmt ist wie das Quecksilberthermometer, nämlich der Erfassung der Temperatur zu dienen, bezeichnen wir diese Zweckidentität als die instrumentelle Quasikonstanz. Wir untersuchen zwei verschiedene Messinstrumente, welche theoretisch am selben Ort betrieben werden und eine Erfassung des gleichen Zustandes der Atmosphäre darstellen sollen (eine vernachlässigbar kleine Horizontalabstand ist aufstellungsbedingt vorhanden). Der Vergleich geschieht nach folgenden Gleichungen.

n = Anzahl Messungen

x_i = Einzelmessung; $i=1..n$

\bar{x} = Mittelwert der Einzelmessungen

$\mu(x)$ = Variabilität der Messungen ; $\mu(\text{Element})$ = Variabilität eines meteorologischen Elementes

x resp. y stehen je für konventionelle resp. automatische Messung und sind gegeneinander austauschbar

$$\mu(x) = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (3)$$

$$\mu(x - y) = \mu(\text{Differenz}) = AV_{qc}$$

qc = Quasikonstanz

$$qc \leftarrow \mu(\text{Differenz}) = c \cdot \mu(\text{Element}) \quad (4)$$

und $c < 1$, somit kleiner als die Elementeariabilität (nach CONRAD, POLLAK 1950, p. 238/39). Nur wenn $c < 1$, gilt nach CONRAD, dass eine Reduktion einer Messreihe auf die andere gültig ist. Für die Konstante c wird von CONRAD der Erfahrungswert von $c \leq 0.66$ vorgeschlagen. Für unsere Betrachtungen kann formuliert werden: Wenn $c \leq 0.66$, ist eine konventionelle Messung einer automatischen gleichgestellt (und umgekehrt). Die Parallelmessungen können unter dem Begriff der Quasikonstanz behandelt werden, da die Auswahl der hier behandelten Daten u.a. nach dem Kriterium der kleinen Horizontalabstand zwischen Wetterhütte und Aufstellung der automatischen Station erfolgte (vgl. 1.4.1. und 1.2.).

1.4.2. Streuung

Als beste Streuschätzungen werden die Streuung und Varianz einer statistischen Masse angesehen. Die Streuung wird auch mit "mittlerem quadratischem Absolutfehler" eines Messwertes bezeichnet.

$$s_x = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5)$$

Bei den Parallelmessungen interessiert in erster Linie die Übereinstimmung, mit der Messwerte unter Verwendung zweier verschiedener Erfassungsmethoden wiedergegeben werden. In dieser Untersuchung steht die Frage im Vordergrund, ob und wie gut die konventionelle Messung abgelöst werden kann durch die automatische Messung. Zur Beurteilung dieser Frage gibt uns der absolute Standardfehler die beste Schätzung. Dieses Mass legt gleichzeitig die vorhandene Genauigkeit fest, mit welcher beide Methoden denselben Zustand der Atmosphäre messen!

$$s_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

1.4.3. Vertrauensgrenzen - Vertrauensbereich

Der Vertrauensbereich wird durch die Angabe der oberen und unteren Grenze bestimmt. In diesem Bereich kommt unter Anwendung einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsfunktion $\Phi(z)$ der wahre Wert zu liegen. Die obere bzw. untere Grenze wird definiert durch das Produkt aus Standardfehler und dem Faktor z , welcher für die vorgegebene Wahrscheinlichkeit gilt. Für den Fall einer grossen Stichprobe gilt für die obere, resp. untere Vertrauensgrenze (L_{upper} resp. L_{lower}):

$$L_{upper} = \bar{x} + z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

$$L_{lower} = \bar{x} - z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

Da wir die Streuung der Grundgesamtheit (σ) nicht kennen, substituieren wir sie durch die uns bekannte Streuung der Stichprobe. Wenn wir beispielsweise den Bereich suchen, in dem sich der wahre Mittelwert mit 95% Wahrscheinlichkeit (5% Irrtumswahrscheinlichkeit, zweiseitig) um den Mittelwert bewegt, entnehmen wir Tabellen für die Standardnormalverteilung $\Phi(z)$ für z den Faktor 1.960 (RIEDWYL 1978, 108ff.). Der gesuchte Vertrauensbereich für den Mittelwert erstreckt sich somit fast über eine Länge des doppelten Standardfehlers. Wir fügen übersichtshalber unten einige gängige Werte für z an.

Tabelle II: Einige z-Werte zur Bestimmung der Vertrauensgrenzen

	Vertrauensbereich					
	95.0%	97.5%	98.0%	98.75%	99.0%	99.5%
z (einseitig)	1.645	1.960	2.054	2.240	2.326	2.575
z (zweiseitig)	1.960	2.240	2.326	2.497	2.575	2.810

Unsere Betrachtungen basieren auf der Annahme, dass die Vergleichswerte aus Messungen mit verschiedenen Erfassungsmethoden keine systematischen Unterschiede aufweisen. Wir setzen somit für die mittlere Differenz:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{konventionell}_i - \text{automatisch}_i)}{n} \approx 0.0 \quad (9)$$

Somit sind lediglich die Streuung und der Standardfehler der Differenzen der einzelnen klimatologischen Elemente von Interesse. Der Standardfehler der Differenzen beider Messarten ergibt die Messgenauigkeit oder Übereinstimmung beider Methoden. Mittels den gefundenen Streu- und Standardfehlerwerten bestimmen wir die Vertrauensbereiche. Anschliessend können die Ergebnisse mit den entsprechenden WMO-Tabellenwerten über die Genauigkeit der Messung einzelner Klimaelemente und den Relationen der verschiedenen Streuwerte verglichen werden (Tabelle III und Gleichung 10). Die weitere Interpretation kann Gegenstand einer anschliessenden Diskussion sein.

1.5. Zusammenhänge verschiedener Streubegriffe (Fehlerarten) aus der Sicht der WMO

Die WMO unterscheidet drei wichtige Streuungen im Zusammenhang mit der Beschreibung der Messgenauigkeit. Dabei handelt es sich um σ_S (systematic error), σ_O (observation error) und um σ_F (smallest scale fluctuation, die instrumentell und durch Zeitverzug bedingte, mögliche Auflösung der Messung). Die drei Streubegriffe stehen untereinander in folgender Beziehung:

$$\sigma_S \leq 2 \cdot \sigma_O \leq 4 \cdot \sigma_F \quad (10)$$

Weiter hat die WMO für die drei uns interessierenden Elemente die Vorgaben nach Tabelle III formuliert, welche für die Beurteilung unserer Grundfrage zu Rate gezogen werden können.

Tabelle III: Genauigkeit der Messungen von Lufttemperatur, des Luftdruckes und der relativen Luftfeuchtigkeit für klimatologische Zwecke nach WMO (accuracy requirements for surface measurements)

Temperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Luftfeuchtigkeit [%]
≤0.1	≤0.3	≤3

Wir erlauben uns, den Wert für den Luftdruck enger zu sehen, und würden in dieser Untersuchung mit einer Genauigkeit von ≤0.1 hPa rechnen. Die aufgeführten Zahlen gelten in erster Linie zur Beurteilung der Messungen klimatologischer Elemente mit dem dazu bestimmten Instrument. Der Zweck einer Parallelmessung kann darin bestehen, die Übereinstimmung eines neuartigen Messinstrumentes mit einem bisher im Gebrauch stehenden zu vergleichen. Dieser Vergleich kann als Beurteilung der Übereinstim-

mung (vgl. Genauigkeit, Reproduzierbarkeit) im Sinne der WMO aufgefasst werden. Dafür bestehen keine ausführlichen tabellarischen Aufstellungen pro Klimaelement. Obige Genauigkeitsanforderungen beziehen sich auf Einzelmessungen. Wir wenden die Tabelle III in verwandtem Sinne auf die Beurteilung der Übereinstimmung zweier Messverfahren an, mit denen Daten für theoretisch denselben Wert einer Messgrösse am selben Ort mittels verschiedener Instrumente erhoben wurden. Bedingt durch die formale Ausprägung der von der SMA gemachten Parallelmessungen am selben Ort (Messfeld) werden sich zwangsläufig in den meisten Fällen nicht identische Werte pro Messung ergeben. Dies wird grösstenteils durch die praxisbestimmte Aufstellung der Instrumente und mit kleinerem Anteil durch die Verwendung zweier verschiedener Erfassungsmethoden bestimmt sein.

1.6. Methodische Bemerkungen

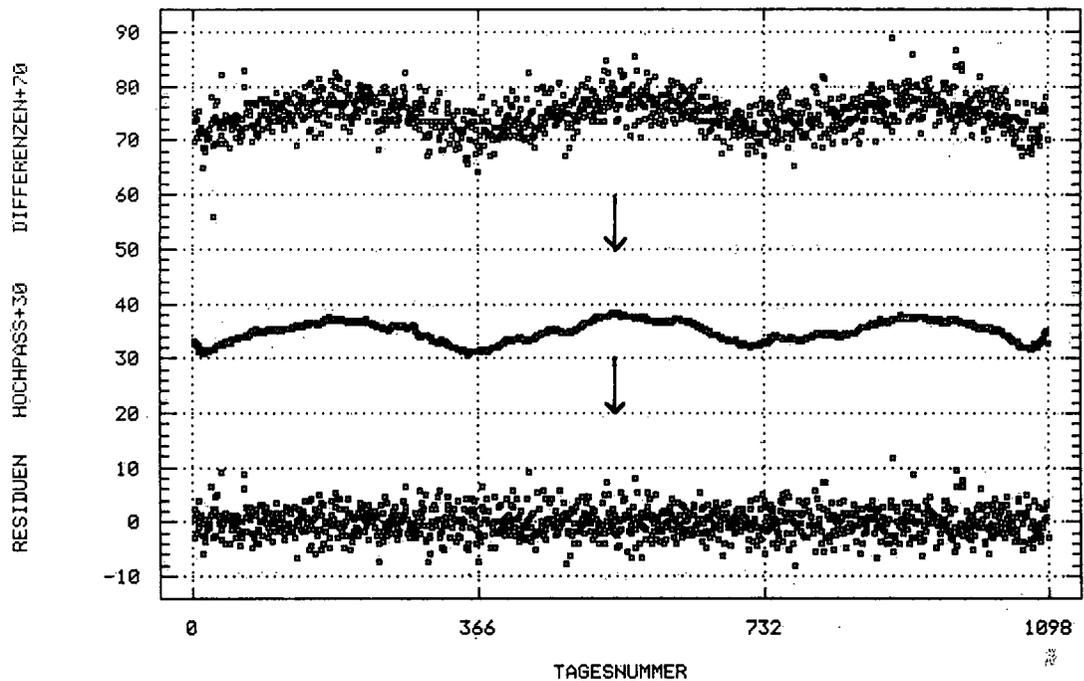
1.6.1. Mittelwert

Wenn von "Mittelwert" die Rede ist, handelt es sich hier in der Regel um das einfache Dreiermittel für die Berechnung der Tagesmittel. Diese Mittelungsform wurde gewählt, damit nicht zusätzliche Einflussgrössen in die Bearbeitung Eingang finden (Verwendung von Korrekturfaktoren und Minimumtemperatur in der Tagesmittelformel). Die Tabellen mit Monatsmitteln wurden aus der jeweils erforderlichen Anzahl obgenannter Tagesmittel berechnet. Die Thematik der Verhaltensweisen verschiedener Mittelungsformeln untereinander wird andernorts eingehend untersucht (DE MONTMOLLIN, 1992).

1.6.2. Störende Einflüsse - Gleitende Mittelbildung - Residuen

Für die Untersuchung wurden anhand der Stationsgeschichte und grafischen Beurteilungsmethoden Zeitabschnitte ausgewählt, in welchen möglichst wenig systematische oder zufällige Einflüsse auftraten (Instrumentenwechsel, -justierung etc.). Wo die Kenntnis eines systematischen Einflusses bereits vorhanden war, wurde dieser keiner neuen Untersuchung unterworfen. Es wurde versucht, durch die geeignete Entfernung dieses Einflusses die Messwerte für die entsprechende Betrachtung herzurichten. Als Beispiel sei der "Hütteneinfluss" auf die Temperaturmessung erwähnt. Er wurde im Arbeitsbericht Nr. 119 durch MÜLLER 1984 näher beschrieben. Damit diese jahres- und tageszeitlich auftretende Verfälschung der Temperaturmessung in der Wetterhütte nicht die Resultate beeinflusst, wurde die Methode der gleitenden Mittelbildung über 31 Tage verwendet. Damit in den Randbereichen der Resultatdatensätze gleichviel Werte zur Verfügung standen wie in den ursprünglichen Datensätzen, wurden die benötigten Werte mit linearer Interpolation der Beobachtungen an den Endpunkten gewonnen (TUKEY 1977; STATGRAFICS 1988). Bereinigte Einzelwerte wurden gebildet durch Subtraktion des gleitend gemittelten Wertes von den Einzelbeobachtungen (Restwert, Residuum, residuals, Figur 2).

Figur 2: Darstellung der Entwicklung von Residuendatensätzen am Beispiel der Temperaturtagessmitteldifferenz von Locarno 1981-1983 (konventionelle Messung - automatische Messung)



1.6.3. Streuung - Vertrauensbereich

Diese beiden statistischen Masse ergeben einen Eindruck über die Vergleichbarkeit von Messungen klimatologischer Elemente an praktisch demselben Ort. Wenn sich die Parallelmessstandorte für dieselbe Station einige Meter bis einige Dekameter entfernt befinden, wird sich der stochastische Anteil am Unterschied der beiden Messungen wesentlich manifestieren (JOSS 1978, Seite 3). Einen Betrag für diesen Anteil können wir nicht festlegen. Er wird sich unter Umständen aus einem Vergleich der hier gefundenen Streubereiche mit den instrumentenbezogenen, im Labor erhobenen Streuwerten abschätzen lassen. Eine solche Untersuchung wird hier nicht angestellt.

Hingegen können mit den verfügbaren Streubereichen und Standardfehlern immerhin geeignete Vertrauensbereiche formuliert werden, in denen sich der "relativ wahre Wert" finden lässt (bezogen auf die bei der Messung beteiligten Instrumente!). Diese Vertrauensbereiche ergeben somit Aufschluss über die Genauigkeit beider Methoden untereinander.

Sie lassen weiter eine ungefähre Standortbestimmung zu, bezüglich der von der WMO tabellierten Genauigkeit der Einzelmessung und innerhalb der mit Gleichung 10 formulierten Fehlerrelation.

2. Untersuchungen

2.1. Allgemeines

2.1.1. Lufttemperatur

Aufgrund der stationsgeschichtlichen Eintragungen zu den ausgewählten Zeitabschnitten pro Station ergab sich als erster allgemeiner Eindruck, dass neben den Stationsinspektionen kaum einschneidende Ereignisse aufgetreten seien, welche den Messverlauf an einer Station störend hätten ändern können. Da und dort sind Fühlermessungen beobachtet und Messwerte nach oben oder unten korrigiert worden. Daneben haben aber Unterhaltsaktivitäten stattgefunden, welche auf das Verhalten der Fühler zurückzuführen ist. Über den Zustand der Messfühler an einer Station gibt folgende Tabelle exemplarisch Auskunft:

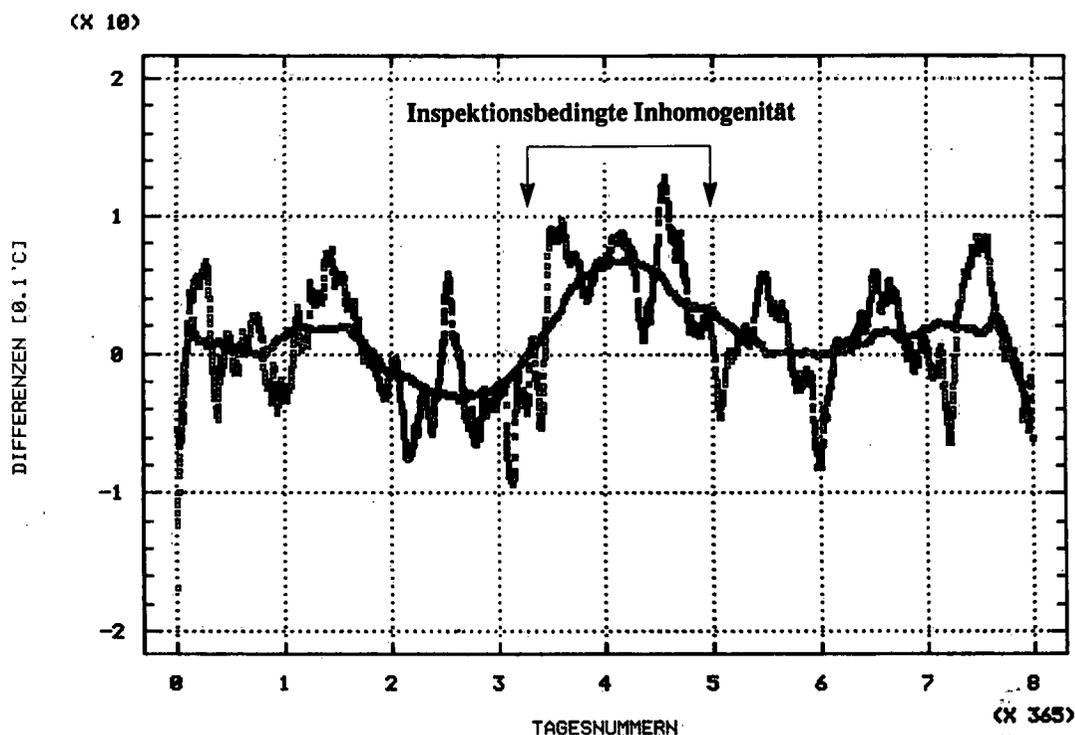
Tabelle IV: Zusammengefasste Ereignisse der Stationsgeschichte Weissfluhjoch für die Temperaturmessung in der Zeit von 1981 - 1988

Ereignis	Anzahl Fälle in 8 Jahren	Anzahl Fälle pro Jahr
Wartung, Reparatur	1	0.125
Ventilatorstörung	1	0.125
Ventilator ersetzt	11	1.375
Korrektur Fühler oder Temperaturmesswerte	12	1.5
Reifbildung am Thermofühler	2	0.25
Heizleistung des Thermofühlers zu tief/hoch	2	0.25
Jahreskontrolle aller Fühler	8	1.0
Ersatz des Fühlers	4	0.5
Temperatursprünge, Ausreisser	13	1.625
Thermometerdefekt	1	0.125

Nach der vorliegenden Tabelle werden einige Ereignisse aufgrund ihres Auftretens pro Zeiteinheit wichtiger als andere. Ein einzelner Ausreisser oder eine einmalige Ventilatorstörung sind im Ereigniskatalog einer automatischen Klimastation als nützliche Hinweise zu verstehen. Sobald sich die Eintretenswahrscheinlichkeit solcher Einzelfälle über ein allgemeines Mass erhöht, müssen die betroffenen Fühler und Datenmengen kritischer beurteilt werden. Gerade die Messung der ventilierten Lufttemperatur stellt oft die Frage nach fundamentalen Fehlern im Funktionsprinzip oder eigentlichen Gerätedefekten. Die Ventilation und Heizung des automatischen Fühlers sind dabei von zentraler Bedeutung (MÜLLER, 1983, Seite 8 und 12).

Auf Weissfluhjoch wurden mehrere Vergleiche angestellt zwischen der automatischen und der konventionellen Temperaturmessung (BECK, 1984ff.). Dabei stellte man öfter kleinere bis grössere Abweichungen zwischen den automatischen und konventionell erhobenen Messungen fest. Im Zusammenspiel mit der in Tabelle IV als Beispiel gegebenen unvollständigen Liste von möglichen Einflussgrössen an einer Station müssen die in Figur 3 dargestellten, offensichtlichen Inhomogenitäten in der Zeitreihe der gleitend gemittelten Differenzen beider Temperaturmessungen gesehen werden. Die Verhältnisse auf Weissfluhjoch dienen als Beispiel für den Ausdruck der sich durch Ventilatorstörungen und Fühlerersatz manifestierenden Unsicherheiten der Messung. Sie sind einer besonderen Hervorhebung würdig, weil an dieser Station die konventionelle Temperatur- und Feuchtigkeitsmessung sehr sorgfältig mittels eines Schleuderpsychrometers erfolgte. Die anderen Stationen verwendeten auf der konventionellen Seite die herkömmlichen Quecksilberthermometer SCHNEIDER 6020/5.

Figur 3: Monatlich und jährlich gleitend gemittelte Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Temperaturtagessmittelwerten auf Weissfluhjoch 1981-1988



Neben direkten Einflussgrößen wie Ventilatorstörungen bei den automatischen Messungen, tritt bei der konventionellen Temperaturmessung der bekannte Hütteneffekt auf. Diese Beeinflussung sollte möglichst von den Auswertungen ferngehalten werden. An rund 10 Stationen wurden zu Versuchszwecken in derselben Wetterhütte mit beiden Fühlern gleichzeitig Daten erhoben (konventionelle Quecksilberthermometertemperatur; Temperaturmessung mit *unventiliertem* automatischem Messfühler). Beide Fühler unterliegen dem Hütteneffekt, die Versuchsanordnung erlaubt einen direkteren Vergleich zwischen den verschiedenen Instrumenten jeder Methode. Wohl ist damit nicht die klimatologische, sondern die mehr instrumentelle Vergleichbarkeit gemeint. Die Horizontaldistanz zwischen Quecksilberthermometer und Thermistorperle ist sehr klein. Die beiden Fühler weisen eine Distanz von einigen cm auf. An Laborbedingungen kommt er selbstverständlich nicht heran (vgl. 2.5.4.).

2.1.2. Luftdruck

Instrumententypen

Aufgrund der Verwendung verschiedener Instrumententypen im Messnetz und der in Voruntersuchungen gefundenen Genauigkeit musste das Gesamtkollektiv der Luftdruckmessungen in Gruppen aufgeteilt werden.

Als konventionelles Instrument wurden für die Luftdruckmessung meistens Quecksilberbarometer vom Typ FUESS 11 b/9 mit LDP (Lecture du Pasquier) verwendet. Daneben waren zu rund 40% Modelle nach HAAG-STREIT, ebenfalls mit LDP, im Einsatz.

Für die Parallelmessungen auf automatischer Seite kamen im Messnetz der SMA zwei verschiedene Druckmesstypen zum Einsatz:

- a) Für Stationen, welche zuerst in Betrieb genommen wurden, kam der sogenannte ASTA-Typ zum Einsatz (CHARAN 1985, Seite 19). Es handelt sich dabei um ein Anaeroidsystem mit einer in Druckeinheiten umgerechneten Messung der Bewegung der Dosenoberfläche.

- b) Der zweite Typ, das sogenannte Modell GB1 (Geheiztes Barometer 1), verfügt über eine andere Erfassung der Dosenoberflächenbewegung (Oszillatorverstimmung). Er ist heute vermehrt im ANETZ anzutreffen.

Der ersterwähnte Typ wurde eigens für das ANETZ entwickelt. Im Laufe der Zeit entdeckte man einen Feuchtigkeitseinfluss auf die Erfassung der Wegstrecke der Dosenausdehnung und damit eine durch die relative Feuchtigkeit beeinflusste Druckmessung. Diesem Umstand wurde durch die Einführung des zweiten, verbesserten Typs, Rechnung getragen. Der Einsatz des GB1-Typs erfolgte im Laufe des Jahres 1984. Somit sind die Parallelmessungen vor diesem Jahr allesamt vom Einfluss der Feuchtigkeit zu befreien, bevor sie einer Untersuchung zugeführt werden können. Die Messungen mittels des GB1-Typs sollten in erster Näherung für eine Verwendung als Parallelmessung direkt brauchbar sein. Es schälten sich drei Stationsgruppen heraus:

- a) Stationen mit Gebertyp ASTA vor der Korrektur 1984
- b) Stationen mit Gebertyp ASTA nach der Korrektur 1984
- c) Stationen mit Gebertyp GB1 ab ca. 1984

Für die weiteren Betrachtungen wird auf eine Gruppierung bezüglich den automatischen Typen Rücksicht genommen. Die Tabellen geben jeweils darüber Aufschluss.

Genauigkeit

Über die Luftdruckmessungen im ANETZ findet JOSS 1985, "... dass eine Genauigkeit kleiner 0.3 mbar über längere Zeit schwierig zu erreichen ist. Fehler grösser 0.5 mbar sollten jedoch bei sorgfältigem Eichen nicht auftreten." (CHARAN, 1985, Seite 19). Der zweite Druckmesstyp, GB1, weist laut Beschreibung eine absolute Genauigkeit von ± 0.2 hPa auf (Heizung über den vollen Temperaturbereich (-10... +30 Grad CELSIUS)) (RUPPERT o.J.). Für die Luftdruckvergleichen sind zwei Stichworte zu berücksichtigen.

- a) *Instrumententyp*: Der nicht feuchteempfindliche GB1-Typ ist kleineren mittleren Schwankungen unterworfen als der ASTA-Typ vor 1984. Ein grober Vergleich der mittleren Variabilität der beiden Gebertypen zeigt, dass der Geber GB1 eine kleinere Streuung der gleitend gemittelten Differenzen zwischen konventioneller und automatischer Druckmessung aufweist:

Mittelwert der täglichen Streuwerte der Luftdruckdifferenz konventioneller und automatischer Messung und Streuung derselben [0.1 hPa]:

Typ GB1:

Typ ASTA:

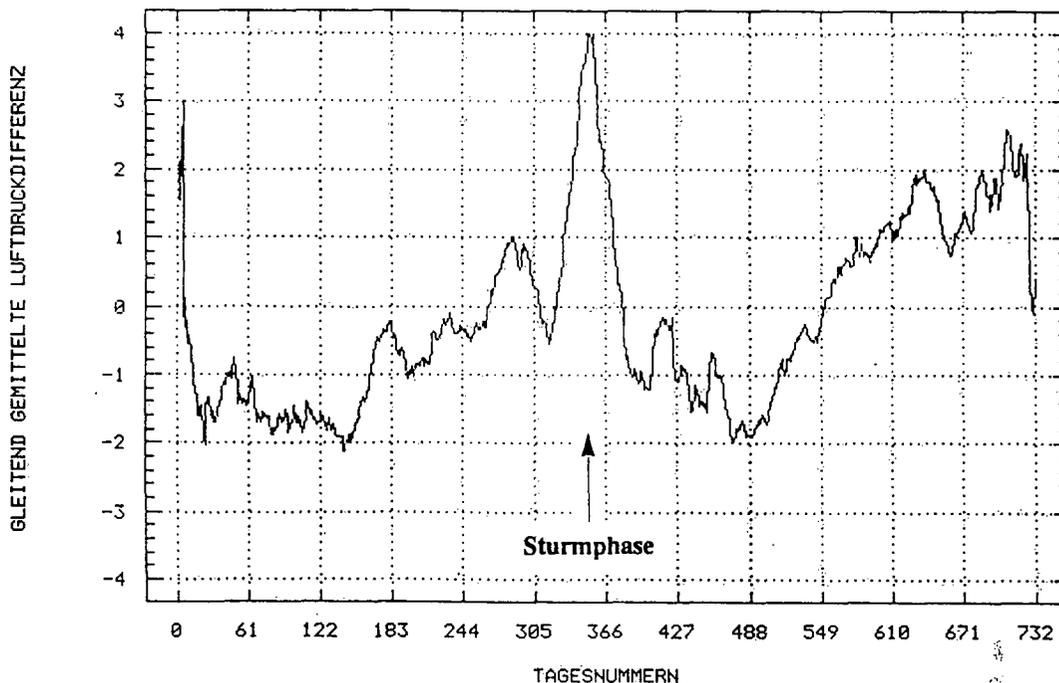
0.78 < 1.49 < 2.20 hPa

1.19 < 2.04 < 2.89 hPa

(aus Tabelle XXI)

- b) *Extreme Wettersituationen*: Sie können vergrößerte Unsicherheit einbringen. Figur 4 weist eine markant erhöhte Differenz auf zwischen Quecksilberbarometerablesung und automatischen Werten im Dezember 1981. Den ganzen Monat lang hat es auf Jungfrauoch gestürmt. An den Stationen Grindelwald, Mürren und Interlaken herrschte aufgrund von Witterungsvergleichen dieselbe Situation. In der Stationsgeschichte sind keine Hinweise auf Manipulationen an den Instrumenten beider Messverfahren vor und nach Dezember 1981 auszumachen.

Figur 4: Einfluss extremer Witterungsverhältnisse auf gleitend gemittelte Differenzwerte zweier Luftdruckmessungen auf Jungfrauoch [0.1 hPa]



2.1.3. Luftfeuchtigkeit

Als eine relativ ungenaue Sache wird die Messung der relativen Luftfeuchtigkeit angesehen. "Die Genauigkeit beträgt bei einer Feuchtigkeitsänderung von 97% abwärts $\pm 2\%$...", wie SONNTAG 1968 findet. Allerdings liegen die Genauigkeiten bei wechselnden Feuchtigkeiten mit behandelten Haaren um $\pm 5\%$. Die WMO liegt mit ihrer Angabe von $\pm 3\%$ dazwischen.

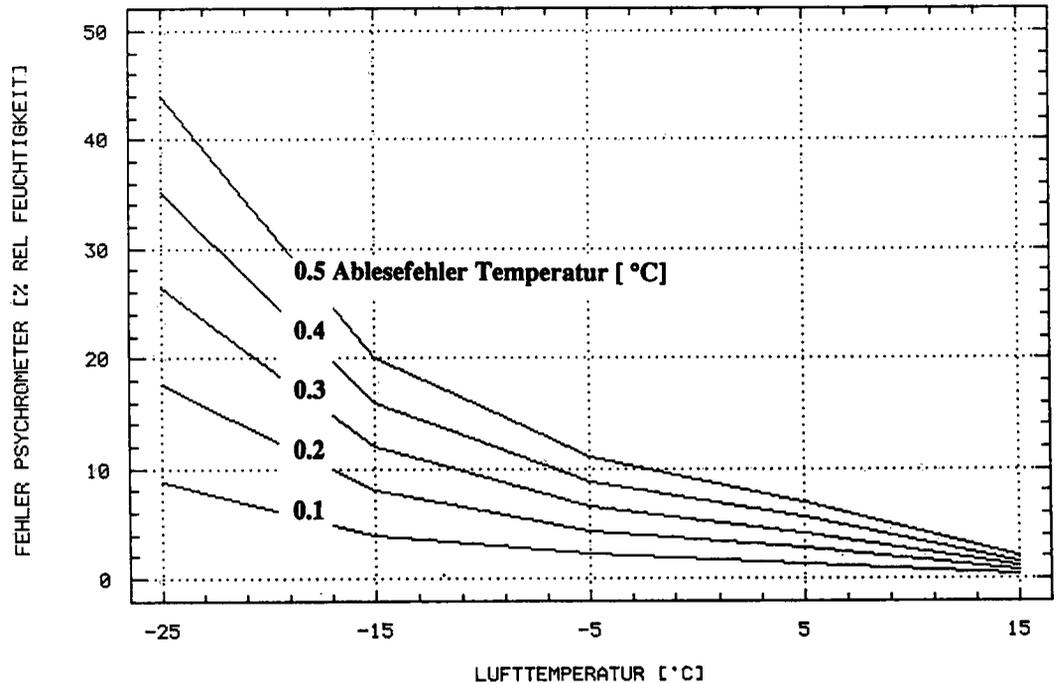
Im automatischen Netz gesellt sich ein neuer Effekt zu den wirksamen Einflussgrößen auf die Feuchtigkeitsmesswerte. Durch die vorgenommene Platzierung des Haarhygrometers in einem Strahlungsschutz aus runden Metalljalousien ist der Temperatureinfluss auf die Feuchtigkeitsmessung recht gross. Durch eine Korrektur wurde diesem Umstand Rechnung getragen. Im Anschluss an entsprechende Untersuchungen korrigiert man diesen Effekt ab Februar 1981 nur noch im hälftigen Ausmass. Nach Durchsicht des Datenmaterials erwies es sich nicht als notwendig, eine spezielle Gruppierung vorzunehmen.

Als herkömmliches konventionelles Messinstrument fand das Haarhygrometer LAMBRECHT 201 Verwendung. Auf einer Station, dem Weissfluhjoch, wurde die Feuchtigkeit nicht mit diesem Instrument, sondern mit einem Schleuderpsychrometer bestimmt. Dieses Instrument wurde dort ebenfalls zur Temperaturbestimmung verwendet. Interessante Angaben über die Unsicherheiten, gekoppelt mit Ablesefehlern und damit zusammenhängenden Fehlinterpretationen der relativen Feuchtigkeit, macht die WMO in ihren allgemeinen Ausführungen über die Genauigkeit solcher Instrumente. Mit der Annahme eines 0.5 °C betragenden Ablesefehlers am Feuchtthermometer ergäben sich bei verschiedenen Lufttemperaturen die folgenden Fehler der relativen Feuchtigkeit (WMO 1983, Seite 5.6):

Lufttemperatur [°C]:	-25	-15	-5	5	15
Feuchtefehler [%]:	44	20	11	7	2

Schon für kleinere Temperaturablesefehler ergeben sich grössere Fehlinterpretationen der Feuchtigkeit. Wenn wir die von SONNTAG genannte beste Genauigkeit eines Haarhygrometers im Auge behalten ($\pm 2\%$), so liegt dieser Fehlerbetrag bereits vor, wenn bei Temperaturen um den Gefrierpunkt ein Ablesefehler von $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ begangen wird. Andererseits lassen heutige Thermometer immer noch eine Unsicherheit von $\pm 0.05\text{ }^\circ\text{C}$ zu. Dieser Aspekt ist bei den die relative Feuchtigkeit betreffenden Tabellenwerten der Station Weissfluhjoch, oder Stationen mit Feuchtigkeitsbestimmung mittels Schleuderpsychrometer mit in Rechnung zu ziehen.

Figur 5: Fehlinterpretation der relativen Luftfeuchtigkeit aufgrund verschieden grosser Temperaturablesefehler am Schleuderpsychrometer (nach WMO 1983)



2.2. Differenzen

2.2.1. Lufttemperatur

Die mittleren monatlichen Differenzen zwischen Tagesmitteln konventioneller und automatischer Messdatenerfassung werden aus Tabelle V und Figur 6 ersichtlich.

Die mittlere monatliche Differenz für alle untersuchten Stationen zeigt den in Figur 6 gezeigten Jahresgang. Der Jahresgang ist mit dem an anderer Stelle dargelegten Gang der Verhältnisse vergleichbar (MÜLLER 1984). Ein einfacher Test, z.B. nach WILCOXON, würde hier sofort die Differenz der warmen Jahreszeit als signifikant zu gross bewerten.

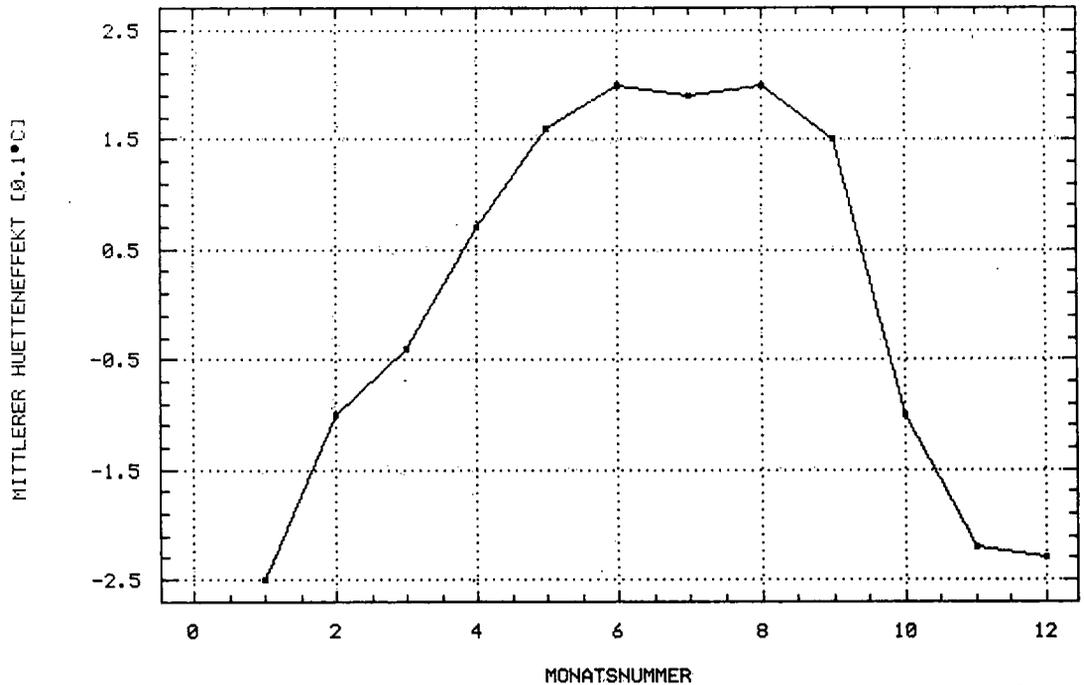
Tabelle Va: Mittlere monatliche und jährliche Tagesmitteldifferenzen zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung [0.1 °C]

Monat	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Station													
JUN	-1.1	3.4	-2.1	3.6	3.9	2.8	2.2	0.0	1.6	0.0	0.5	2.1	1.4
WFJ	-3.4	-1.2	0.4	0.8	2.1	3.9	4.5	3.5	2.9	-0.9	-1.4	-2.8	0.7
GUE	-3.8	-0.8	1.2	3.4	2.3	1.1	2.4	1.2	-0.5	-2.6	-2.6	-6.0	-0.4
SBE	3.2	4.9	6.0	6.2	6.8	7.0	6.8	7.9	8.0	3.1	2.0	4.1	5.5
SCU	-2.6	-2.9	-2.5	0.1	-1.4	-1.4	-	-0.5	-3.8	-6.7	-7.2	-3.9	-3.0
DIS	-0.1	0.4	1.7	2.2	5.5	5.0	5.2	6.0	3.4	2.3	-0.7	-0.3	2.6
SHA	0.6	1.1	2.0	3.0	6.8	8.8	7.0	6.6	5.9	4.0	1.9	0.6	4.0
ALT	1.1	2.6	3.0	3.2	3.0	4.2	3.3	3.8	5.1	4.1	3.6	2.2	3.3
GVE	-0.3	0.2	0.2	-0.4	-0.9	-0.4	-1.8	-0.1	-0.1	-0.9	-0.6	-0.8	-0.5
OTL	2.3	3.2	4.4	4.7	6.1	7.2	7.2	6.5	6.6	5.1	3.2	1.9	4.9
BAS	0.4	-0.2	1.9	2.3	4.0	4.7	-	-	-	-	-	-	-
LUG	0.8	2.2	5.3	5.7	7.8	8.4	9.3	11.4	11.3	6.0	2.0	1.7	6.0

Tabelle Vb: Monatliche Abweichung von der mittleren jährlichen Tagesmitteldifferenz zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung [0.1 °C]

Monat	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Station												
JUN	-2.5	2.0	-3.5	2.2	2.5	1.4	0.8	-1.4	0.2	-1.4	-0.9	0.7
WFJ	-4.1	-1.9	-0.3	0.1	1.4	3.2	3.8	2.8	2.2	-1.6	-2.1	-3.5
GUE	-3.4	-0.4	1.6	3.8	2.7	1.5	2.8	1.6	-0.1	-2.2	-2.2	-5.6
SBE	-2.3	-0.6	0.5	0.7	1.3	1.5	1.3	2.4	2.5	-2.4	-3.5	-1.4
SCU	0.4	0.1	0.5	3.1	1.6	1.6	-	2.5	-0.8	-3.7	-4.2	-0.9
DIS	-2.7	-2.2	-0.9	-0.4	2.9	2.4	2.6	3.4	0.8	-0.3	-3.3	-2.9
SHA	-3.4	-2.9	-2.0	-1.0	2.8	4.8	3.0	2.6	1.9	0.0	-2.1	-3.4
ALT	-2.2	-0.7	-0.3	-0.1	-0.3	0.9	0.0	0.5	1.8	0.8	0.3	-1.1
GVE	0.2	0.7	0.7	0.1	-0.4	0.1	-1.3	0.4	0.4	-0.4	-0.1	-0.3
OTL	-2.6	-1.7	-0.5	-0.2	1.2	2.3	2.3	1.6	1.7	0.2	-1.7	-3.0
BAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LUG	-5.2	-3.8	-0.7	-0.3	1.8	2.4	3.3	5.4	5.3	0.0	-4.0	-4.3
Mittel	-2.5	-1.0	-0.4	0.7	1.6	2.0	1.9	2.0	1.5	-1.0	-2.2	-2.3

Figur 6: Mittlere monatliche Abweichungen von der mittleren jährlichen Tagesmitteldifferenz der Lufttemperatur in der Wetterhütte vom Vergleichswert der ventilierten Messung [0,1 °C]



2.2.2. Luftdruck und Luftfeuchtigkeit

Auf eine Darstellung der absoluten Differenzen wurde für diese beiden Elemente verzichtet. Sie war zu wenig aussagekräftig. Die wichtigen Befunde sind in den Kapiteln über die Variabilität, Streuung und den Variationsbereich zu suchen.

2.3. Variabilität

Dieses Kapitel beleuchtet mit den gegebenen Tabellen zwei Aspekte. Einerseits ergibt sich direkt die Beschreibung des gegenseitigen Verhaltens der zwei gewählten Messmethoden für die drei Klimatelemente unter dem Gesichtspunkt der Variabilität. Auf der anderen Seite wird für den von CONRAD postulierten Faktor c zur Beurteilung der Reduktionsmöglichkeit einer Messreihe auf eine andere ein Eindruck des Betrages gegeben, welcher durch einen Messinstrumentenvergleich an einem Ort für "übereinstimmende" Messung zu erwarten ist (man vergleiche dazu Gleichungen 1, 3, 4).

2.3.1. Lufttemperatur

Da der Einzeltermin für die Tagesmittelbildung verwendet wird, und diese wiederum für die Bildung des Monatsmittels dient, beleuchten wir in diesem Kapitel diese Stufe der zeitlichen Auflösung von klimatologischen Messungen bezüglich der Anwendung verschiedener Methoden der Datenerfassung.

Die Bestimmung der Veränderlichkeit und des Variationskoeffizienten (durchschnittlicher Fehler) fällt aus bekannten Gründen weg. Die mittlere Veränderlichkeit der Temperaturdifferenzen beider Methoden ist in Tabelle VI enthalten. Sie wurde nach der leicht abgewandelten Gleichung 1 wie folgt bestimmt (AV = average variability) :

$$AV(k-a)_{\text{Tagesmittel}} = \frac{\sum_{i=1}^n |(konv_{\text{Tagesmittel}} - autom_{\text{Tagesmittel}}) - corr|}{n} \quad (11)$$

corr = konv_{Tagesmittel} - autom_{Tagesmittel}, 31-tägig gleitend gemittelt.

Tabelle VI: Mittlere Veränderlichkeit der Differenz zwischen konventionell und automatisch gemessenem Tagesmittel der Lufttemperatur. Streuung und Quotient aus Veränderlichkeit und Streuung [0,1 °C]

Station	AV	s	AV / s
JUN	2.92	2.68	1.090
WFJ	3.53	3.36	1.051
GUE	3.68	3.19	1.154
SBE	3.18	3.16	1.006
SCU	3.37	2.78	1.212
DIS	2.64	2.45	1.078
SHA	1.96	1.80	1.089
ALT	3.05	3.53	0.864
GVE	2.47	2.41	1.025
OTL	2.11	1.72	1.227
LUG	2.51	2.32	1.082
Mittel	2.856	2.673	1.080

Die mittlere Variabilität der Methodendifferenz von 3 Zehntelgraden für Dreiermittel der Temperatur erscheint gross. Im Folgenden beschreiben wir das Vorgehen zur Bestimmung der Variabilität der Tagesmitteldifferenz und jenes zur Bildung der Variabilität der Terminwertdifferenz, bezogen auf das Tagesmittel, etwas ausführlicher. Diese Beschreibung wird gemacht, weil uns am Schluss nicht die Veränderlichkeit als solches, sondern die Beurteilung des *Unterschiedes der Veränderlichkeit konventioneller und automatischer Messung* interessiert. Dem Vergleich liegt die Annahme zugrunde, dass beide Messverfahren der gleichen Variabilität unterliegen. Dies müsste sich mit Hilfe des CONRAD'schen Faktors c bestätigen lassen. Er sollte für die Variabilität des Methodenunterschiedes einen sehr kleinen Betrag liefern, falls die beiden Methoden austauschbar sein sollten. Wir verwenden dazu sinngemäss die Gleichung 12. Diese Berechnung führen wir für jede Methode separat durch.

$$\mu(k) = \frac{\sum_{i=1}^n |(x_i - \bar{x}) - corr|}{n} \quad (12)$$

x_i =konventioneller Einzelwert, Terminwert, y_i entspräche dem automatischen Wert
 $\bar{x} = \Sigma(x_i)/3$; konventionelles Tagesmittel (Dreiermittel), \bar{y} entspräche dem automatischen Wert
 k resp. a = konventionell resp. automatisch
 corr = Korrektur des Hütteneffektes = 31-tägig gleitend gemittelte Differenz $x_i - \bar{x}$; nur für die konventionellen Werte!

Es gilt nach CONRAD (1955, Seite 238ff.) für Differenzen oder Quotienten zwischen Messungen zweier Orte die sogenannte "Quasikonstanz". Mit $\mu(\text{diff./quot.}) = \text{Differenz resp. Quotient zwischen Messungen zweier Orte}$, und $\mu = \text{Variabilität}$, gelte als Bedingung für Quasikonstanz: $\mu(\text{diff./quot.}) < \mu(\text{Element})$.

R steht für Untersuchungsgrößen eines zu betrachtenden Stationspaares, das mittels Differenzen- oder Quotientenvergleichs auf Reduktionsmöglichkeit untersucht werden soll. Mit $\mu(R) = \mu(\text{diff./quot.})$ unter Einhaltung der Grenzbedingung, $\mu(\text{diff./quot.}) \leq \mu(\text{Element})$ gilt $\mu(R) = c \cdot \mu(\text{Element})$, unter quasikonstanten Bedingungen.

Somit ist $c = \mu(R) / \mu(\text{Element})$. C ist ein dimensionsloser Faktor, welcher über die Reduktionsmöglichkeit von Daten einer Stationsreihe auf eine mit ihr verglichenen Reihe Aufschluss gibt.

Wir substituieren für unsere Bedürfnisse: $\mu(R) = \mu(\text{diff.}) = \mu(k-a)$, und: $\mu(\text{Element}) = \mu(k)$ oder $\mu(a)$ mit $k = \text{konventionelle Methode}$, $a = \text{automatische Methode}$. Also: $\mu(k-a) = \mu(k) - \mu(a)$.

Wir bezeichnen abwechslungsweise die Variabilität der konventionellen oder der automatischen Methode als Elementarvariabilität und setzen sie als Erwartungswert der Variabilität ein: $\mu(\text{EW}) = \mu(\text{Erwartungswert})$. Somit erhalten wir für die interessierende Größe c_{EW} mit

$$c_{EW} = \frac{\mu(k-a)}{\mu(EW)} \quad (13)$$

$c_{EW} = \text{CONRAD'scher Faktor zur Beurteilung der Reduktionsmöglichkeit der beiden verwendeten Methoden}$. Also für den konventionellen Faktor c_{EW_k}

$$c_{EW_k} = \frac{\mu(k-a)}{\mu(k)} \quad (14)$$

und für den automatischen Faktor c_{EW_a}

$$c_{EW_a} = \frac{\mu(k-a)}{\mu(a)} \quad (15)$$

Tabelle VII: Mittlere Variabilität der Differenz der Abweichung der Terminwerte vom Tagesmittel zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung [0,1 °C]

Termin	$\mu(k)$						$\mu(a)$						$\overline{\mu(k)}$	
	Morgen		Mittag		Abend		Morgen		Mittag		Abend			
	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s		
JUN	13.21	10.97	7.08	5.92	9.67	9.23	11.28	10.10	7.70	5.64	9.27	9.35	9.98	
WFJ	15.72	11.22	12.47	8.90	9.57	9.02	13.65	10.36	11.90	9.43	9.57	8.79	12.59	
GUE	17.80	11.98	14.87	10.20	9.20	8.41	13.93	10.43	12.99	9.83	9.03	7.86	13.96	
SBE	33.07	20.26	22.27	16.09	10.40	8.79	24.81	17.30	25.41	15.83	9.69	7.72	21.91	
SCU	42.57	26.12	40.25	19.72	15.35	11.87	42.34	25.63	34.49	20.33	13.90	9.95	32.72	
DIS	33.83	21.97	26.03	16.68	9.13	7.25	26.47	17.82	23.56	14.62	9.18	7.36	23.00	
SHA	36.22	24.71	19.72	14.25	12.01	9.34	29.45	21.39	19.57	13.67	13.83	11.06	22.65	
ALT	32.94	21.89	18.83	13.19	12.41	11.47	27.82	19.66	21.44	13.74	11.91	10.70	21.39	
GVE	34.85	24.40	20.66	13.47	18.78	14.87	33.41	23.35	22.24	13.82	15.67	12.71	24.76	
OTL	36.02	18.55	19.06	10.98	10.06	7.64	28.92	16.36	20.11	11.62	12.41	9.07	21.71	
LUG	37.81	21.56	13.01	9.42	13.10	8.93	28.82	17.29	17.57	10.83	14.60	9.93	21.31	

Tabelle VIII: Mittlere Differenz der Variabilität konventioneller und automatischer Temperaturmessung zum Terminzeitpunkt [0,1 °C]

Termin	Morgen	$\mu(k-a)$ Mittag	Abend	Erwartungswerte für c						
				Morgen		Mittag		Abend		
				c_{EWa}	c_{EWk}	c_{EWa}	c_{EWk}	c_{EWa}	c_{EWk}	
JUN	1.93	-0.62	0.40	0.17	0.15	0.08	0.09	0.04	0.04	
WFJ	2.07	0.57	0.00	0.15	0.13	0.05	0.05	0.00	0.00	
GUE	3.15	1.88	0.17	0.23	0.18	0.14	0.13	0.02	0.03	
SBE	8.26	-3.14	0.71	0.33	0.25	0.12	0.14	0.07	0.07	
SCU	0.23	5.76	1.45	0.01	0.01	0.17	0.14	0.10	0.09	
DIS	7.36	2.47	-0.05	0.28	0.22	0.10	0.09	0.01	0.01	
SHA	6.77	0.15	-1.82	0.23	0.19	0.01	0.01	0.13	0.15	
ALT	5.12	-2.61	0.50	0.18	0.16	0.12	0.14	0.04	0.04	
GVE	1.44	-1.58	3.11	0.04	0.04	0.07	0.08	0.20	0.17	
OTL	7.10	-1.05	-2.35	0.25	0.20	0.05	0.06	0.19	0.23	
LUG	8.99	-4.56	-1.50	0.31	0.24	0.26	0.35	0.10	0.11	
				Mittel	0.20	0.16	0.11	0.12	0.08	0.08

Alle Terminwerte aller Stationen zeigen einen c-Wert unter der von CONRAD postulierten Grenze von $c \leq 0.66$. Die beiden Datenerfassungsmethoden können somit in erster Näherung gegeneinander ausgetauscht werden unter der Voraussetzung, dass alle Fehler beseitigt werden können. Die Abendtermine variieren für beide Methoden gleichviel. Die Mittagsmessung zeigt eine leicht grössere Variabilität der konventionellen Messmethode. Der Morgentermin ist eindeutig der am meisten variierende Termin bei beiden Erfassungsmethoden. Die Absolutwerte des Faktors c sind mit $c \approx 0.20$ gering, verglichen mit dem von CONRAD gegebenen Erfahrungswert. Die eingangs gesuchten Unterschiede der beiden Messmethoden sind effektiv sehr gering, wenn die c_{EW} -Werte aus Tabellen VIII verglichen werden!

2.3.2. Luftdruck

Das Verhalten der Quecksilberbarometer bezüglich unerwünschter Einflüsse ist weitgehend beschrieben (M. O. 1956 und andere). Deshalb wenden wir, wie bei der Temperatur beschrieben, für die Differenzbildung unter Berücksichtigung der gleitend gemittelten Tageswerte und der aufstellungsbedingten Barometerhöhenunterschiede die Gleichung 12 zur Bestimmung der mittleren

Variabilität an (corr = Korrektur der Barometerhöhenunterschiede und der Berücksichtigung gleitender Mittelbildung). Das Verfahren zur Bestimmung des methodisch bedingten Variabilitätsunterschiedes wird ebenfalls angewendet. Wie in Tabelle XII zum Ausdruck kommt, ergeben sich CONRAD'sche c-Werte, welche eine Zehnerpotenz geringer ausfallen als jene für die Lufttemperatur. Dies deutet auf die bei Luftdruckmessungen erhöht geforderten Genauigkeitsansprüche hin, verglichen mit andern meteorologischen Elementen. Die absoluten Zahlenwerte sind weniger von Interesse. Hingegen zeigt sich eindeutig, dass durch eine Feuchtigkeitskorrektur des ASTA-Typs der mittlere Variabilitätsunterschied halbiert wurde (Siehe Station-Genf in Tabelle XII, man beachte gerundete Werte!). Wenn wir für $c \leq 0.66$ als Indikator für eine erlaubte Reduktion einer Reihe auf eine andere üblicherweise annehmen, kann für den Luftdruck $c \leq 0.066$ gelten. Diese Grenze wird nur bei den unkorrigierten, mit dem ASTA-Typ erfassten Messungen, überschritten. Die restlichen Tabellenwerte zeigen für diese Masszahl auf eine erlaubte Reduktion von automatischen Messungen auf solche konventioneller Art und umgekehrt.

Tabelle IX: Mittlere Veränderlichkeit der Differenz zwischen konventionell und automatisch gemessenem Tagesmittel des Luftdruckes [0.1 hPa]

ASTA-Typ

Station	AV	s	AV / s
GUE	1.66	1.59	1.044
SBE	1.34	1.71	0.784
DIS	0.79	0.68	1.162
SHA	0.95	1.06	0.896
ALT	2.40	3.41	0.704
LUG	2.24	2.34	0.957
Mittel	1.56	1.80	0.867
GVE ¹⁾	1.10	1.43	0.769

¹⁾ Luftdruckfühler in Genf mit Einrichtung zur Eliminierung des Feuchteinflusses versehen.

GB1-Typ

Station	AV	s	AV / s
JUN	1.62	1.65	0.982
WFJ	0.70	0.83	0.843
ABO	1.80	3.48	0.517
OTL	0.83	0.68	1.221
Mittel	1.24	1.66	0.747

Tabelle X: Mittlere Variabilität der Differenz der Abweichung der Terminwerte vom Tagesmittel zwischen konventioneller und automatischer Luftdruckmessung [0.1 hPa]

ASTA-Typ

Termin	Morgen		$\mu(k)$				Morgen		$\mu(a)$			
			Mittag		Abend				Mittag		Abend	
	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s
GUE	9.03	8.14	3.53	2.69	8.61	8.26	9.17	8.08	3.29	2.64	8.80	8.12
SBE	8.48	7.94	3.38	2.93	8.72	8.17	8.71	8.00	3.01	2.61	9.04	8.06
DIS	11.63	9.95	4.00	3.23	11.04	9.89	11.64	9.96	4.51	3.35	11.21	10.25
SHA	12.81	10.99	4.28	4.29	13.57	10.78	13.05	11.08	4.21	4.44	13.61	10.75
ALT	13.93	12.18	4.97	5.24	14.15	11.72	14.07	11.58	4.79	4.35	14.20	11.60
LUG	12.30	10.21	5.07	4.02	12.69	10.53	12.88	10.42	4.32	3.74	12.75	10.88
GVE ¹⁾	12.26	9.72	3.87	4.02	12.93	9.80	12.15	9.90	3.69	3.76	12.87	9.91

¹⁾ Luftdruckfühler in Genf mit Einrichtung zur Eliminierung des Feuchteinflusses versehen.

GB1-Typ

Termin	Morgen		$\mu(k)$				Morgen		$\mu(a)$			
			Mittag		Abend				Mittag		Abend	
	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s
JUN	9.71	8.21	3.55	2.90	9.35	8.17	9.83	8.37	3.74	2.66	9.48	8.29
WFJ	8.69	6.76	3.23	2.03	8.08	6.59	8.60	6.59	3.12	2.05	8.04	6.36
ABO	9.15	8.25	3.58	3.18	8.97	7.91	9.18	8.04	3.28	3.07	9.29	7.84
OTL	11.78	8.30	3.70	3.06	12.18	8.51	12.03	8.37	3.76	3.23	12.42	8.57

Tabelle XI: Mittlere Differenz der Variabilität konventioneller und automatischer Luftdruckmessung zum Terminzeitpunkt [0.1 hPa]

ASTA-Typ

Termin	Morgen	$\mu(k-a)$		Abend	Σ	$\Sigma/3$ [gerundet]
		Mittag				
GUE	-0.14	0.24		-0.19	-0.09	-0.03
SBE	-0.23	0.37		-0.32	-0.18	-0.06
DIS	-0.01	0.51		-0.17	0.33	0.11
SHA	-0.24	0.07		-0.04	-0.21	-0.07
ALT	-0.15	0.18		-0.05	-0.02	0.00
LUG	-0.58	0.75		-0.06	0.11	0.04
GVE ¹⁾	0.11	0.18		0.06	0.35	0.12

¹⁾ Luftdruckfühler in Genf mit Einrichtung zur Eliminierung des Feuchteinflusses versehen.

GB1-Typ

Termin	Morgen	$\mu(k-a)$		Σ	$\Sigma/3[\sim: \text{gerundet}]$
		Mittag	Abend		
JUN	-0.12	-0.19	-0.13	-0.44	0.15
WFJ	0.09	0.11	0.04	0.24	0.08
ABO	-0.03	0.20	-0.32	-0.15	-0.03
OTL	-0.25	-0.06	-0.24	-0.55	-0.18

Tabelle XII: C-Werte nach CONRAD aus dem Vergleich der mittleren Differenz der Variabilität konventioneller und automatischer Luftdruckmessung

ASTA-Typ

Termin	Morgen	c_k			c_a		
		Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend	
GUE	0.0155	0.0680	0.0221	0.0153	0.0729	0.0216	
SBE	0.0271	0.1095	0.0367	0.0264	0.1229	0.0354	
DIS	0.0009	0.1275	0.0154	0.0009	0.1131	0.0152	
SHA	0.0187	0.0164	0.0029	0.0184	0.0166	0.0029	
ALT	0.0108	0.0362	0.0035	0.0107	0.0376	0.0035	
LUG	0.0472	0.1479	0.0047	0.0450	0.1736	0.0047	
Mittel	0.0200	0.0843	0.0142	0.0195	0.0895	0.0139	
gerundet	0.020	0.084	0.014	0.020	0.090	0.014	
GVE ¹⁾	0.0090	0.0465	0.0046	0.0091	0.0488	0.0047	

¹⁾ Luftdruckfühler in Genf mit Einrichtung zur Eliminierung des Feuchteinflusses versehen.

GB1-Typ

Termin	Morgen	c_k			c_a		
		Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend	
JUN	0.0124	0.0535	0.0139	0.0122	0.0508	0.0137	
WFJ	0.0104	0.0341	0.0050	0.0105	0.0353	0.0050	
ABO	0.0033	0.0559	0.0357	0.0033	0.0592	0.0344	
OTL	0.0212	0.0162	0.0197	0.0208	0.0160	0.0193	
Mittel	0.0118	0.0399	0.0186	0.0117	0.0403	0.0181	
gerundet	0.012	0.040	0.019	0.012	0.040	0.018	

Die Werte der c-Faktoren zeigen zwei wesentliche Merkmale. Einmal ist bei beiden automatischen Typen für die erwarteten c-Faktoren praktisch kein Unterschied gegeben. Weiter kann festgestellt werden, wie die Faktorenwerte morgens und mittags durch Messungen der Luftdruckwerte mittels dem GB1-Typ halbiert werden:

Termin	c _k			c _a		
	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend
gerundet ASTA	0.020	0.084	0.014	0.020	0.090	0.014
gerundet GB1	0.012	0.040	0.019	0.012	0.040	0.018
	Tagesmittel konventionell			Tagesmittel automatisch		
gerundet ASTA	0.039			0.041		
gerundet GB1	0.024			0.023		

Verglichen mit dem empirischen Faktorwert $c \leq 0.66$ von CONRAD liegen die gefundenen Werte für den Luftdruck recht tief. Das bedeutet eine sehr gute Übereinstimmung beider Messmethoden. Die Genauigkeitsansprüche an die übrigen Klimatelemente, verglichen mit jenen an den Luftdruck, liegen beispielsweise für die Temperatur um einen Faktor 10 niedriger. Betrachtet man die für die Temperatur und den Luftdruck gefundenen c-Faktoren miteinander, findet man hingegen nur ein Verhältnis von $c_{\text{Temperatur}} / c_{\text{Luftdruck}} = 0.20 / 0.040 = 5$. So besehen kommt man mit den automatischen Drucksensoren noch nicht ganz an die allgemeinen Genauigkeitsvorstellungen heran. Wir halten jedoch fest, dass dies kein abschliessendes Urteil zum Druckmessvergleich ist. Erfreulich ist er Umstand, dass als Resultat des Vergleichs konventioneller mit automatischer Druckmessung nicht so sehr der Methodenunterschied hervortritt, sondern eine merkliche Verbesserung der automatischen Druckmessung durch Verwendung der GB1-Typen anstelle der korrigierten ASTA-Typen im ANETZ festgestellt werden kann.

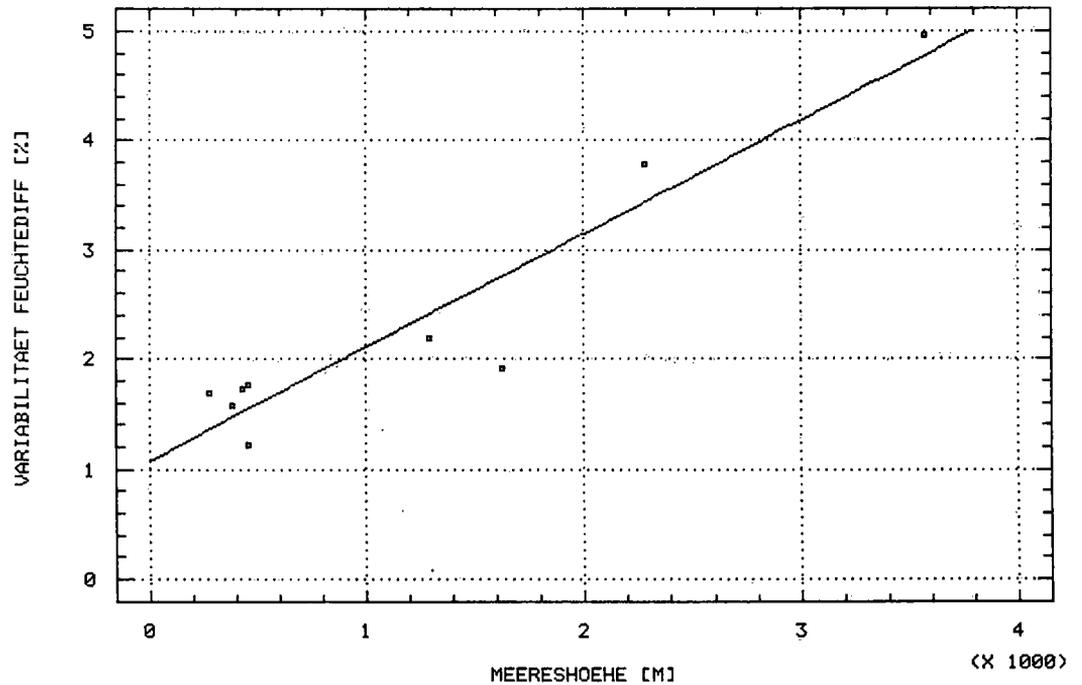
2.3.3. Relative Luftfeuchtigkeit

Die Werte der Variabilität betragen einige Prozente, wie dies bei einem Vergleich zweier ungenauer Instrumente zu erwarten ist (vgl. 2.1.3). Die auf den Höhenstationen anzutreffende und grössere Unsicherheit der Feuchtemessung durch Haarhygrometer wird deutlich. Die Variabilität ist doppelt so gross wie an Stationen in Höhenlagen von ca. 1600 müM und darunter (Tabelle XIII und Figur 7).

Tabelle XIII: Mittlere Veränderlichkeit der Differenz zwischen konventioneller und automatisch gemessenen Tagesmitteln der Luftfeuchtigkeit [%]

Station	AV	s	AV/s	AV gerundet	
JUN	4.96	4.06	1.22	5	1628 müM
GUE	3.79	3.26	1.16	4	
SBE	1.92	1.74	1.10	2	
SCU	2.19	1.90	1.15	2	
SHA	1.21	1.01	1.20	1	
ALT	1.77	1.96	0.90	2	
GVE	1.72	1.34	1.28	2	
OTL	1.58	1.46	1.08	2	
LUG	1.69	1.60	1.06	2	
Mittel	2.31	2.04	1.13	2	

Figur 7: Mittlere Veränderlichkeit der Differenz zwischen konventionell und automatisch gemessenen Tagesmitteln der Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit der Meereshöhe [%]



Die statistischen Masszahlen zu obiger Figur und dem linearen Modell $y=a+bx$ betragen

		Standardfehler	
Achsenabschnitt a:	1.0787	0.2114	
Steigung b:	1.0329 e-3	1.319 e-4	
Korrelationskoeffizient			Bestimmtheitsmass
r:	0.947	0.4218	89.75%

Die Variabilität von Luftfeuchtigkeitsmessungen an Parallelmessstationen erreicht in Meereshöhen von ca. 1000 m die Genauigkeitsgrenze nach Sonntag von 2%. Für Stationen über 2000 m wird die WMO-Angabe von 3% Genauigkeit überschritten. In grösseren Höhen erreicht man bald einen Zustand des Hygrometervergleichs, welcher Unsicherheiten im Umfang von rund 10% erreichen kann.

Tabelle XIV: Mittlere Variabilität der Differenz der Abweichung der Terminwerte vom Tagesmittel zwischen konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung [%]

Termin:	$\mu(k)$						$\mu(a)$					
	Morgen		Mittag		Abend		Morgen		Mittag		Abend	
	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s	μ	s
Station:												
JUN	10.78	12.20	9.03	9.17	11.70	12.60	9.51	10.66	7.61	7.27	9.85	10.09
GUE	7.35	6.90	10.33	6.93	7.27	6.12	8.21	7.52	10.94	7.99	8.15	6.85
SBE	9.78	7.05	13.60	8.17	6.72	5.48	10.31	7.49	15.19	9.32	7.80	6.26
SCU	17.57	11.04	14.82	7.88	8.60	6.04	15.07	11.27	13.13	8.14	7.61	5.55
SHA	10.64	8.18	15.82	8.65	9.83	7.19	9.89	7.45	14.69	7.83	10.18	7.01
ALT	13.25	8.74	8.17	5.96	6.86	6.55	12.06	8.08	7.71	5.62	6.58	6.26
GVE	16.41	10.54	12.78	7.88	10.00	7.28	15.08	9.79	12.69	7.56	8.88	6.67
OTL	11.04	8.07	7.07	4.69	5.97	5.77	10.74	8.11	6.73	4.67	6.11	5.76
LUG	12.08	9.16	6.00	5.18	6.50	7.12	11.11	8.51	5.87	4.85	5.96	6.67

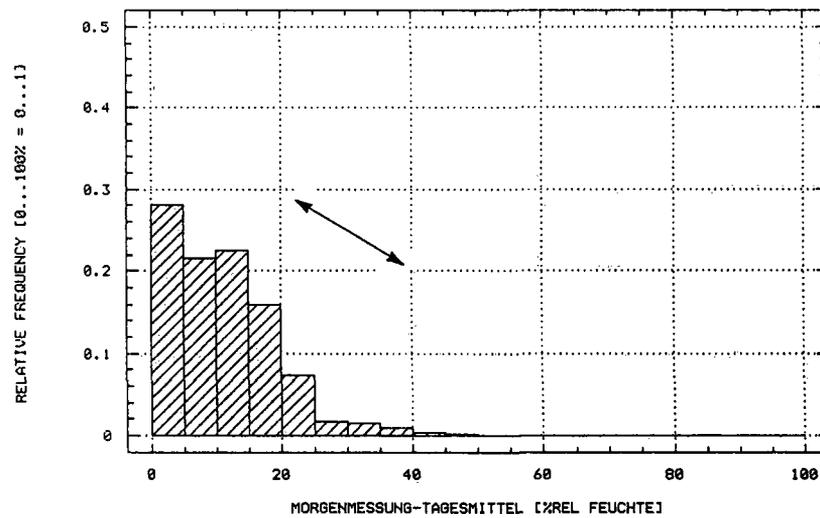
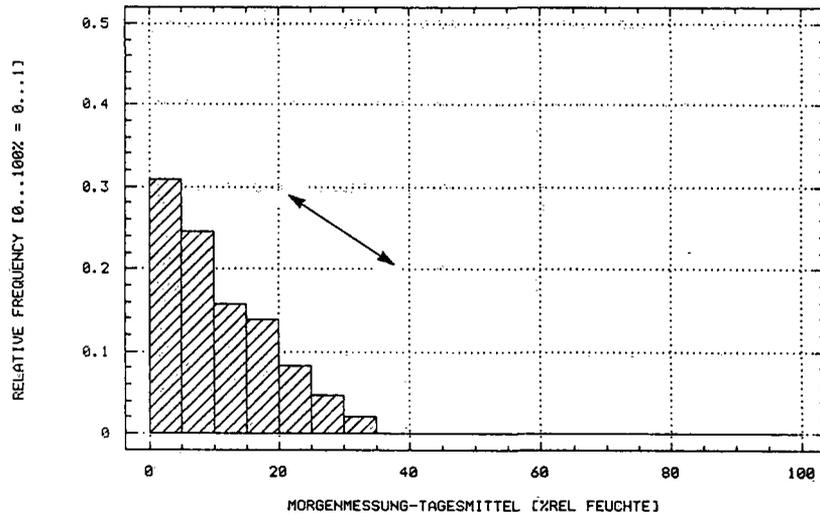
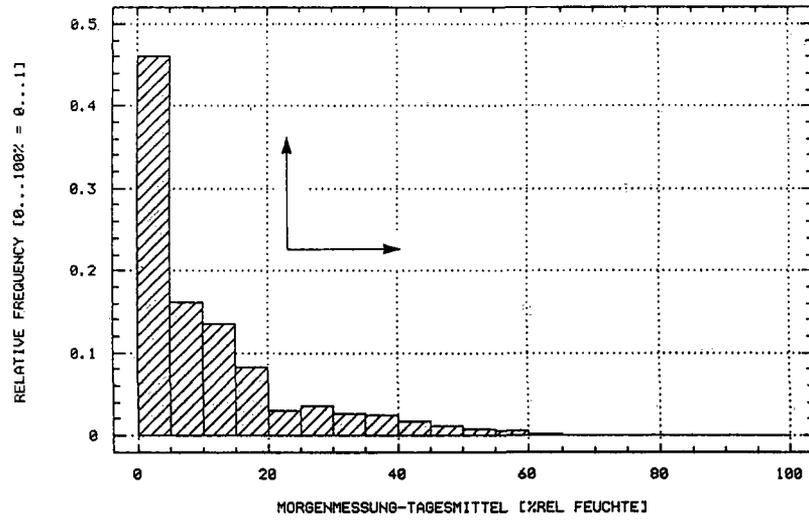
Tabelle XV: Mittlere Differenz der Variabilität konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung zum Terminzeitpunkt [%]; Erwartungswerte für c

Termin	$\mu(k-a)$			Erwartungswerte für c					
	Morgen	Mittag	Abend	Morgen		Mittag		Abend	
	c_{EWa}	c_{EWk}	c_{EWk}	c_{EWa}	c_{EWk}	c_{EWa}	c_{EWk}	c_{EWa}	c_{EWk}
Station									
JUN	1.27	1.42	1.85	0.13	0.12	0.19	0.16	0.19	0.16
GUE	-0.86	-0.61	-0.88	0.10	0.12	0.06	0.06	0.11	0.12
SBE	-0.53	-1.59	-1.08	0.05	0.05	0.11	0.12	0.14	0.16
SCU	2.50	1.69	0.99	0.17	0.14	0.13	0.11	0.13	0.12
SHA	0.75	1.13	-0.35	0.08	0.07	0.08	0.07	0.03	0.04
ALT	1.19	0.46	0.28	0.10	0.09	0.06	0.06	0.04	0.04
GVE	1.33	0.09	1.18	0.09	0.08	0.01	0.01	0.13	0.12
OTL	0.30	0.34	-0.14	0.03	0.03	0.05	0.05	0.02	0.02
LUG	0.97	0.13	0.54	0.09	0.08	0.02	0.02	0.09	0.08
Mittel				0.09	0.09	0.08	0.07	0.10	0.10

Die mittlere Variabilität der Feuchtigkeitsdifferenzen auf Jungfrauojoch zeigt im Vergleich mit andern Stationen ein besonderes Verhalten. Sie ist an allen drei Terminen im Mittel kleiner als die Streuung (Tabelle XIV). Eine Erklärung dafür ist in den vielen Terminwerten zu suchen, die während Tagen praktisch unverändert bleiben können. Es ergeben sich dadurch im Vergleich mit dem Tagesmittel viele von Null nicht gross abweichende Differenzen. Die häufigen Nebelsituationen, oder Sturmstage mit anhaltend derselben Witterung sind die Ursache dafür. Daneben treten Tage mit grossen Unterschieden zwischen beiden betrachteten Messmethoden auf: Als Grund dafür kann das häufige Auftreten des Psychrometereffektes angeführt werden. Beide Zustände führen zu einer Art Polarisierung des Differenzenkollektives, mit einem hohen Anteil an sehr kleinen und sehr grossen Differenzbeträgen. Diese Situation ändert sich mit abnehmender Meereshöhe zugunsten einer gleichmässigeren Aufteilung der Differenzen über den ganzen Wertebereich (Figur 8).

Die Berechnung der CONRAD'schen Grösse c gibt für alle Termine ein Bild sehr konstanten Verhaltens. Die Werte liegen betragsmässig weit unter der postulierten Zahl von $c \leq 0.66$. Man kann annehmen, dass diese kleine Variabilität der Differenzen darin begründet liegt, dass im automatischen Messnetz derselbe Typ des Haarhygrometers wie im konventionellen Netz verwendet wird. Er wurde um die automatische Datenerfassungsmöglichkeit und einen andern Strahlungsschutz erweitert. Diese Modifikationen wirken sich nicht durchschlagend aus.

Figur 8: Histogramme der Absolutdifferenzen zwischen konventioneller und automatischer parallel gemessener Luftfeuchtigkeit an den Stationen Jungfrauoch, Schaffhausen und Locarno



2.4. Streuung

2.4.1. Lufttemperatur

Schliesslich wenden wir uns den statistisch relevanten Grössen zu, welche eine grössere Aussagekraft als Differenz und Variabilität besitzen. Wir zeigen die Streuungen der Vergleichswerte für einige Stationen, berechnet mit den vom Hütteneffekt befreiten Tagesmitteldifferenzen.

Für jede Station wurden die mittleren Streuungen der Tagesmitteldifferenz und die mittleren Abweichungen der Terminwerte vom Tagesmittel berechnet. Da die Differenz zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung als $\bar{\Delta}=0$ angesehen wird, bleibt die Streuung zwischen Tagesmitteln und die mittlere Abweichung der konventionellen Messung zum Tagesmittel als Ausdruck des Hütteneffekts zu beurteilen.

An allen Stationen stellt sich eine Streuung der Tageswerte mit einigen Zehntelgraden ein. Es sind nur die konventionellen Messungen dem Hütteneinfluss unterworfen. Deshalb widerspiegeln die terminlichen Differenzwerte aus Tabelle XVI den an jeder Station zu erwartenden mittleren Korrekturbetrag für den Hütteneffekt für konventionelle Terminmessungen. Wäre nämlich der Hütteneffekt nicht vorhanden, würden sich die Differenzen sehr wenig von Null unterscheiden. Der Rechengang dafür ist mit Gleichung 16 gegeben:

$$\Delta_t = (t_{konv(1...3)} - t_{auto(1...3)}) - \bar{d}_{corr} \quad (16)$$

Δ_t = Termindifferenz (t, 1...3: t₁ = Morgentermin, t₂ = Mittagtermin, t₃ = Abendtermin)

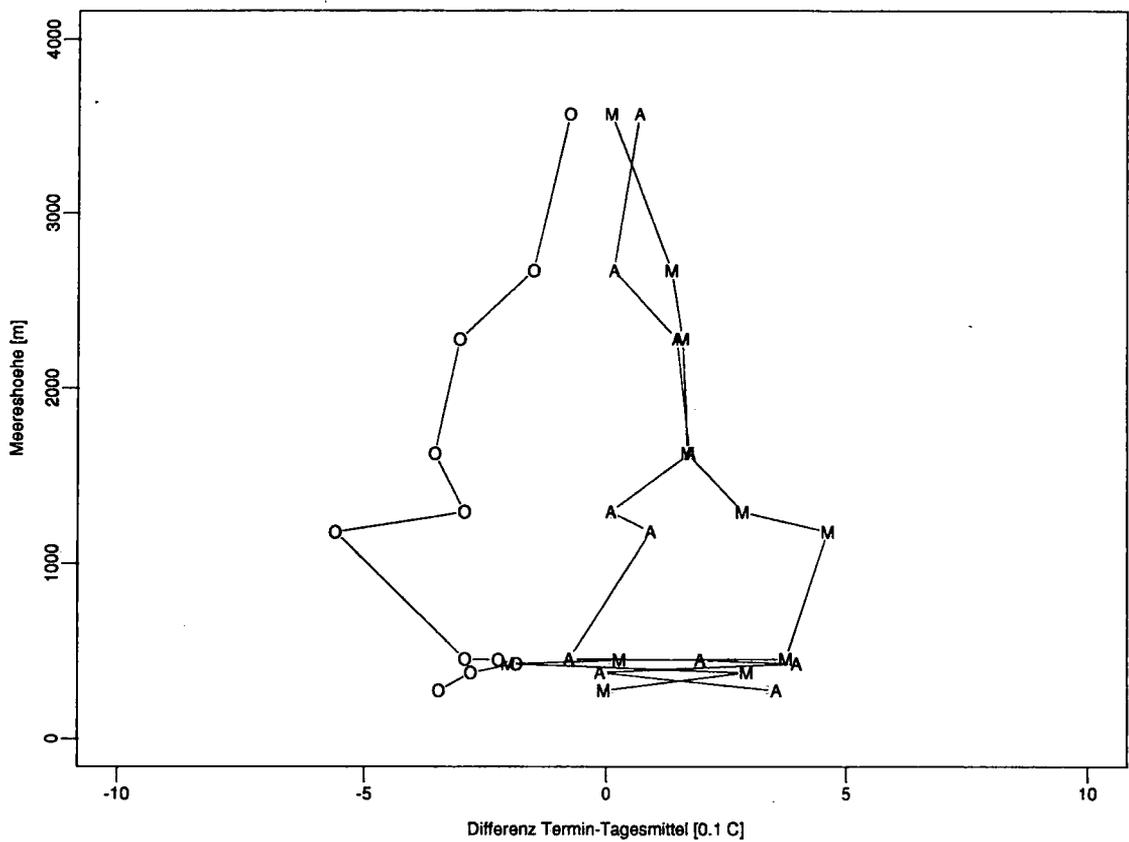
d_{corr} = 31-tägig gleitend gemittelte Tagesmitteldifferenzen

Tabelle XVI: Mittlere Streuung der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln der Lufttemperatur; Mittlere Differenzen und Streuungen des Vergleichs konventioneller und automatischer Terminwerte der Temperatur mit dem Tagesmittel [0.1 °C]

	Streuung der Differenz der Tagesmittelwerte: \bar{s}	Differenz der Terminwerte zur Tagesmitteldifferenz (d_{corr}):					
		Morgen		Mittag		Abend	
		Δ_1	s	Δ_2	s	Δ_3	s
JUN	3.97	-0.77	5.88	0.10	5.90	0.68	5.67
WFJ	4.88	-1.53	4.91	1.36	11.17	0.15	5.21
GUE	4.87	-3.04	7.49	1.59	10.33	1.47	7.82
SBE	4.48	-3.55	6.18	1.70	9.57	1.74	8.09
SCU	4.37	-2.94	5.60	2.84	10.90	0.09	9.26
DIS	3.61	-5.59	6.80	4.61	7.24	0.93	6.69
SHA	2.67	-2.93	3.67	3.74	6.55	-0.78	3.90
ALT	4.67	-2.24	7.17	0.28	7.43	1.96	8.47
GVE	3.45	-1.87	5.29	-2.04	6.61	3.96	5.53
OTL	2.72	-2.81	3.54	2.92	6.83	-0.14	3.88
LUG	3.42	-3.47	5.23	-0.05	7.15	3.54	5.78
Mittel	3.92	-2.80	5.61	1.55	8.15	1.24	6.39
Gerundete Zehntel	4	-3	6	2	8	1	6

Figur 9: Relative Lage der Temperaturwerte des Einzeltermins zu dem vom Hütteneinfluss befreiten Tagesmittel von Messungen im Stevensonscreen, in Abhängigkeit der Meereshöhe

O: Morgentermin
M: Mittagtermin
A: Abendtermin



Die mittleren Differenzen der Terminwerte zum Tagesmittel zeigen eine Abnahme ihres Betrages mit zunehmender Höhe. Da die Streubeträge recht gross sind, kann dies aber nur eine Tendenz anzeigen. Die für einzelne Monatsmittel errechneten Streuungen der Differenzen weisen grundsätzlich dasselbe Bild auf. Höher gelegene Stationen (schon ab 1200-1500 müM) haben allgemein grössere Streuungen der Differenzen aufzuweisen als Mittellandstationen.

Tabelle XVII: Mittlere monatliche Streuungen der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln der Lufttemperatur [0.1 °C]

Station	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
JUN	6.63	3.78	3.23	-	3.29	3.44	4.73	4.52	2.77	3.52	2.96	3.39	3.84
WFJ	6.22	4.47	3.44	3.53	4.33	3.46	4.38	5.63	5.18	4.96	5.83	5.41	4.74
GUE	6.43	5.65	4.18	4.62	4.53	3.78	4.37	5.51	3.93	4.45	6.16	4.35	4.83
SBE	5.20	4.73	3.66	4.95	5.07	3.25	3.95	3.51	5.21	4.42	5.79	3.91	4.47
SCU	4.28	4.43	4.50	5.00	4.12	3.55	-	4.24	4.84	5.44	3.50	4.41	4.39
DIS	4.76	4.24	4.16	3.20	2.55	4.27	3.59	3.79	3.24	3.29	3.34	3.64	3.67
SHA	2.18	1.24	2.21	2.63	3.50	3.29	2.36	2.78	2.85	3.22	2.06	2.55	2.57
ALT	3.93	6.61	4.58	7.12	3.81	4.91	3.25	4.59	3.80	4.01	3.82	4.16	4.55
GVE	3.38	2.03	4.68	3.15	3.29	3.16	2.83	3.93	4.24	3.00	3.71	2.79	3.35
OTL	3.14	2.64	3.17	2.54	2.52	3.01	2.97	2.52	2.67	2.62	2.49	2.74	2.75
LUG	2.70	2.71	4.25	3.49	3.65	3.22	3.30	4.15	3.97	3.41	2.98	2.48	3.36
Mittel aus 11 Stationen	4.44	3.87	3.82	4.02	3.70	3.58	3.57	4.11	3.88	3.85	3.97	3.62	3.87
Streuungen	1.54	1.59	0.76	1.41	0.79	0.56	0.77	0.93	0.93	0.88	1.38	0.93	1.04

Die mittlere monatliche Differenzstreuung beträgt rund 0.39 °C (Tabelle XVII). Um diese Zahl und die Verhältnisse an den einzelnen Stationen besser überblicken zu können, setzen wir die Werte der Zahlentabelle für alle Stationen (x_i) in Beziehung zu dieser mittleren monatlichen Streuung (\bar{x}) und deren mittlerem Streuwert (s). Wir standardisieren nach Gleichung 17

$$x_{st} = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (17)$$

Tabelle XVIII: Mittlere standardisierte monatliche Streuungen der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln der Lufttemperatur [0.1 °C]

Monat	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	
Station	Absolutstreuungen auf die mittlere jährliche Streuung standardisiert												Jahr aufgerundet
JUN	2.65	-0.09	-0.62	-	-0.56	-0.41	0.83	0.63	-1.06	-0.34	0.09	-0.46	0.1
WFJ	2.26	0.58	-0.41	-0.33	0.44	-0.39	0.49	1.69	1.26	1.05	1.89	1.48	0.8
GUE	2.46	1.71	0.30	0.72	0.63	-0.09	0.48	1.58	0.06	0.56	2.20	0.46	0.9
SBE	1.28	0.83	-0.20	1.04	1.13	-0.60	0.08	-0.35	1.29	0.53	1.85	0.04	0.6
SCU	0.39	0.54	0.61	1.09	0.24	-0.31	-	0.36	0.93	1.51	-0.36	0.52	0.5
DIS	0.86	0.36	0.28	-0.64	-1.27	0.38	-0.27	-0.08	-0.61	-0.56	-0.51	-0.22	-0.2
SHA	-1.63	-2.53	-1.60	-1.19	-0.36	-0.56	-1.45	-1.05	-0.98	-0.63	-1.74	-1.27	-1.3
ALT	0.06	2.63	0.68	3.13	-0.06	1.00	-0.60	0.69	-0.07	0.14	-0.05	0.28	0.6
GVE	-0.47	-1.77	0.78	-0.69	-0.56	-0.68	-1.00	0.09	0.36	-0.84	-0.15	-1.04	-0.5
OTL	-0.70	-1.18	-0.67	-1.28	-1.30	-0.83	-0.87	-1.30	-1.15	-1.20	-1.33	-1.09	-1.1
LUG	-1.13	-1.12	0.37	-0.37	-0.21	-0.63	-0.55	0.27	0.10	-0.44	-0.86	-1.34	-0.5
Gerundetes Mittel aus 11 Stationen													
	0.5	-0.0	-0.1	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	0.2	0.2	-0.0	0.1	-0.3	

Die Tabelle XVIII zeigt auf, an welcher Stelle einer Standardnormalverteilung sich die einzelnen absoluten Streuwerte aus Tabelle XVII befinden. Sie gibt mit standardisierter Streuungsdistanz (Einheit: Streuung des untersuchten Kollektivs) an, in welcher Position um den berechneten mittleren jährlichen Streuwert sich die absoluten Streubeträge in einer Standardnormalverteilung befinden. Aufgrund der in Klassen zusammengefassten Darstellung wie in Tabelle XIX wird ersichtlich, wie im Winterhalbjahr die Wahrscheinlichkeit für grössere Differenzstreuungen steigt. Zur Hauptsache bewegen sich die gefundenen standardisierten Werte innerhalb eines Bereiches, welcher mit einer Ausdehnung von vermehrt einfacher bis vereinzelt doppelter Streubreite um den Mittelwert definiert ist. Diese Anordnung der Differenzstreuungen gibt keinen Anlass zu besonderer Beunruhigung. Die absoluten monatlichen Mittelwerte der Differenzstreuungen bewegen sich in einem Bereich von ± 0.5 Standardabweichungen der Normalverteilung! Hingegen ist eine Höhenabhängigkeit aus den mittleren jährlichen Differenzstreuungen ersichtlich. Stationen mit grösserer Meereshöhe als ca. 1200 m_N zeigen durchwegs positive Werte unter den standardisierten Streuungen, die Stationen darunter mit einer Ausnahme zeigen Negativzahlen. Dies weist darauf hin, dass Mittellandstationen eher kleinere, Höhenstationen grössere Streubeträge der Methodendifferenz aufweisen.

Tabelle XIX: Klassen der mittleren monatlichen standardisierten Differenzstreuungen zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung [Streuungseinheit s]

Klassen		s											
>>:	> als 2.0												
>:	> 1.0 bis 2.0												
0:	-1.0 bis 1.0												
<:	<-1.0 bis -2.0												
<<:	< als -2.0												
-:	fehlender Wert												

Monat	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	
Station													
JUN	>>	0	0	-	0	0	0	0	<	0	0	0	
WFJ	>>	0	0	0	0	0	0	>	>	>	>	>	
GUE	>>	>	0	0	0	0	0	>	0	0	>>	0	
SBE	>	0	0	>	>	0	0	0	>	0	>	0	
SCU	0	0	0	>	0	0	-	0	0	>	0	0	
DIS	0	0	0	0	<	0	0	0	0	0	0	0	
SHA	<	<<	<	<	0	0	<	<	0	0	<	<	
ALT	0	>>	0	>>	0	0	0	0	0	0	0	0	
GVE	0	<	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	
OTL	0	<	0	<	<	0	0	<	<	<	<	<	
LUG	<	<	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	
Häufigkeit der verschiedenen Klassen pro Monat:													
>>	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	6
>	1	1	0	2	1	0	0	2	2	2	2	1	14
0	5	5	10	5	8	11	9	7	7	8	6	6	87
<	2	3	1	2	2	0	1	2	2	1	2	4	22
<<	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Sind Temperaturmessungen je nach verwendeter Methode der Erfassung voneinander verschieden? Die Streuung und der Standardfehler beider Methoden können in erster Näherung als gleichwertig angesehen werden (Tabelle XX). Wir vermuten aufgrund der dargestellten Zahlen, dass eine minimale Tendenz zu grösserer Streuung und damit zu grösserem Standardfehler bei der konventionellen Methode vorhanden ist. Würde sich diese Tendenz, falls sie als signifikant angesehen werden müsste, in gravierender Weise auf die Daten auswirken? Die theoretische Überlegung zeigt, dass dies nicht massgeblich der Fall sein wird:

Betrachten wir die Standardnormalverteilung als Ausgangsbasis. Unsere konventionellen Temperaturwerte weisen, mit den automatischen verglichen, einen Mittelwert der Differenz von $\bar{\Delta}=0$ und die Streuung 1 auf. Da die automatisch gemessenen Temperaturen eine leicht geringere Streuung als die konventionell beobachteten aufweisen (Tabelle XX: 99.87% der Streuung !!) können wir vermuten, dass die Mittelwerte keiner signifikanten Änderung unterworfen sind. Welche Auswirkungen hat diese Situation auf die Extremwerte? In der Standardnormalverteilung liegen 99.75% der Werte im Bereich von $z = \pm 2.576$. Der Quotient aus den mittleren Streuwerten beider Methoden beträgt:

$$\text{Streuung}_{\text{konventionell}} / \text{Streuung}_{\text{automatisch}} = 1.0013$$

Die um 1.3 Promille erhöhte Streuung der konventionellen Messung vergrössert den Wertebereich der Messungen mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 99.75% auf $1.0013 \cdot 2.576 = 2.579$. Aus statistischen Tafeln entnimmt man, dass 99.49% der Messungen mit $z = \pm 2.570$ anstehen (zweiseitige Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.2505%). Weiter findet man für Werte mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 99.51% (zweiseitige Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.2405%) einen Bereich von $z = \pm 2.580$. (RIEDWYL 1978, Seite 108).

Linear interpoliert ergibt sich für eine Erhöhung von $z = \pm 2.576$ auf $z = \pm 2.579$ eine Ausdehnung des Kollektives um 0.006% (gleiche Auftretenswahrscheinlichkeit vorausgesetzt!). Konkret bedeutet dies: Wenn wir eine 30-jährige, konventionell messende Klimareihe mit rund 32940 Terminwerten vor uns haben, sind anstelle von 0.25% (=82.35 Fälle) nur noch 0.244% (=80.37 Fälle) unsicher. Oder anders formuliert, wird die Verringerung der Messstreuung durch die Verwendung automatischer Stationen eine grössere Sicherheit für zwei Messfälle in dreissig Jahren erbringen.

Der vielfach geäusserte Mangel der konventionellen Messung gegenüber dem Automaten, - die zeitliche Unsicherheit der Messung durch den Beobachter (σ_F nach WMO) -, kann als entkräftet angesehen werden. Wir müssen in der Regel viel mehr Unsicherheit durch instrumentelle, wartungsbedingte und andere Einflüsse in Kauf nehmen. Weiterhin darf daraus geschlossen werden, dass sich die Mittelwerte und insbesondere die Extremwerte nicht merklich ändern werden.

Diese Ausführungen gelten nur unter der einleitend erwähnten Voraussetzung, dass sämtliche Inhomogenitäten vor einer Reihenbearbeitung entfernt wurden!

Tabelle XX: Mittelwert, Streuung und Standardfehler der Mittelwerte der Parallelmessungen der Temperatur, berechnet aufgrund von Tageswerten [0.1 °C]

Erfassung::	automatisch			konventionell			$\Delta(k-a)$			
	Statistisches Moment	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	$\Delta_{\bar{x}}$	Δ_s	$\Delta_{s_{\bar{x}}}$
Station										
JUN		-69.53	66.18	3.51	-69.53	66.39	3.52	0.00	0.21	0.01
WFJ		-22.08	74.00	2.74	-22.09	74.21	2.75	-0.01	0.21	0.01
GUE		-0.02	69.88	2.59	-0.02	69.95	2.59	0.00	0.07	0.00
SBE		38.31	68.28	3.57	38.28	68.46	3.58	-0.03	0.18	0.01
SCU		47.04	86.79	4.75	47.03	86.62	4.74	-0.01	-0.17	-0.01
DIS		56.53	68.87	3.12	56.52	68.73	3.11	-0.01	-0.14	-0.01
SHA		97.60	76.11	3.25	97.61	76.36	3.26	0.01	0.25	0.01
ALT		96.17	67.86	2.21	96.17	67.96	2.21	0.00	0.10	0.00
GVE		108.77	74.85	2.77	108.79	74.95	2.77	0.02	0.10	0.00
OTL		121.79	72.27	2.18	121.78	72.34	2.19	-0.01	0.07	0.01
LUG		116.65	67.49	2.50	116.66	67.63	2.50	0.01	0.14	0.00
Mittel			72.05			72.15		-0.0027		0.0027
									0.09	

$$s_k / s_a = 1.0013$$

$$s_a / s_k = 0.9987$$

2.4.2. Luftdruck

Die unkorrigierten ASTA-Typ Messungen neigen zu einem Termindifferenzverhalten, welches den Tagesgang der Feuchtigkeit widerspiegelt (hohe Feuchtwerte ergeben zu tiefe Druckwerte). Die Absolutdifferenzwerte der terminlichen Luftdruckmessung erreichen den Betrag von einem Zehntel Hektopascal jedoch nicht. Da wir nur an vier Stationen Messungen mit dem GB1-Typ ausgewertet haben, kann für diesen Typ nur auf die kleineren Streuwerte der Tagesmitteldifferenz hingewiesen werden. Die Termindifferenzwerte sind wesentlich ausgeglichener. Die Streuung von rund 0.2 hPa und die damit zusammenhängende Genauigkeit scheinen sich in der Praxis zu bestätigen (vgl. Kapitel 2.1.2.).

Tabelle XXI: Mittlere Streuung der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln des Luftdruckes; Mittlere Differenzen und Streuungen des Vergleichs konventioneller und automatischer Terminwerte des Luftdruckes [0.1 hPa]

ASTA-Typ	Tageswerte \bar{s}	Terminwerte					
		Morgen		Mittag		Abend	
		Δ	s	Δ	s	Δ	s
GUE	2.30	0.24	3.07	0.34	2.92	-0.58	3.68
SBE	2.18	-0.07	3.54	0.66	2.37	-0.52	4.54
DIS	1.05	-0.23	1.31	1.02	1.46	-0.79	1.86
SHA	1.42	-0.45	2.92	0.15	1.67	0.24	1.49
ALT	4.17	-0.72	5.14	1.30	6.65	-0.49	5.07
LUG	3.24	-0.71	5.01	2.06	2.99	-1.34	5.42
Mittel	2.39	-0.32	3.50	0.92	3.01	-0.58	3.68
Mittel ohne ALT ¹⁾	2.04	-0.24	3.17	0.85	2.28	-0.60	3.40
GVE ²⁾	1.81	0.30	2.25	-0.15	2.80	-0.07	3.38

¹⁾ Begründung siehe 2.5.2

²⁾ Luftdruckfühler in Genf mit Einrichtung zur Eliminierung des Feuchteinflusses versehen.

GB1-Typ

GB1-Typ	Tageswerte \bar{s}	Terminwerte					
		Morgen		Mittag		Abend	
		Δ	s	Δ	s	Δ	s
JUN	2.31	0.08	3.73	-0.10	3.05	0.02	2.92
WFJ	1.09	-0.09	1.59	0.10	1.48	0.00	2.25
ABO ¹⁾	3.92	0.28	3.46	-1.17	5.99	0.79	6.52
OTL	1.07	-0.25	1.54	0.25	1.61	-0.02	1.94
Mittel	2.10	0.01	2.58	-0.23	3.03	0.20	3.41
Mittel ohne ABO ¹⁾	1.49	-0.09	2.29	0.08	2.05	0.00	2.37

¹⁾ Begründung siehe 2.5.2

Tabelle XXII: Mittlere monatliche Streuung der Differenzen zwischen konventioneller und automatischer Luftdruckmessung [0.1 hPa]

ASTA-Typ

Monat Station	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Jahr
GUE	3.05	2.32	2.43	1.52	1.68	1.80	1.32	1.62	1.44	2.70	2.11	3.96	
SBE	1.73	2.35	2.67	2.24	1.72	2.52	1.88	1.41	1.89	1.68	1.11	3.91	
DIS	0.94	0.63	1.40	0.68	1.00	0.84	0.98	1.15	0.84	1.31	1.16	1.33	
SHA	1.27	1.02	1.36	0.91	3.21	0.76	0.71	0.86	0.86	1.39	1.08	1.76	
ALT	2.96	3.89	4.38	2.43	2.13	6.92	2.38	1.87	2.13	3.80	3.85	5.98	
LUG	3.53	3.64	3.36	4.05	2.48	1.98	2.02	2.65	2.19	4.28	3.91	3.55	
Mittel	2.25	2.31	2.60	1.97	2.04	2.47	1.55	1.59	1.56	2.53	2.20	3.42	2.21
GVE ¹⁾	1.90	1.58	1.24	1.95	1.56	0.94	2.05	1.10	1.94	2.98	0.93	1.28	

¹⁾ Luftdruckfühler in Genf mit Einrichtung zur Eliminierung des Feuchteinflusses versehen.

GB1-Typ

Monat Station	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Jahr
JUN	3.10	2.51	3.35	1.50	1.71	1.62	1.86	1.22	1.35	2.06	2.18	2.93	
WEJ	0.71	0.72	0.87	0.74	2.14	0.85	0.81	1.25	0.96	0.62	1.55	1.02	
ABO	-	1.82	2.64	1.95	1.80	2.73	2.23	1.78	1.61	1.74	2.60	3.81	
OTL	1.06	0.99	1.21	1.15	0.90	1.13	1.15	0.99	0.88	1.46	1.10	0.85	
Mittel	1.62	1.51	2.02	1.34	1.64	1.58	1.51	1.31	1.20	1.47	1.86	2.15	1.60

Quotient GB1/ASTA:

%	72	65	78	68	80	64	97	82	77	58	85	63	74
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Die Monatswerte der Differenzstreuungen ergeben ähnliche Mittelwerte wie jene der Tageswerte (vgl. Bemerkungen zur Genauigkeit, Kapitel 2.1.2.). Die GB1-Typen weisen somit rund 30% weniger grosse monatliche Streuungen der Methodendifferenz auf. Die angebrachte Feuchtekorrektur zeitigt ihre Wirkung. Die automatische Druckmessung und die konventionelle Druckmessung weisen somit, aus dem Vergleich mit monatlichen Mittelwerten resultierend, einen Streubereich von 0.16 hPa auf.

2.4.3. Relative Luftfeuchtigkeit

Die Streuungen der Tages- und Terminwertdifferenzen der relativen Feuchtigkeit sind im Gegensatz zu den Streuungen der Temperaturdifferenzen nicht mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Höchstwahrscheinlich spielt der Umstand eine Rolle, dass für die konventionelle wie für die automatische Messung dasselbe Grundinstrument Verwendung fand (Haarhygrometer), und andererseits die beiden Messungen nicht näher untersuchte, aufgrund der instrumentenbedingten Ungenauigkeit jedoch als gross anzunehmende, stochastische Anteile in die Untersuchung einbringen.

Tabelle XXIII: Mittlere Streuung der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln der Luftfeuchtigkeit; Mittlere Differenzen und Streuungen des Vergleichs konventioneller und automatischer Terminwerte der Luftfeuchtigkeit [%]

	Tageswerte		Terminwerte					
	\bar{s}		Morgen		Mittag		Abend	
			Δ	s	Δ	s	Δ	s
JUN	6.41		0.18	10.41	-0.79	9.26	1.18	8.61
GUE	5.00		0.50	7.20	0.46	7.93	-0.94	7.35
SBE	2.59		-0.30	3.97	1.60	4.96	-1.37	4.28
SCU	2.90		2.80	3.37	-2.98	7.10	0.20	4.84
SHA	1.57		0.65	2.84	-1.10	2.93	0.46	2.31
ALT	2.64		1.25	4.31	-0.65	4.29	-0.53	5.01
GVE	2.20		1.42	3.69	-0.13	3.26	-1.13	3.85
OTL	2.15		0.46	3.43	-0.65	3.85	0.19	3.52
LUG	2.33		1.08	3.73	-0.19	3.68	-0.86	4.50
Mittel	3.09		0.89	4.77	-0.49	5.25	-0.31	4.92
Gerundete Werte	3		1	5	-1	5	0	5

Tabelle XXIV: Mittlere monatliche Streuung der Differenzen zwischen konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung [%]

Monat	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Station													
JUN	8.13	7.15	7.72	6.19	6.28	5.74	6.51	4.87	5.50	6.37	6.51	5.83	6.40
GUE	4.99	5.24	5.49	4.47	5.56	4.83	4.27	4.29	3.74	4.70	6.72	5.30	4.97
SBE	2.66	2.31	1.72	2.77	2.64	4.29	2.56	2.27	1.93	2.61	2.54	2.25	2.55
SCU	4.37	3.73	2.96	2.47	2.25	1.90	-	2.25	1.95	2.88	2.16	3.84	2.80
SHA	1.32	1.29	1.44	1.39	3.17	1.75	1.54	1.41	1.26	1.43	1.51	1.33	1.57
ALT	2.38	3.01	2.37	1.94	1.78	2.38	3.71	2.03	1.92	3.12	2.78	3.62	2.59
GVE	2.53	2.39	2.02	2.47	1.97	2.47	2.13	2.27	2.70	2.13	1.61	1.62	2.19
OTL	2.46	2.53	2.10	1.78	2.84	1.90	1.80	1.56	1.84	2.16	2.36	2.12	2.12
LUG	1.93	3.20	2.72	1.64	2.94	2.36	2.54	1.63	2.50	2.36	2.30	1.56	2.31
Mittel	3.42	3.43	3.17	2.79	3.27	3.07	3.13	2.51	2.60	3.08	3.17	3.05	3.06

In der Tabelle XXIV liegen die meisten Werte der Differenzstreuungen für Mittellandstationen um den Wert von 3%. Die mittleren Monatswerte weisen keinen nennenswerten Jahrgang auf. Es wurde deshalb auf eine Standardisierung verzichtet. Einzig auf den Stationen ab ca. 1200 mÜM wird der Absolutwert der Streuungen wesentlich erhöht. Dies höchstwahrscheinlich aufgrund der bekannten, an diesen Orten vermehrt auftretenden Vereisungs- und Abtrocknungseffekte. Beide Instrumente sind den erwähnten Prozessen auf den höher gelegenen Stationen, und besonders im kalten Halbjahr, mehr ausgesetzt als in der Ebene.

2.5. Standardfehler und Vertrauensgrenzen

Gemäss den Gleichungen 7 und 8 sind das Vertrauensintervall und die entsprechenden Grenzen definiert. Mit einer vorbestimmten Wahrscheinlichkeit befindet sich der wahre Wert innerhalb des Vertrauensintervalls. Den wahren Wert der Temperatur lassen wir hier unberücksichtigt. Als wahren Wert nehmen wir die theoretische Differenz $\bar{\Delta}=0$ zwischen Messungen der Lufttemperatur am selben Standort. Es interessiert in erster Linie, wie gross das Vertrauensintervall wird, wenn wir konventionelle mit automati-

scher Messwerterfassung vergleichen. Wir können den Standardfehler des Differenzvergleiches mit der Instrumentenauflösung und den von der WMO vorgeschlagenen Limiten vergleichen. Zusätzlich lässt sich der Standardfehler mit der von der WMO geschilderten Relation unter den drei Hauptfehlerarten (Gleichung 10) vergleichen. Daraus wird ersichtlich, wie gut beide Messverfahren übereinstimmen und in welchen Bereichen der Fehlergrößen sich der Vergleich ansiedeln lässt.

2.5.1. Lufttemperatur

Für die Temperaturverhältnisse basieren unsere Überlegungen auf Einzel- und Tageswerten, welche vom Hütteneinfluss durch Hochpassfilterung befreit wurden (vgl. 1.6.2.).

Tabelle XXV: Mittlerer täglicher Standardfehler der Differenzen konventioneller und automatischer Temperaturmessung samt Vertrauensbereichen [0.1 °C]

	$s_{\bar{x}}$	Vertrauensbereiche [$\pm s_{\bar{x}} \cdot z$]		
		für $\bar{\Delta} = 0$ und zweiseitiger Irrtumswahrscheinlichkeit von		
		0.50%	1.0%	5.0%
JUN	0.21	0.590	0.541	0.412
WFJ	0.18	0.506	0.464	0.353
GUE	0.18	0.506	0.464	0.353
SBE	0.23	0.646	0.592	0.451
SCU	0.24	0.670	0.618	0.470
DIS	0.11	0.309	0.283	0.216
SHA	0.15	0.422	0.386	0.294
ALT	0.13	0.365	0.335	0.255
GVE	0.08	0.225	0.206	0.157
OTL	0.13	0.365	0.335	0.255
LUG	0.16	0.450	0.412	0.314
Mittel	0.164	0.459	0.421	0.321
Gerundete Werte:				
JUN		0.6	0.5	0.4
WFJ		0.5	0.5	0.4
GUE		0.5	0.5	0.4
SBE		0.6	0.6	0.5
SCU		0.7	0.6	0.5
DIS		0.3	0.3	0.2
SHA		0.4	0.4	0.3
ALT		0.4	0.3	0.3
GVE		0.2	0.2	0.2
OTL		0.4	0.3	0.3
LUG		0.5	0.4	0.3
Mittel		0.46	0.42	0.35

Wir diskutieren den Teil der Tabelle mit den gerundeten Vertrauensintervallen:

- a) Die *Höhenstationen* ab circa 1200 m Meereshöhe (Schuls) weisen bei einer Differenz von 0.0 °C einen Vertrauensbereich von ≥ 0.1 °C auf, welcher grösser ist als die Instrumentenauflösung. Die Irrtumswahrscheinlichkeit dafür beträgt ein Prozent.
- b) Für sämtliche *Einzelstationen* ist mit einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5.0% anzunehmen, dass die durchschnittliche Übereinstimmung der Messun-

gen besser als $\pm 0.05 \text{ }^\circ\text{C}$ ist. Die Genauigkeit der Messungen untereinander beträgt somit mit einer Wahrscheinlichkeit von 97.5% 1 Zehntelgrad C oder weniger.

- c) Das untersuchte *Kollektiv* hingegen weist bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von einem halben Prozent immer noch einen Vertrauensbereich von $\pm 0.046 \text{ }^\circ\text{C}$ auf. Es liegt somit als ganzes knapp unter der von der WMO postulierten Grösse.

Wenn die WMO-Werte als Vertrauensbereiche angesehen werden, findet man keinen Unterschied zwischen einer Temperaturmessung, welche durch konventionelle oder automatische Fühler getätigt wurde. Diese Aussage bezieht sich auf die in dieser Untersuchung verwendeten, mittleren, hochpassgefilterten Tagesmittelwerte.

2.5.2. Luftdruck

In Tabelle XXVI sind die Standardfehler der Messdifferenzen des Luftdruckes aufgeführt. Grundsätzlich stimmen beide Messmethoden mit einem Standardfehler von rund 1 Hundertstel Hektopascal überein. Die Ausnahme bildet Altdorf. Die grosse Streuung in allen Luftdrucktabellen ist durch eine fehlende Korrektur im Parallelmessdatenmaterial begründet (Sensorkennlinienkorrektur mittels eines Polynoms 2. Grades wurde nicht angebracht). Wir ersehen daraus, dass trotz der versuchten Eliminierung von Fremdbeeinflussung gewisse Storgrossen in indirekter Weise immer noch auf die Daten wirken können. In der Tabelle XXVI fällt Adelboden unter den GB1-Typen ebenfalls aus dem Rahmen. Dabei handelt es sich um die ungebührliche Einflussnahme einzelner Ausreisser, welche sich in rund 10.0 hPa Entfernung vom restlichen Differenzkollektiv befinden.

Tabelle XXVI: Mittlerer täglicher Standardfehler der Differenzen konventioneller und automatischer Luftdruckmessung samt Vertrauensbereichen [0,1 hPa]

ASTA-Typ

	$s_{\bar{x}}$	Vertrauensbereiche $[\pm s_{\bar{x}} * z]$					
		für $\bar{\Delta} = 0$ und zweiseitiger Irrtumswahrscheinlichkeit von					
		0.5%	1.0%	2.0%	5.0%	10.0%	20.0%
GUE	0.09	0.253	0.232	0.209	0.176	0.148	0.115
SBE	0.11	0.309	0.283	0.256	0.216	0.181	0.141
DIS	0.05	0.141	0.129	0.116	0.098	0.082	0.064
SHA	0.07	0.197	0.180	0.163	0.137	0.115	0.090
ALT	0.15	0.422	0.386	0.349	0.294	0.247	0.192
LUG	0.10	0.281	0.258	0.233	0.196	0.165	0.128
Mittel	0.095	0.267	0.245	0.221	0.186	0.156	0.122
GVE ¹⁾	0.07	0.197	0.180	0.163	0.137	0.115	0.090

GB1-Typ

	$s_{\bar{x}}$	Vertrauensbereiche $[\pm s_{\bar{x}} * z]$					
		für $\bar{\Delta} = 0$ und zweiseitiger Irrtumswahrscheinlichkeit von					
		0.5%	1.0%	2.0%	5.0%	10.0%	20.0%
JUN	0.09	0.253	0.232	0.209	0.176	0.148	0.115
WFJ	0.06	0.169	0.155	0.140	0.118	0.099	0.077
ABO	0.21	0.590	0.541	0.488	0.412	0.345	0.269
OTL	0.06	0.169	0.155	0.140	0.118	0.099	0.077
Mittel	0.11	0.295	0.271	0.244	0.206	0.173	0.135

Mittel ohne ABO²⁾

	0.07	0.197	0.181	0.163	0.137	0.115	0.090
--	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

1) Luftdruckfühler in Genf mit Einrichtung zur Eliminierung des Feuchteinflusses versehen.

2) Begründung siehe oben.

2.5.3. Relative Luftfeuchtigkeit

Wir treffen auf Höhenstationen Verhältnisse an, welche einen Vertrauensbereich von $\geq \pm 1\%$ erwarten lassen. Die tieferen Stationen weisen eine sehr geringe Breite des Vertrauensintervalles auf. Das heisst, die angestellten Messungen stimmen sehr gut überein. Wie andernorts erläutert, handelt es sich hier um einen Vergleich zwischen zwei identischen Instrumententypen. Das Messsystem in der ANETZ-Station wurde lediglich mit einer automatisierten Ablesevorrichtung versehen.

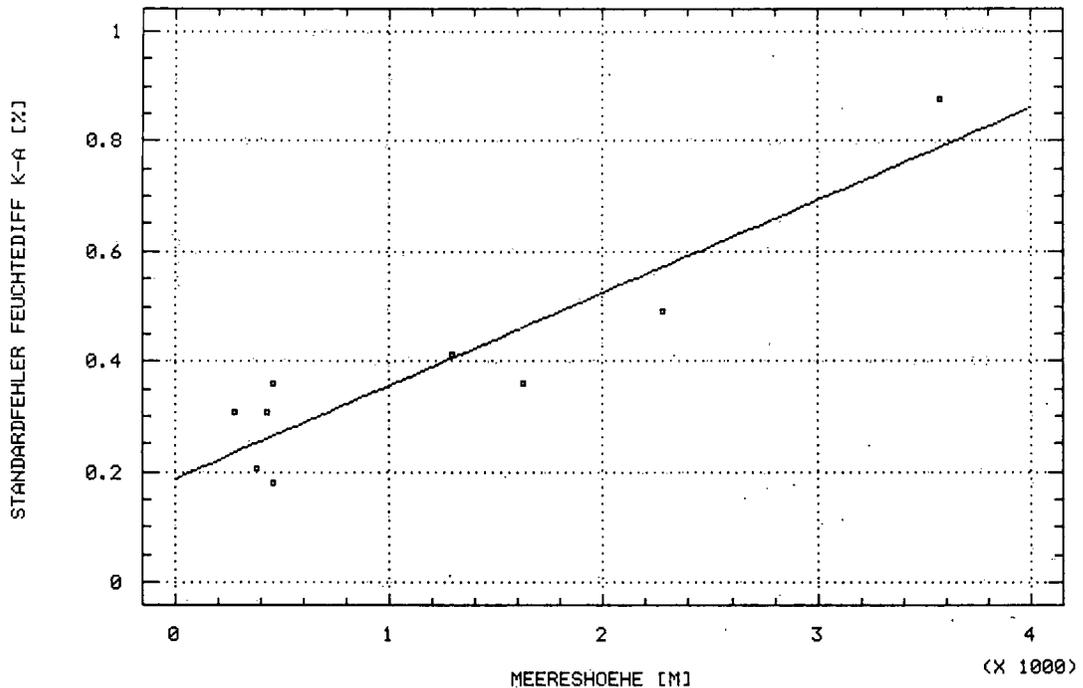
Tabelle XXVII: Mittlerer täglicher Standardfehler der Differenzen konventioneller und automatischer Luftfeuchtmessung samt Vertrauensbereichen [%]

	$s_{\bar{x}}$	Vertrauensbereiche [$\pm s_{\bar{x}} \cdot z$]:				
		für $\bar{\Delta} = 0$ und zweiseitiger Irrtumswahrscheinlichkeit von				
		0.5%	1.0%	2.0%	5.0%	10.0%
JUN	0.34	0.955	0.876	0.791	0.666	0.559
GUE	0.19	0.534	0.489	0.442	0.372	0.313
SBE	0.14	0.393	0.361	0.326	0.274	0.230
SCU	0.16	0.450	0.412	0.372	0.314	0.263
SHA	0.07	0.197	0.180	0.163	0.137	0.115
ALT	0.14	0.393	0.361	0.326	0.274	0.230
GVE	0.12	0.337	0.309	0.279	0.235	0.197
OTL	0.08	0.225	0.206	0.186	0.157	0.132
LUG	0.12	0.337	0.309	0.279	0.235	0.197
Mittel	0.15	0.422	0.389	0.352	0.296	0.248

Gerundete Werte:

JUN	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
GUE	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
SBE	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
SCU	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
SHA	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
ALT	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
GVE	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
OTL	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
LUG	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2

Figur 10: Mittlerer täglicher Standardfehler der Differenzen konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung in Abhängigkeit der Meereshöhe [%]



Die statistischen Masszahlen zu obiger Figur und linearem Modell $y = a + b \cdot x$ betragen:

		Standardfehler	
Achsenabschnitt a:	0.188	0.0429	
Steigung b:	1.679 e-4	2.677 e-5	
Korrelationskoeffizient		Bestimmtheitsmass	
r:	0.921	0.0856	84.89 %

Der Standardfehler von Luftfeuchtigkeitsmessungen an Parallelmessstationen erreicht in Meereshöhen von ca. 4000 m die Genauigkeitsgrenze von 1%. Die Hygrometermessungen der herkömmlichen sowie automatisierten Messmethode sind im gesamten schweizerischen Netz inklusive Höhenlagen, unter idealen praktischen Verhältnissen, somit übereinstimmend.

2.5.4. Temperaturmessung mit zwei verschiedenen Fühlern innerhalb derselben Wetterhütte

Die für fünf Stationen während zwei Jahren erhobenen Messungen von Widerstandsthermometer und Quecksilberthermometer innerhalb der gleichen Wetterhütte erlauben einen sehr engen Vergleich dieser beiden Fühler. Durch ihre Anordnung sind beide Messungen zwar dem Hütteneffekt ausgesetzt (vgl. Figur 6). Diese Feststellung ist für den direkten Vergleich jedoch unerheblich. Die beiden Thermofühler geben praktisch dieselbe Temperatur wider. Die absoluten Differenzen zeigen für einen mittleren Tageswert eine leichte Tendenz zu höheren Werten, wenn sie von konventionellen Ablesungen stammen. Zu diesem mittleren Tageswert gesehen, liegen Morgen- und Mittagdifferenzen tiefer, während der abendliche Unterschied positiv ausfällt. Die konventionelle Temperaturmessung liegt in der Wetterhütte an den 5 ausgewerteten Stationen um rund 0.1 °C im Tagesmittel höher. Dabei spielt

der Abendtermin die wesentliche Rolle. Untersuchungen über das Verhalten der Kontrolltemperaturen in der Holzhütte wurden schon früh vorgenommen (JOSS, 1977). Alle hier verwendeten Daten stammen aus der darauffolgenden Zeit. Falls davon ausgegangen werden kann, dass die von JOSS vorgeschlagenen Änderungen an den entsprechend ausgerüsteten Stationen angebracht wurden, liegt immer noch ein geringer Tagesgang im Unterschied der Temperaturmessungen vor. Er kann so charakterisiert werden, dass die konventionelle Messung die Tagesamplitude etwas träger wiedergibt als der Thermistor des automatischen Netzes. Ob dafür noch Strahlungseinflüsse auf die Quecksilberkugel verantwortlich gemacht werden können, kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Jedenfalls sind die Streuungen der Mittagsdifferenzen die grössten. Ebenso sind die streuärmeren Termine Morgen und Abend mit einem kleinen, aber nicht übersehbaren Jahresgang versehen. Diese beiden Indizien deuten eventuell auf die in der wärmeren Jahreszeit vermehrt Einfluss nehmende Strahlung (Tabelle XXVIII und Figur 11).

Tabelle XXVIII: Mittlere absolute und relative Differenz pro Termin zwischen täglicher konventioneller und automatischer Temperaturmessung in der Wetterhütte [0.1 °C]

		absolute Differenz (k-a)			
		Morgen	Mittag	Abend	mittlere tägliche Differenz
Station	Messperiode				
GUE	1981-1982	0.9	-0.2	2.4	1.0
ALT	1979-1980	0.8	-0.5	3.0	1.1
GVE	1982-1983	-0.5	0.0	2.3	0.6
OTL	1982-1983	1.7	1.3	1.7	1.6
LUG	1979-1980	-0.3	-2.8	4.3	0.4
	Mittel	0.52	-0.44	2.74	0.94

		relative Differenz (bezogen auf die mittlere tägliche Differenz)		
		Morgen	Mittag	Abend
Station				
GUE		-0.1	-1.2	1.4
ALT		-0.3	-1.6	1.9
GVE		-1.1	-0.6	1.7
OTL		0.1	-0.3	0.1
LUG		-0.7	-3.2	3.9
	Mittel	-0.43	-1.38	1.80

Tabelle XXIX: Streuungen und Standardfehler mittlerer Differenzen pro Termin zwischen täglicher konventioneller und automatischer Temperaturmessung in der Wetterhütte [0.1 °C]

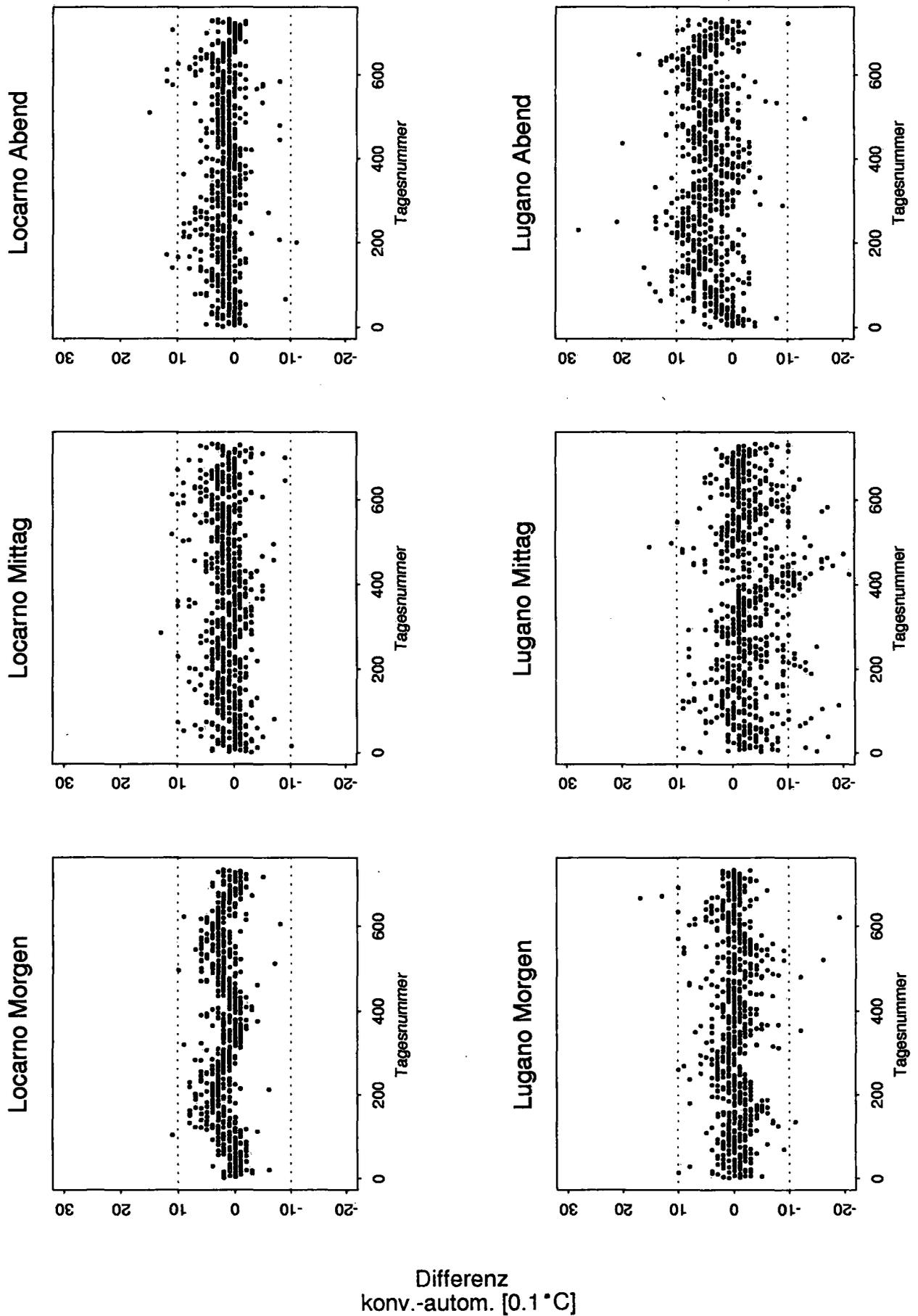
Station	Streuung s			Standardfehler $s_{\bar{x}}$		
	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend
GUE	4.3	6.0	5.9	0.157	0.222	0.217
ALT	6.3	6.7	6.6	0.231	0.247	0.244
GVE	3.3	3.6	3.7	0.122	0.133	0.136
OTL	2.3	2.7	2.5	0.083	0.100	0.094
LUG	3.7	4.9	4.2	0.136	0.181	0.154

Tabelle XXX: Vertrauensbereiche mittlerer Differenzen pro Termin zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung in der Wetterhütte [0.1 °C]

Station	Vertrauensbereiche [$\pm s_{\bar{x}} \cdot z$] mit					
	Irrtumswahrscheinlichkeit 5.0%, zweiseitig			Irrtumswahrscheinlichkeit 1.0%, zweiseitig		
	Morgen	Mittag	Abend	Morgen	Mittag	Abend
GUE	0.308	0.435	0.425	0.404	0.572	0.559
ALT	0.453	0.484	0.478	0.595	0.636	0.628
GVE	0.239	0.261	0.267	0.314	0.342	0.350
OTL	0.163	0.196	0.184	0.214	0.258	0.242
LUG	0.267	0.355	0.302	0.350	0.466	0.397
Mittelwert gerundet 0.3		0.4	0.3	0.4	0.5	0.4

Station	Irrtumswahrscheinlichkeit 0.5%, zweiseitig		
	Morgen	Mittag	Abend
GUE	0.441	0.624	0.610
ALT	0.649	0.694	0.686
GVE	0.343	0.373	0.382
OTL	0.234	0.282	0.264
LUG	0.382	0.509	0.433
Mittelwert gerundet 0.4	0.4	0.5	0.5

Figur 11: Absolute Differenzen zwischen täglicher konventioneller und automatischer Temperaturmessung in der Wetterhütte von Locarno und Lugano: terminweise aufgelöst, 2 Jahre pro Station [0.1 °C]



3. Zusammenfassung

Dieser Arbeitsbericht beschreibt idealisierte Verhältnisse. Durch die Verwendung von hochpassgefilterten Datensätzen und die Wahl der am wenigsten beeinflussten Zeitabschnitte für den Datensatz einer Station konnte das Augenmerk ganz auf das Verhalten der Daten im Vergleich unter Parallelmessbedingungen in der Praxis gerichtet werden. Der Mittelwert der Vergleiche tendiert definitionsgemäss gegen 0.0 (vgl. 1.4.1. und 1.4.3.). Er wird weiter unten nicht mehr speziell erwähnt. In diesem zusammenfassenden Kapitel finden wir Raum, die an einigen schweizerischen Stationen gefundenen Verhältnisse zu vergleichen mit den von der WMO vorgeschlagenen Genauigkeitsanforderungen. Ebenso lassen sich Überlegungen anstellen bezüglich der verschiedenen Streuungsarten (vgl. 1.5.).

Für die Lufttemperaturmessungen kann angeführt werden, dass während der ganzen Untersuchungszeit für sämtliche Stationen als dominantes Merkmal das Ventilations- und Heizungsproblem für den automatischen Fühler hervortrat. Es muss heute nicht mehr dieselbe Bedeutung aufweisen wie in den Anfängen des automatischen Netzes. Die letzte Aussage gilt ebenso für die Messung des Luftdruckes. Durch die Verwendung von Datensätzen aus den ersten 10 Jahren des automatischen Netzbetriebes musste beim Luftdruck zusätzlich Rücksicht genommen werden auf zwei verschiedene Fühlertypen. Die Tabellen wurden dementsprechend für beide Gruppen getrennt geführt. Das Problem des Feuchtigkeitseinflusses auf die Messwerte scheint man mit dem GB1-Typ im Griff zu halten. Das darf nicht darüber hinweg täuschen, dass die Luftdruckmessung mit weiteren, durch die neu angewendete Technologie verursachten Instabilitäten, verstärkt im Auge behalten werden muss. Schliesslich bot das Arbeiten mit dem Element Luftfeuchtigkeit die Gelegenheit, das herkömmliche Haarhygrometer zu vergleichen mit einem durch eine automatische Ablesevorrichtung versehenen, sonst aber identischen Instrument. Durch eine anfänglich im ANETZ angewendete Temperaturkompensation der Feuchtemessung, welche im Laufe der Zeit nur noch in halber Grösse angebracht wurde, entstand bei ihr nicht zwingend eine Gruppenbildung. Über die verbesserten Aussichten der Erfassung der Luftfeuchtigkeit durch ein kombiniertes Feuchtigkeits-/Temperaturmessgerät (THYGAN) standen uns keine Daten zur Verfügung.

Die nachfolgenden Abschnitte sind grundsätzlich unter dem Gesichtspunkt zu lesen, dass wir einen Vergleich beschreiben zwischen konventioneller und automatischer Messung. Die Aussagen beziehen sich in der Regel auf das Differenzverhalten der beiden Methoden zueinander. Die dabei verwendeten statistischen Ausdrücke sind sinngemäss auf diese Versuchsanordnung zu beziehen.

3.1. Lufttemperatur

Im Bereich der *Variabilität* zeigt der Vergleich rund 0.3 °C für Differenzkollektive. Eine Höhenabhängigkeit der termingebundenen Variabilität zeigt sich derart, dass sie in Höhen um 2000-3000 müM rund halb so gross ausfällt wie an Stationsvergleichen um 500 müM. Es ist ersichtlich geworden, dass der Morgenstermin der am stärksten variierende Messzeitpunkt ist, gefolgt von den Mittag- und Abendsterminwerten. Mit ≈ 0.20 liegen die CONRAD-Faktoren recht tief, was eine gute Übereinstimmung der Messwerte aus beiden Erfassungsmethoden attestiert.

Die *Streuung* der parallel gemessenen Wertdifferenzen beträgt im untersuchten schweizerischen Mittel ± 0.4 °C. Die Differenzstreuungen der angestellten Temperaturvergleiche bewegen sich allesamt in einer standardisierten Normalverteilung im Bereich von ± 0.5 Standardabweichungen. Dieser Umstand täuscht aber nicht über die Tatsache hinweg, dass innerhalb dieses Auftretensbereiches eine höhenabhängige Verteilung aufzufinden ist. Vom Einzelfall bis hin zu Monatsmitteln kann der Methodenwechsel Differenzstreuungsunterschiede hervorrufen. Für die Betrachtung der Tagesmittel- und Monatsmittelstreuwerte ergibt sich ein um 1.3 Promille grösserer Streubereich konventioneller Messdatenerfassung. Dieser reicht jedoch nicht aus, um die Extrema zu beeinflussen. Damit kann weiter argumentiert werden, dass die vermutete *Ungenauigkeit der konventionellen Messung durch die zeitlich nicht exakt ausführbare Beobachtung durch den Stationswart nicht gegeben* ist.

Für das untersuchte Kollektiv ergibt sich ein mittlerer *Standardfehler* von ± 0.02 °C um die Messdifferenz ≈ 0 . Ein *Vertrauensbereich* mit einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% mit ± 0.04 °C liegt vor. Auf Höhenstationen über ca. 1200 müM erreicht er ± 0.05 °C, bei Mittellandstationen liegt er bei ± 0.03 °C. Somit kann an höheren Stationen eine Unsicherheit von 0.1 °C, d.h. die "Ablesegenauigkeit", überschritten werden. Wird die Irrtumswahrscheinlichkeit verringert, ergeben sich unvoreilhaftere Werte.

3.2. Luftdruck

Die *Variabilität* des Luftdruckvergleiches ist für beide Messtechniken ungefähr gleich gross (rund 0.1 hPa). Eine Änderung dieser Grösse in Funktion der Höhe ist, ebenso wie eine solche für Einzeltermine-messungen, kaum feststellbar. Hingegen ist eine eindeutige Verbesserung der Druckmessung durch Verwendung des neueren GB1-Typs im Verhältnis von 2:1 der Variabilität von ASTA-Typ / GB1-Typ ersichtlich geworden. Die *c*-Werte nach CONRAD liegen mit $c \approx 0.04$ extrem tief.

Für die *Streuung* der Luftdruckdifferenzen fand man den runden Wert von ± 0.2 hPa. Zwischen herkömmlich-konventionellem und automatischem Geber muss dieses statistische Mass, im Zusammenhang mit den einzelnen Gebern betrachtet werden. Durch den Einsatz der GB1-Typen kann mit einer 30%-igen Verbesserung der Differenzstreuung zwischen beiden Methoden gerechnet werden.

Als *Standardfehlergrösse* schälte sich ± 0.01 hPa für beide automatischen Druckmessfühler im Vergleich zum herkömmlichen Messgerät heraus. Bei einer 1%-igen und zweiseitig angenommenen Irrtumswahrscheinlichkeit ergibt sich ein *Vertrauensbereich* um den "relativen wahren" Wert von ± 0.02 hPa (vgl. 1.6.3.).

3.3. Relative Luftfeuchtigkeit

Als Wert für die *Variabilität* ergab sich 2%. Die Variabilität wird beim herkömmlichen Fühler besonders von der Exposition extremer Stationslagen beeinflusst (Abtrocknung, Vereisung). So sind die Veränderlichkeitswerte auf Gipfel- und Hochstationen rund doppelt so gross wie in Mittellandlagen. Durch die an höhergelegenen Stationen vermehrt polarisiert auftretende Witterung (im Sinne von eindeutigen Schön- und Schlechtwetterabschnitten) werden die Differenzkollektive unserer Vergleichsdaten ebenfalls in Richtung mehrheitlich kleiner und grosser Differenzen aufgeteilt. Die Werte der mittleren Variabilität in Funktion der Höhe ergeben einen linearen Zusammenhang. Der Reduktionsbeurteilungsfaktor nach CONRAD bewegt sich mit einem Wert von $c \approx 0.2$ im gut akzeptierbaren Bereich.

Für die *Streuung* von Differenzen findet man $\pm 3\%$, und, wie bei der Variabilität, ergibt sich eine Höhenabhängigkeit. Sie ist zudem mit einem Jahresgang versehen, der in der Höhe die winterlichen Streuunterschiede grösser ausfallen lässt als im Sommer. In mittleren bis tieferen Lagen kehrt sich das Bild um. Dort sind die sommerlichen Streuungsdifferenzen grösser als im Winter, aber auch nur halb so gross wie in grösserer Höhe.

Als *Standardfehler* ergab sich $\pm 0.2\%$ relative Feuchtigkeit mit einem *Vertrauensbereich* von $\pm 0.4\%$ bei einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von 1%. Der Standardfehler kann in Gipfellagen bis auf das Dreifache ansteigen! Der Zusammenhang zwischen dem Betrag des Standardfehlers und der Meereshöhe fällt linear aus mit einem Gradienten von rund 0.15%/1000 m.

3.4. Genauigkeitsvergleich

Die oben aufgeführten Werte sind in einer Übersichtstabelle zum Vergleich mit den von der WMO aufgestellten Genauigkeitswünschen zusammengestellt. Anhand dieser Tabelle kann ermittelt werden, dass alle mittleren Vergleiche der behandelten Elemente den Genauigkeitsansprüchen genügen. Vorsicht ist am Platz bei der Interpretation der Ergebnisse auf Höhenstationen und Messungen der Temperatur. Dort kann laut vorgängig gezeigten Tabellen die Genauigkeit der Vergleichsmessung die Grenzwerte übersteigen. Wir betonen nochmals, dass es sich hier um eine Untersuchung handelt, welche idealisierte Zustände an den Messorten angenommen hat (Hochpassfilterung zur Eliminierung der vorhandenen grösseren Fremdeinflüsse). In der Praxis werden sich demzufolge unvorteilhaftere Werte einstellen, damit ist eine Überschreitung der Limiten bei der Lufttemperatur anzunehmen, bei der Luftfeuchtigkeit zu vermuten.

Tabelle XXXI: Zusammenfassende Darstellung einiger statistischer Masszahlen des Vergleichs von konventionellen mit automatischen Messungen der Lufttemperatur, des Luftdruckes und der relativen Luftfeuchtigkeit in der Schweiz

	Element		
	Lufttemperatur [0.1 °C]	Luftdruck [0.1 hPa]	Luftfeuchtigkeit [% rel. Feuchtigkeit]
Statistisches Mass			
Variabilität	3	1	2
Höhenabhängigkeit der Variabilität	+	-	+
Reduktionsbeurteilung nach CONRAD [c]	0.20	0.04	0.20
Streuung	±4	±2	±3
Höhenabhängigkeit der Streuung	+	-	+
Standardfehler	±0.2	±0.1	±0.2
Standardfehler an Höhenstationen	±0.25	-	±0.6
Vertrauensintervall mit 1% Irrtumswahr- scheinlichkeit	0.8	0.4	0.8
do. an Höhenstationen	1	-	2.4
WMO-Genauigkeit	1	3	3
Für die Schweiz angenommene Genauigkeit	1	1	3

3.5. Vergleich einiger statistischer Grössen mit der Fehlerrelation der WMO

Mit Gleichung 10 sind drei Fehlerarten in ihrer Relation gegeben worden. Der vierfache systematische Fehler stellt gemäss WMO-Fehlerrelation ungefähr die kleinste, noch messbare Amplitudenänderung pro Instrument dar. Der Standardfehler beschreibt die Genauigkeit, mit der beide Methoden übereinstimmen, oder anders formuliert, welche Unsicherheit zwischen Einzelbeobachtungen bestehen. Wenn die hier gefundenen Standardfehler für den Methoden- oder Instrumentenvergleich dem Beobachtungsfehler entsprächen, würden sich somit für die drei betrachteten Elemente folgende Verhältnisse annehmen lassen:

$$\sigma_S \leq 2 \cdot \sigma_O \leq 4 \cdot \sigma_F$$

Lufttemperatur [0.1 °C]:	±0.1	±0.2	±0.4
Luftdruck [0.1 hPa]:	±0.05	±0.1	±0.2
Relative Luftfeuchtigkeit [%]	±0.1	±0.2	±0.4

Mit dem auf Zehntelgrad skalierten Quecksilberthermometer lässt sich bekanntlich noch der halbe Zehntel schätzen. Ein mit Prozentskala versehenes Hygrometer erlaubt die Schätzung des halben Prozents.

Nimmt man beispielsweise an, wir verfügten über ein absolut genaues Thermometer. Daneben verwendeten wir die gebräuchlichen Quecksilberinstrumente. Mit der für solche Messfühler üblicherweise angenommenen Zeitkonstanten von ungefähr 60 Sekunden, welche ein Instrument benötigt, eine Temperaturänderung der Luft nachzuvollziehen, können wir verschiedene Temperaturgradienten berechnen, welche den Fehler des hier beschriebenen Instrumentenvergleichs theoretisch noch im Vertrauensbereich belassen. Nach M. O. 1956 gilt für Quecksilberthermometer:

$$(T - T_1) = (T_0 - T_1) \cdot e^{-\frac{t}{\lambda}} \quad (18)$$

(T: Quecksilberthermometertemperatur, T₁: Lufttemperatur zum Zeitpunkt t₁, T₀: Lufttemperatur zum Zeitpunkt t₀, t: Zeitdifferenz t₁-t₀, λ: Zeitkonstante des Thermometers (windstärke- und materialabhängig; für Quecksilberthermometer ca. 54 s bei ca. 16 km/h Wind)).

Danach berechnen wir, mit dem gegebenen Vertrauensbereich von 0.08 °C als Differenz zwischen Thermometerablesung und effektiver Temperatur (T-T₁), die damit verbundene, mögliche maximale Temperaturdifferenz unseres idealen Sensors (T₀-T₁) für verschiedene Zeitintervalle. Daraus ergeben sich die dafür gerade noch tolerierbaren Gradienten und damit verbundenen Temperaturfehler mit:

Zeitdauer t [min]:	1	2	3	4	5	6
Temperatursprung [°C]:	0.2	0.6	1.6	4.4	11.9	32.3

Nach grossen Temperatursprüngen, mit anschliessend konstant bleibender Temperatur, kann man somit für einen Punktvergleich von Instrumenten relativ lange Zeit im tolerierbaren Bereich verbleiben. Ändert jedoch die Temperatur nach dem Sprung, werden sofort grosse Fehlerbeträge bezüglich der effektiv herrschenden Temperatur erreicht (aber nicht gegenüber dem Vergleichsinstrument!), nämlich:

Gradient T/t [°C/min]:	0.2	0.3	0.5	1.1	2.4	5.4
Temperaturfehler:	0.18	0.27	0.45	1.0	2.2	4.9

3.6. Bemerkung zu den CONRAD'schen Reduktionsbeurteilungsfaktoren

Wir möchten an dieser Stelle darauf hinweisen, dass CONRAD für den Reduktionsbeurteilungsfaktor $c \leq 0.66$ empirisch festgelegt hat. Damit ist eine Reduktion einer Messreihe auf eine zweite zulässig. Dieser Faktor stellt eine relative Masszahl dar, die angibt, welchen Bruchteil die Variabilität eines klimatologischen Elementes zwischen zwei Messplätzen, im Vergleich zur Variabilität des Elementes selber, ausmacht. In dieser Untersuchung hat sich gezeigt, dass bei Faktoren um $c \approx 0.20$ für die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit, und bei einem Wert von ca. $c \approx 0.04$ für den Luftdruck aus Vergleichen von herkömmlichen mit automatischen Instrumenten am selben Ort die Messungen als übereinstimmend betrachtet werden können. Die interessante Frage, wie sich diese Faktoren in Funktion zunehmender Distanz und im Raum verhalten, muss vorläufig unbeantwortet bleiben.

4. Schlussbetrachtungen

Unsere Untersuchungen dienten nicht zuletzt einer Diskussion der Frage, ob klimatologische Messungen an ein und derselben Station fortgeführt werden können, nachdem die Fühler aus herkömmlicher konventioneller Konstruktion gegen automatisierte Sensoren ausgetauscht worden sind. Der Vergleich hat in allen Fällen gezeigt, dass dies praktisch der Fall ist. Es existieren allerdings einige Nebenaspekte, welche einer speziellen Erwähnung würdig sind.

Die Untersuchungen an Datenmaterial der Temperatursonden in derselben Wetterhütte ergaben eine Streuung der Messwertdifferenz von ± 0.4 °C. Praktisch denselben Wert erreichte die Streuung der Messwertdifferenzen der Quecksilberthermometer in der Wetterhütte, verglichen mit dem ventilierten automatischen Thermoelement, welches *neben* der Wetterhütte aufgestellt ist. Angesichts dieser Tatsache erhebt sich die Frage, ob an eine weitere Untersuchung bezüglich Methodensprüngen in der Temperaturmessung überhaupt gedacht werden muss. Ein weiterer Aspekt aus dem Temperaturvergleich wird durch die praktisch gleichartige Verteilung der Streuungen der Messwerte jeder Methode gegeben: Sie lassen nicht erkennen, dass die herkömmlichen Messungen durch die zeitlich ungenauer stattfindende Beobachterablesung des Temperaturmessgerätes eine signifikant andere mittlere Temperaturangabe ergeben. Dies gilt insbesondere für Extrema.

Beim Luftdruck konnte bemerkt werden, dass Standardfehler und Vertrauensbereich sehr gering ausgefallen sind. Dies darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass wir es hier nicht mit einer Aussage bezüglich dem wahren Wert zu tun haben. Andernorts wurde schon auf die *relative Übereinstimmung* hingewiesen. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass durch Untersuchungen wie diese keine Garantie besteht, dass sich die Verhaltensweisen der verglichenen Instrumente bis auf weiteres nicht mehr ändern werden. Im Gegenteil, wir möchten besonders betonen, dass, durch die technologische Entwicklung bedingt, eine häufigere begleitende Beobachtung der Fühlerkenngrossen im automatischen Messnetz angebracht erscheint. Angesichts der Tatsache, dass heute unterhaltstechnische Eingriffe am gesamten Fühlermaterial um Grössenordnungen häufiger vorkommen als im konventionellen Netz, sind die Veränderungen von Fühlermaterialien und neue Konstruktionsprinzipien nicht nur einer funktionstechnischen Checkliste zu unterwerfen. Weitergehende Erfahrungen aus dem *physikalisch-chemisch-elektrischen Wirkfeld auf die Messstationen einschliesslich dem Alterungsprozess* sind auch nach gut zehnjährigem praktischen Betrieb immer noch erwünscht. Gerade das Barometer mit seiner langen Geschichte und dem erhöhten Genauigkeitsanspruch an die Messung erlaubt den Gedanken zu führen, dass die Entwicklung dieses Instrumentes bei Typen begann, welche Flüssigkeiten als Anzeigemedium zur Feststellung von Druckschwankungen verwendeten. Erst später entwickelte die Instrumententechnik das Anaeroidbarometer. Zu Quecksilbersystemen finden wir die Bemerkung: "...can be used for routine observations of atmospheric pressure, and [they, Anm. d. Autors] are satisfactory for use as working standards." (M. O. 1956, Seite 18). Zum Anaeroid findet sich im selben Werk auf derselben Seite die Stelle: "They are not, however, absolute instruments, and have to be regularly checked against a standard barometer; and, in general, they are not as accurate as mercury barometers."

Für die Luftfeuchtigkeitsmessung kann mit dieser Untersuchung kein Genauigkeitssprung festgestellt werden. Die Feuchtigkeitsmessung wurde im ANETZ anfänglich nicht verbessert. Es wurde lediglich die *Ablesung automatisiert*. Die Entwicklung und Beschreibung des Nachfolgeinstrumentes, des THYGAN, liegt in neuerer Zeit vor (RUPPERT 1991).

Durch die Verwendung von einigen statistischen Begriffen an Differenzdatensätzen von Parallelmessreihen konnten wir die relative Lage der Messwerte zueinander vergleichen. Die Beschreibung ihrer Position zum wahren Wert ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Die Aussage über die relative Genauigkeit zweier Instrumente zueinander gibt uns einen Teil der Gewissheit, dass instrumentenentwicklungsbedingte Änderungen durchaus eine Fortführung der Messungen, vom Standpunkt der konventionellen Instrumententechnik aus betrachtet, erlauben. Hinzu kommt die durch die konstruktive Ausprägung der automatischen Station und ihres Melderhythmus' gegebene feinere zeitliche Auflösung, welche klimatologische Aussagen erlaubt, die mit herkömmlichen Mitteln nicht gegeben waren. Den andern Teil der Gewissheit über die Genauigkeit des Messprogrammes müssen wir uns nach wie vor aus den Beschreibungen der Begleitumstände holen, welche zu unseren Messdaten geführt haben!

5. Tabellenverzeichnis

Tabelle I:	Zeitabschnitte und Meereshöhen der verwendeten Parallelmessreihen	7
Tabelle II:	Einige z-Werte zur Bestimmung der Vertrauensgrenzen	13
Tabelle III:	Genauigkeit der Messungen von Lufttemperatur, des Luftdruckes und der relativen Luftfeuchtigkeit für klimatologische Zwecke nach WMO (accuracy requirements for surface measurements)	13
Tabelle IV:	Zusammengefasste Ereignisse der Stationsgeschichte Weissfluhjoch für die Temperaturmessung in der Zeit von 1981 - 1988	16
Tabelle Va:	Mittlere monatliche und jährliche Tagesmitteldifferenzen zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung [0.1 °C]	21
Tabelle Vb:	Monatliche Abweichung von der mittleren jährlichen Tagesmitteldifferenz zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung [0.1°C]	21
Tabelle VI:	Mittlere Veränderlichkeit der Differenz zwischen konventionell und automatisch gemessenem Tagesmittel der Lufttemperatur, Streuung und Quotient aus Veränderlichkeit und Streuung [0.1°C]	23
Tabelle VII:	Mittlere Variabilität der Differenz der Abweichung der Terminwerte vom Tagesmittel zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung [0.1 °C]	25
Tabelle VIII:	Mittlere Differenz der Variabilität konventioneller und automatischer Temperaturmessung zum Terminzeitpunkt [0.1 °C]	25
Tabelle IX:	Mittlere Veränderlichkeit der Differenz zwischen konventionell und automatisch gemessenem Tagesmittel des Luftdruckes [0.1 hPa]	26
Tabelle X:	Mittlere Variabilität der Differenz der Abweichung der Terminwerte vom Tagesmittel zwischen konventioneller und automatischer Luftdruckmessung [0.1 hPa]	27
Tabelle XI:	Mittlere Differenz der Variabilität konventioneller und automatischer Luftdruckmessung zum Terminzeitpunkt [0.1 hPa]	27
Tabelle XII:	C-Werte nach CONRAD aus dem Vergleich der mittleren Differenz der Variabilität konventioneller und automatischer Luftdruckmessung	28
Tabelle XIII:	Mittlere Veränderlichkeit der Differenz zwischen konventioneller und automatisch gemessenen Tagesmitteln der Luftfeuchtigkeit [%]	29
Tabelle XIV:	Mittlere Variabilität der Differenz der Abweichung der Terminwerte vom Tagesmittel aufgrund konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung [%]	31
Tabelle XV:	Mittlere Differenz der Variabilität konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung zum Terminzeitpunkt [%]; Erwartungswerte für c	31
Tabelle XVI:	Mittlere Streuung der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln der Lufttemperatur; Mittlere Differenzen und Streuungen des Vergleichs konventioneller und automatischer Terminwerte der Temperatur mit dem Tagesmittel [0.1 °C]	33
Tabelle XVII:	Mittlere monatliche Streuungen der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln der Lufttemperatur [0.1 °C]	35
Tabelle XVIII:	Mittlere standardisierte monatliche Streuungen der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln der Lufttemperatur [0.1 °C]	36

Tabelle XIX:	Klassen der mittleren monatlichen standardisierten Differenzstreuungen zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung [Streuungseinheit s]	37
Tabelle XX:	Mittelwert, Streuung und Standardfehler der Mittelwerte der Parallelmessungen der Temperatur, berechnet aufgrund von Tageswerten [0.1 °C]	38
Tabelle XXI:	Mittlere Streuung der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln des Luftdruckes; Mittlere Differenzen und Streuungen des Vergleichs konventioneller und automatischer Terminwerte des Luftdruckes [0.1 hPa]	39
Tabelle XXII:	Mittlere monatliche Streuung der Differenzen zwischen konventioneller und automatischer Luftdruckmessung [0.1 hPa]	40
Tabelle XXIII:	Mittlere Streuung der Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Tagesmitteln der Luftfeuchtigkeit; Mittlere Differenzen und Streuungen des Vergleichs konventioneller und automatischer Terminwerte der Luftfeuchtigkeit[%]	41
Tabelle XXIV:	Mittlere monatliche Streuung der Differenzen zwischen konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung [%]	41
Tabelle XXV:	Mittlerer täglicher Standardfehler der Differenzen konventioneller und automatischer Temperaturmessung samt Vertrauensbereichen [0.1 °C]	42
Tabelle XXVI:	Mittlerer täglicher Standardfehler der Differenzen konventioneller und automatischer Luftdruckmessung samt Vertrauensbereichen [0.1 hPa]	43
Tabelle XXVII:	Mittlerer täglicher Standardfehler der Differenzen konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung samt Vertrauensbereichen [%]	44
Tabelle XXVIII:	Mittlere absolute und relative Differenz pro Termin zwischen täglicher konventioneller und automatischer Temperaturmessung in der Wetterhütte [0.1 °C]	46
Tabelle XXIX:	Streuungen und Standardfehler mittlerer Differenzen pro Termin zwischen täglicher konventioneller und automatischer Temperaturmessung in der Wetterhütte [0.1 °C]	47
Tabelle XXX:	Vertrauensbereiche mittlerer Differenzen pro Termin zwischen konventioneller und automatischer Temperaturmessung in der Wetterhütte [0.1 °C]	47
Tabelle XXXI:	Zusammenfassende Darstellung einiger statistischer Masszahlen des Vergleichs von konventionellen mit automatischen Messungen der Lufttemperatur, des Luftdruckes und der relativen Luftfeuchtigkeit in der Schweiz.	51

6. Figurenverzeichnis

Figur 1:	Relative geografische Lage der konventionellen und automatischen Stationsaufstellungen an mehreren Parallelmessstationen	6
Figur 2:	Darstellung der Entwicklung von Residuendatensätzen am Beispiel der Temperaturtagesmitteldifferenz von Locarno 1981-1983 (konventionelle Messung - automatische Messung	15
Figur 3:	Monatlich und jährlich gleitend gemittelte Differenzen zwischen konventionellen und automatischen Temperaturtagesmittelwerten auf Weissfluhjoch 1981-1988	17
Figur 4:	Einfluss extremer Witterungsverhältnisse auf gleitend gemittelte Differenzwerte zweier Luftdruckmessungen auf Jungfrauoch [0.1 hPa]	19
Figur 5:	Fehlinterpretation der relativen Luftfeuchtigkeit aufgrund verschieden grosser Temperaturablesefehler am Schleuderpsychrometer (nach WMO 1983)	20
Figur 6:	Mittlere monatliche Abweichungen von der mittleren jährlichen Tagesmitteldifferenz der Lufttemperatur in der Wetterhütte vom Vergleichswert der ventilierten Messung [0.1 °C]	22
Figur 7:	Mittlere Veränderlichkeit der Differenz zwischen konventionell und automatisch gemessenen Tagesmitteln der Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit der Meereshöhe [%]	30
Figur 8:	Histogramme der Absolutdifferenzen zwischen konventioneller und automatischer, parallel gemessener Luftfeuchtigkeit an den Stationen Jungfrauoch, Schaffhausen und Locarno	32
Figur 9:	Relative Lage der Temperaturwerte des Einzeltermins zu dem vom Hütteneinfluss befreiten Tagesmittel von Messungen im Stevensonscreen, in Abhängigkeit der Meereshöhe	34
Figur 10:	Mittlerer täglicher Standardfehler der Differenzen konventioneller und automatischer Luftfeuchtigkeitsmessung in Abhängigkeit der Meereshöhe [%] .	45
Figur 11:	Absolute Differenzen zwischen täglicher konventioneller und automatischer Temperaturmessung in der Wetterhütte von Locarno und Lugano: terminweise aufgelöst, 2 Jahre pro Station [0.1 °C]	48

7. Literatur

- BECK E., 1984ff.: Wetter und Klima, in: C. JACCARD: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen Winter 1982/83, Nr. 47, 1984; Witterungsbericht des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch/Davos.
- CAPPEL A., KALB M. und SCHMIDT H., 1988: Klimatologische und statistische Grundlagen als Erläuterungen für Klimabearbeitungen, Verlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- CHARAN, 1985: Th. Gutermann, J. Joss: Luftdruck, in: Charakteristiken der ANETZ-Daten. Beiträge zum ANETZ-Daten Kolloquium vom 17. April 1985 in Zürich, Schweiz. Meteorologische Anstalt, Selbstverlag.
- CONRAD V., POLLAK L.W., 1950: Methods in climatology, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- DE MONTMOLLIN A., 1992: Comparaisons de différentes méthodes de calcul de la température journalière dans leurs influences sur les longues séries d'observations, in Druck.
- DÖSSEGGER R. et al., 1992: THYGAN Benutzerinformation und -erfahrungen, April 1992, Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich, Nr. 170.
- GUTERMANN TH., 1986: Das automatische Wetterbeobachtungsnetz der Schweiz (ANETZ), in: Tagungsbericht der VDI/VDE-Aussprachetaugung "Signalverarbeitung in Multi-Sensor-Systemen" vom 18./19. Februar 1986 in Karlsruhe (BRD).
- JOSS J., 1977: Kontrolltemperatur 23 in Wetterhütte, Locarno 11.8.1977, Aktennotiz.
- JOSS J., 1978: Messung der Lufttemperatur im ANETZ, Wissenschaftliches Kolloquium, 7.6.1978.
- M. O., 1956: Meteorological Office: Handbook of meteorological instruments, part I, Instruments for surface observations, London, Her Majesty's Stationery Office.
- MÜLLER G., 1983: Messung der Lufttemperatur in der Schweiz, CHARAN DOC C1, Zürich Locarno.
- MÜLLER G., 1984: Vergleich der Temperaturen verschiedener Wetterhütten an einigen Stationen des ANETZES, Februar 1984, Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich, Nr. 119.

- RADOK U., 1975: Statistics and climate, in: Proceedings of the WMO/IAMAP symposium on long-term climatic fluctuations, WMO nr. 421, Geneva.
- RIEDWYL H., 1978: Angewandte mathematische Statistik in Wissenschaft, Administration und Technik, eine Einführung, 2. erweiterte Auflage, Haupt, Bern, Stuttgart.
- RUBINSTEIN E., 1922: Die Differenz der mittleren Monatstemperaturen zweier benachbarter Stationen als eine meteorologische Konstante, in: Meteorologische Zeitschrift, 39. Jahrgang, Braunschweig, November 1922, Seite 348ff.
- RUPPERT P., o.J.: Geheiztes Barometer GB 1, Bedienungsanleitung und Beschreibung, Meteolabor AG, Wetzikon.
- RUPPERT P., 1991: THYGAN Beschreibung der Funktion und der Technik, Juni 1991, Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich, Nr. 164.
- SCHÖNWIESE CHR., 1985: Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler, Bornträger, Berlin, Stuttgart.
- SONNTAG D., 1968: Hygrometrie, Akademie-Verlag, Berlin.
- STATGRAFICS, 1988: STATGRAFICS User's guide, STSC Inc.
- TARAKANOV G., 1970: Quality and duration of meteorological sequences, in: Proceedings of the regional seminar on modern methods and equipment for data processing for climatological purposes in africa, WMO nr. 317, Geneva.
- THOM H.C.S., 1968: Standard deviation of monthly average temperature, U.S. Department of Commerce, environmental data service, ESSA technical report, Silver Spring, Maryland, april 1968.
- TUKEY J.W., 1977: Exploratory data analysis, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- WMO, 1983: Guide to meteorological instruments and methods of observation, fifth edition, WMO nr. 8, Geneva.

Anschrift des Autors:

Dr. Othmar Gisler
Schweizerische Meteorologische Anstalt
Postfach
CH-8044 Zürich

