

# Systematischer Fehler bei Klimamessungen: Die Aufzeichnung der Lufttemperatur an der Erdoberfläche

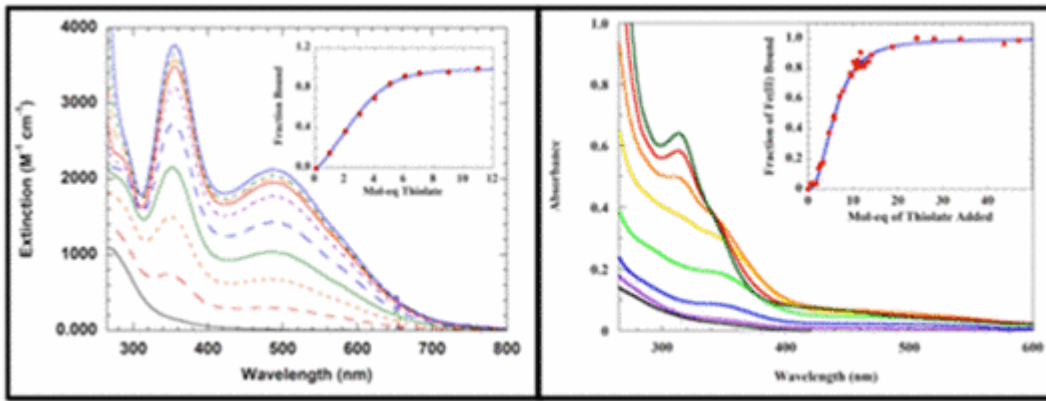
geschrieben von Pat Frank | 26. April 2016

Es war eine sehr interessante Konferenz, und als Nebenaspekt nahm ich mit nach Hause, dass der kurzfristige Notfall die islamistische Gewalt ist und der langfristige Notfall, dass irgendwelche Riesen-Meteore auf die Erde stürzen. Aber bitte, gleiten Sie bei der Diskussion zu diesem Vortrag nicht in diese beiden Themen ab.

**Abstract:** Ursprünglich war das Abstract länger, aber hier folgt die Kurzform. Jene, die die globalen gemittelten Lufttemperaturen zusammenstellen, haben nicht nur systematische Messfehler (siehe auch hier) ignoriert, sondern haben sogar auch die Messgenauigkeit der Instrumente selbst in Abrede gestellt. Seit mindestens dem Jahr 1860 wurde die Thermometer-Genauigkeit nur vage berücksichtigt. Ebenfalls seit jenem Jahr sowie im 95%-Vertrauens-Intervall ist die Rate oder Größenordnung des globalen Anstiegs der Lufttemperatur nicht erkennbar. Gegenwärtiger Streit über die Lufttemperatur und seiner Beispiellossigkeit ist spekulative Theologie.

## 1. Einführung: Systematischer Fehler

Systematische Fehler treten bei experimentell oder anders gemessenen Ergebnissen auf durch unkontrollierte und oftmals kryptische deterministische Prozesse (1). Diese können so einfach sein wie ein konsistenter Fehler des Bedieners. Typischer jedoch entstehen Fehler aus einer unkontrollierten experimentellen Variable oder Ungenauigkeit der Instrumente. Ungenauigkeit der Instrumente resultiert aus einer Fehlfunktion oder dem Fehlen einer Kalibrierung. Unkontrollierte Variable können die Größenordnung einer Messung beeinflussen und/oder den Verlauf eines Experimentes. Abbildung 1 zeigt die Auswirkung einer unkontrollierten Variable. Sie stammt aus meinen eigenen Arbeiten (2, 3):



**Abbildung 1:** Links: Titration gelösten Eisens [ferrous iron] unter Bedingungen, die ungeplant eine Spur Luft in das Experiment gelangen lassen. Kleine Graphik darin: Die inkorrekten Daten folgen präzise der Gleichgewichts-Thermodynamik. Rechts: das gleiche Experiment, aber mit einer angemessenen strikten Abwehr von Luft. Die Daten sind total unterschiedlich. Kleine Graphik rechts: die korrekten Daten zeigen eine ausgesprochen unterschiedliche Thermodynamik.

Abbildung 1 zeigt, dass der unbeabsichtigte Eintritt einer Spur Luft ausreichte, um den Verlauf des Experimentes vollkommen zu verändern. Nichtsdestotrotz zeigen die fehlerhaften Daten ein kohärentes Verhalten und folgen einer Trajektorie, die vollkommen konsistent ist mit der Gleichgewichts-Thermodynamik. In allen Erscheinungen war das Experiment gültig. Isoliert betrachtet sind die Daten überzeugend. Allerdings sind sie vollständig falsch, weil die eingetretene Luft das Eisen chemisch modifiziert hat.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Gefahr eines systematischen Fehlers. Kontaminierte experimentell oder anders gemessene Ergebnisse können sich genau wie gute Daten verhalten und daher kommen sowie rigoros validen physikalischen Theorien folgen. Lässt man hier keine Vorsicht walten, laden solche Daten zu falschen Schlussfolgerungen ein.

Ein systematischer Fehler ist seiner Natur nach schwer zu erkennen und zu entfernen. Zu den Methoden der Entfernung gehören sorgfältige Kalibrierung der Instrumente unter Bedingungen, die mit der Messung oder dem Experiment identisch sind. Methodisch unabhängige Experimente, die das gleiche Phänomen behandeln, bieten eine Möglichkeit, die Ergebnisse zu prüfen. Sorgfältige Aufmerksamkeit bzgl. dieser Verfahren ist Standard in den experimentellen physikalischen Wissenschaften.

Die jüngste Entwicklung einer neuen und höchst genauen Atomuhr zeigt die extreme Vorsicht, die Physiker walten lassen, wenn sie systematische Fehler eliminieren wollen. Kritisch für die Erreichung einer Genauigkeit von  $10^{-18}$  Sekunden war die Ausmerzung eines systematischen Fehlers, den die Schwarzkörperstrahlung des Instrumentes selbst erzeugte (4).

**Abbildung 2 [oben rechts]:** Nahaufnahme der neuen Atomuhr. Das Zeitmess-

*Element ist ein Cluster fluoreszierender Strontium-Atome, eingehüllt in ein optisches Netz. Thermisches Rauschen wird entfernt mittels Daten eines Sensors, der die Schwarzkörper-Temperatur des Instrumentes misst.*

Abschließend hierzu: Ein systematischer Fehler mittelt sich mit wiederholten Messungen nicht heraus. Die Wiederholung kann den Fehler sogar verstärken. Wenn systematische Fehler nicht eliminiert werden können, um deren Existenz man aber weiß, müssen Angaben zur Unsicherheit zusammen mit den Daten angezeigt werden. In graphischen Präsentationen gemessener oder gerechneter Daten wird der systematische Fehler durch Balken der Fehlerbandbreite repräsentiert (1). Jene Balken geben Aufschluss über die Zuverlässigkeit des Ergebnisses.

## **2. Systematische Fehler bei Temperaturmessungen**

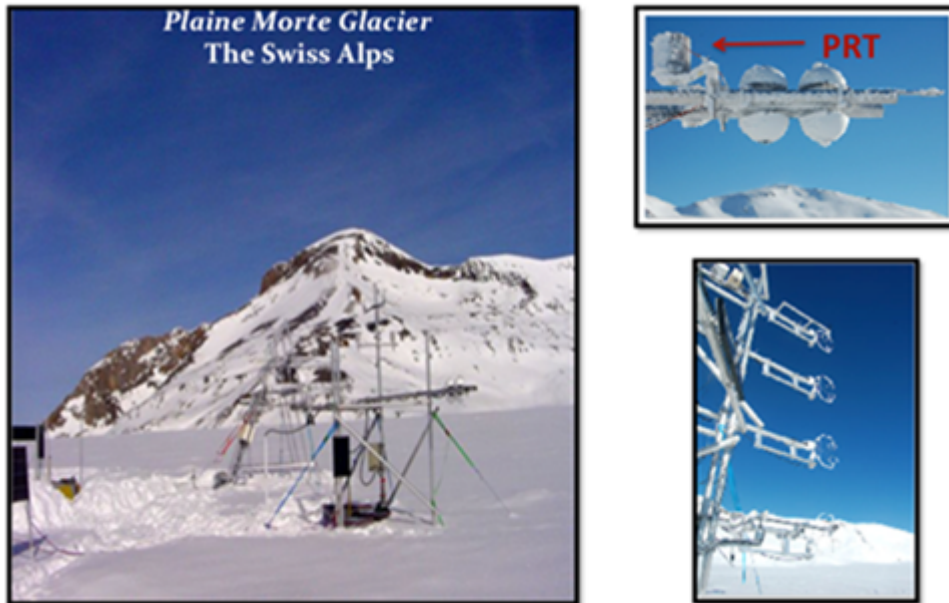
### **2.1 Lufttemperatur auf dem Festland**

**Während des größten Teils des 20. Jahrhunderts wurden die Temperaturen auf dem Festland mittels eines Thermometers gemessen, in dem sich eine Flüssigkeit hinter Glas befand. Es war eingebettet in eine Wetterhütte (5, 6). Nach etwa 1985 kamen Thermistoren oder Platin-Widerstands-Thermometer (PRT) zum Einsatz, die sich in einer unbelüfteten zylindrischen**

**Plastikumhüllung befanden. Dies erfolgte in Europa, den Anglo-Pazifischen Ländern und den USA. Seit dem Jahr 2000 platzierte das Climate Research Network der USA Sensoren in einer belüfteten Umhüllung, die ein Trio von PRTs enthielten (5, 7, 8, 9). Eine belüftete Schutzhülle enthält einen kleinen Ventilator, der für einen Austausch der Luft im Inneren der Hülle mit der Außenluft sorgt.**

**Unbelüftete Sensoren stützen sich auf vorherrschenden Wind zur Ventilation. Sonnenstrahlung kann die Umhüllung des Sensors aufheizen, was die Innenluft um den Sensor erwärmt. Im Winter kann aufwärts gerichtete Strahlung durch die Albedo einer schneebedeckten Erdoberfläche ebenfalls einen Warm-Bias erzeugen (10). Zu bedeutenden systematischen Messfehlern kommt es, wenn die Windgeschwindigkeit unter 5**

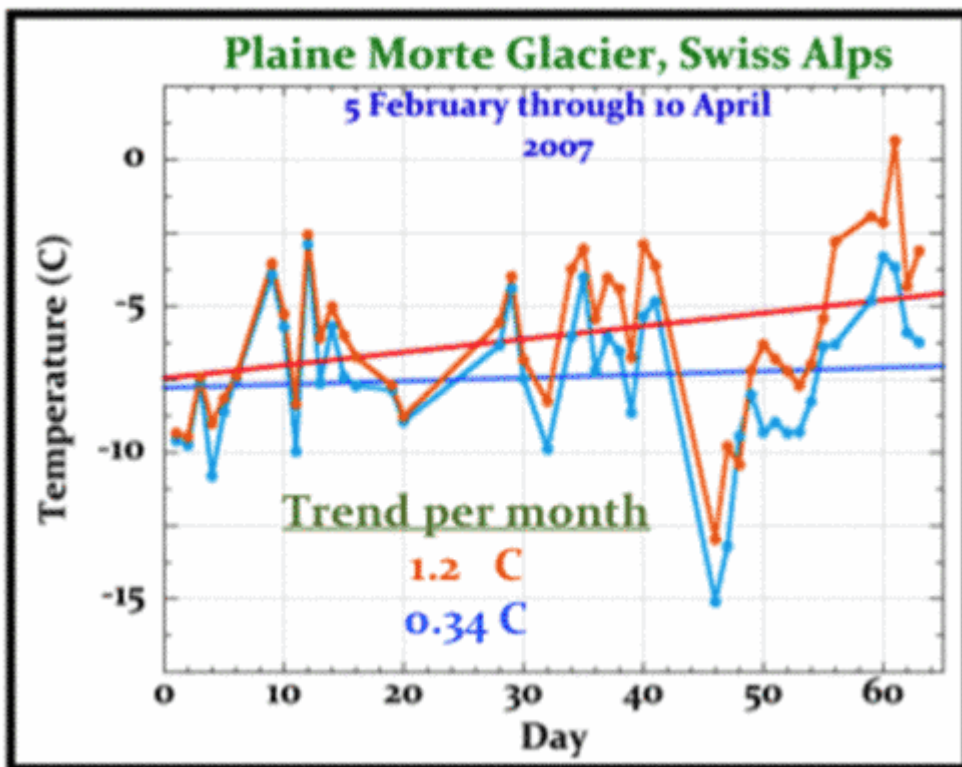
m/s liegt (9, 11).



**Abbildung 3: *Der Plaine Morte Glacier in der Schweiz. Hier wird gezeigt, wie das Experiment der Kalibrierung des Lufttemperatur-Sensors von Huwald et al. während der Jahre 2007 und 2008 durchgeführt worden ist (12). Eingebettet: Nahaufnahmen der PRT und Schall-Anemometer-Sensoren. Bild: Bou-Zeid, Martinet, Huwald, Couach, 2.2006 EPFL-ENAC.***

**Bei den während der Jahre 2007 und 2008 durchgeführten Kalibrierungs-**

**Experimenten auf dem Gletscher (Abbildung 3) wurde die Feld-Genauigkeit des RM Young PRT innerhalb einer unbelüfteten Umhüllung über einer schneebedeckten Oberfläche getestet. Im Labor kann der RM Young Sensor mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  anzeigen. Die Genauigkeit auf dem Feld wurde bestimmt durch den Vergleich von Lufttemperaturen, gemessen mittels eines Schall-Anemometers, wobei der Effekt ausgenutzt wird, dass die Temperatur Einfluss auf die Schallgeschwindigkeit in der Luft hat. Dies ist unabhängig von Strahlung und Windgeschwindigkeit.**



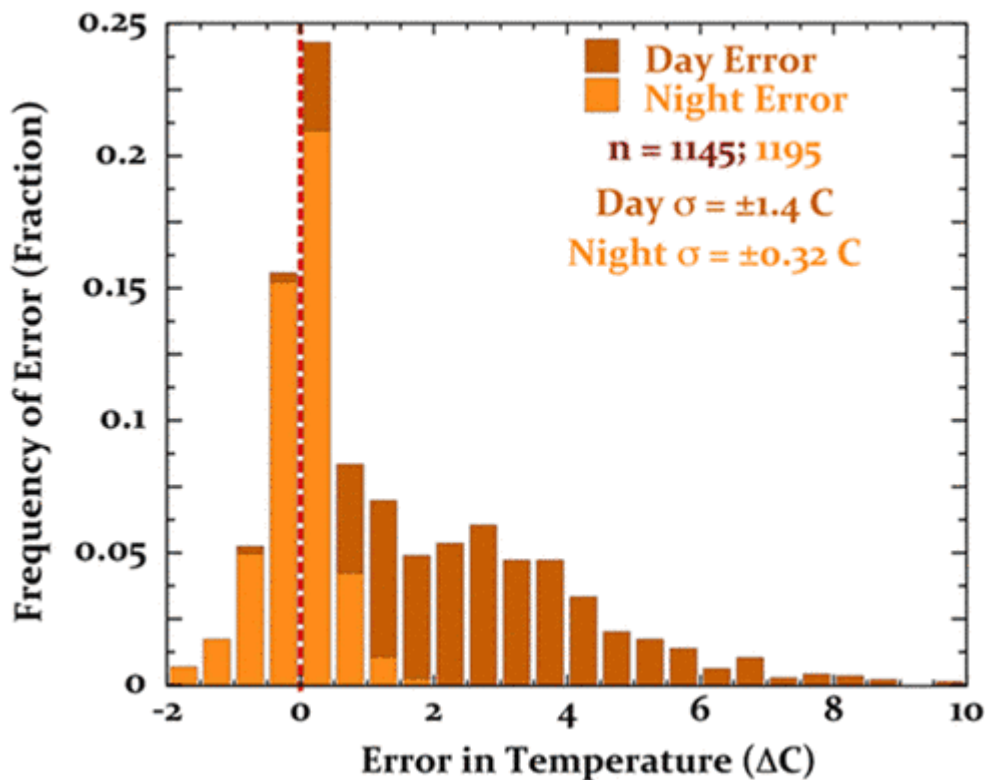
**Abbildung 4: *Gleichzeitig aufgezeichnete Temperaturtrends auf dem Plaine Morte-Gletscher von Februar bis April 2007. ( $\frac{3}{4}$ ), Sonic anemometer, and; ( $\frac{3}{4}$ ), RM Young PRT probe.***

**Abbildung 4 zeigt, dass bei identischen Umwelt-Bedingungen der RM Young-Sensor deutlich höhere winterliche Lufttemperaturen aufgezeichnet hat als das Schall-Anemometer. Die Neigung des RM**

Young-Temperaturtrends ist auch mehr als dreimal größer. Verglichen mit einem üblichen Mittel würde der Fehler von RM Young einen unechten Erwärmungstrend in ein globales Temperaturmittel einbringen. Die noch größere Bedeutung dieses Ergebnisses ist, dass RM Young im Design und der Reaktion sehr ähnlich ist den verbesserten Temperaturmessungen, die weltweit seit etwa 1985 verwendet werden.

Abbildung 5 zeigt ein Histogramm des systematischen Temperaturfehlers, der beim RM Young in Erscheinung tritt.





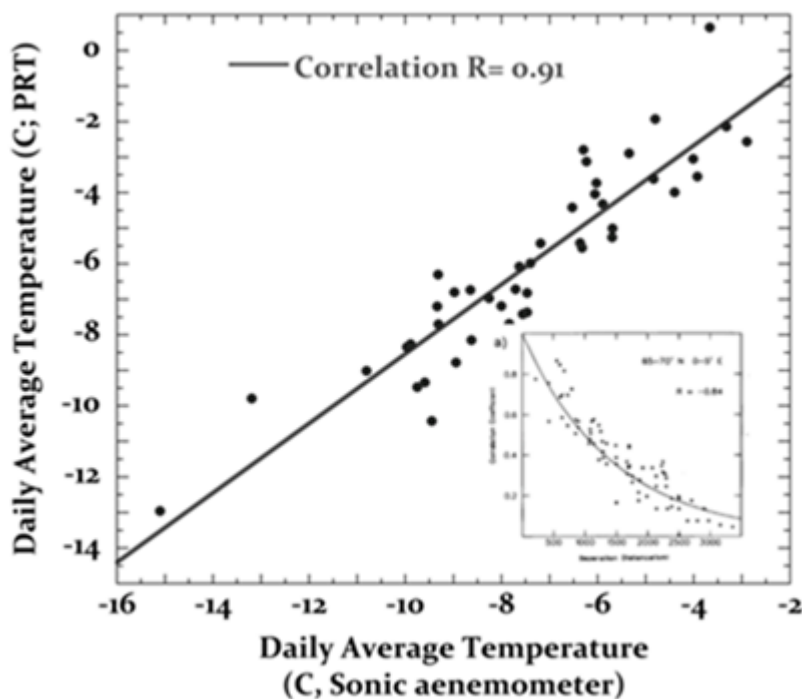
**Abbildung 5: Systematischer Fehler von RM Young auf dem Plaine Morte-Gletscher. Der Fehler tagsüber beträgt  $2.0^{\circ}\text{C} \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ , der Fehler nachts  $0.03^{\circ}\text{C} \pm 0.32^{\circ}\text{C}$ .**

**Die systematischen Fehler von RM Young bedeuten, dass im Falle des Fehlens eines unabhängigen Kalibrierungs-Instrumentes jedwede gegebene tägliche Mitteltemperatur eine damit verbundene Unsicherheit von  $1^{\circ}\text{C} \pm 1.4^{\circ}\text{C}$  aufweist [an 1s**

uncertainty]. Abbildung 5 zeigt, dass diese Unsicherheit weder zufällig verteilt noch konstant ist. Sie kann nicht entfernt werden durch Mittelung individueller Messungen oder wenn man Anomalien heranzieht. Die Subtraktion des mittleren Bias' wird nicht die normale 1s- Unsicherheit [?] entfernen. Fügt man die Temperaturaufzeichnung der RM Young-Station in ein globales Mittel ein, wird dies den mittleren Fehler mit hineintragen.

Vor der Inklusion in einem globalen Mittel werden Temperaturreihen individueller meteorologischer Stationen statistischen Tests der Datenqualität unterzogen (13). Von den Lufttemperaturen weiß man, dass sie eine Korrelation von  $R = 0,5$  über Entfernungen von etwa 1200 km zeigen (14, 15). Der erste Test der Qualitätskontrolle jeder gegebenen Stationsaufzeichnung enthält einen

statistischen Check der Korrelation mit Temperaturreihen benachbarter Stationen. Abbildung 6 zeigt, dass eine mit dem RM Young-Fehler kontaminierte Temperaturreihe diesen grundlegendsten aller Tests bestehen wird. Außerdem wird die irrtümliche RM Young-Aufzeichnung jeden einzelnen statistischen Test bestehen, der bzgl. der Qualitätskontrolle von Aufzeichnungen meteorologischer Stationen weltweit durchgeführt wird.



**Abbildung 6: Korrelation der RM**

**Young-Temperaturmessungen mit jenen des Schall-Anemometers. Eingebettet: Abbildung 1a aus (14), die Korrelationen von Temperaturaufzeichnungen zeigt von meteorologischen Stationen im terrestrischen Netz  $65^{\circ}$  bis  $70^{\circ}$ N,  $0^{\circ}$  bis  $5^{\circ}$  E. Bei einer Korrelation von 0,5 beträgt die Länge bis zu 1400 km.**

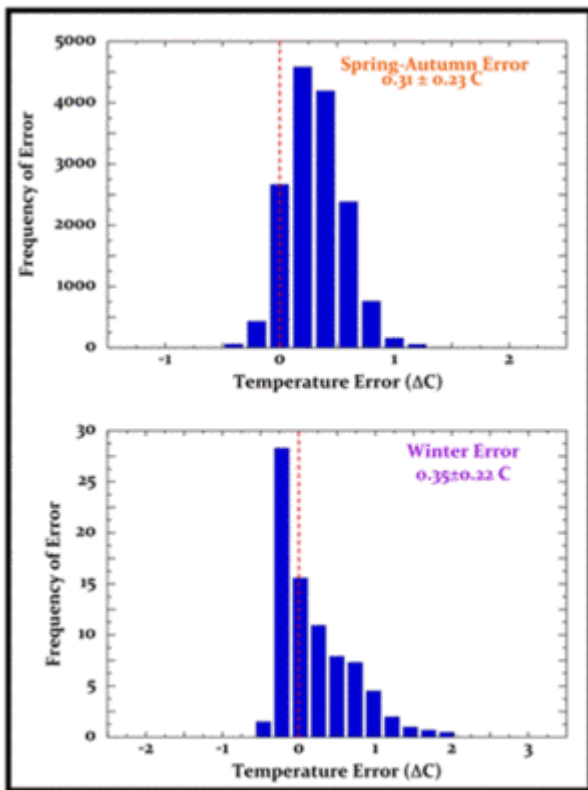


**Abbildung 7: Kalibrierungs-Experiment an der University of Nebraska in Lincoln (aus (11), Abbildung 1); E, MMTS shield; F, CRS**

*shield; G, the aspirated RM Young reference.*

Abbildung 7 zeigt das *screen-type* [?] Kalibrierungs-Experiment an der University of Nebraska. Jeder Typ enthielt den identischen HMP45C-Sensor (11). Die Referenz-Temperaturen der Kalibrierung wurden mittels eines belüfteten RM Young PRT erhalten, eingestuft als akkurat bis  $< \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  bei einer Sonneneinstrahlung unter  $1100 \text{ W/m}^2$ .

Diese unabhängigen Kalibrierungs-Experimente testeten die Auswirkung einer Vielfalt von allgemein verwendeten Typen zur Genauigkeit von Lufttemperatur-Messungen durch PRT (10, 11, 18). Unter den Typen waren auch das allgemeine Cotton Regional Shelter (CRS, Stevenson screen) und der MMTS-Screen, der jetzt allgemein verwendet wird in den USHCN-Daten.

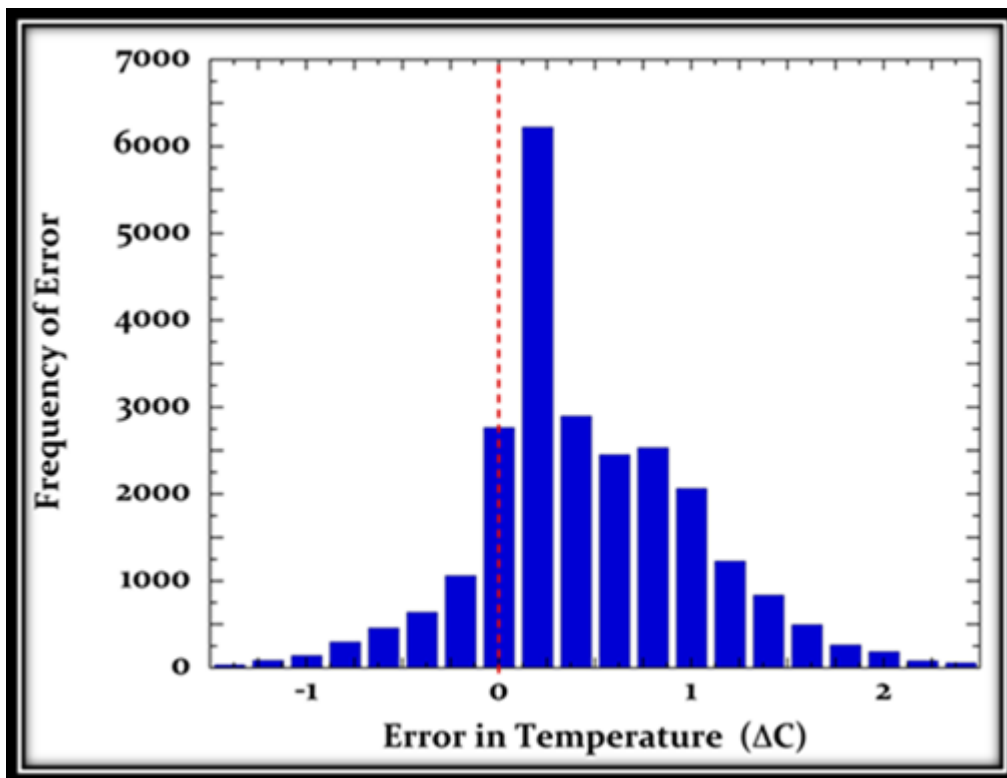


**Abbildung 8: Mittlerer systematischer Messfehler eines HMP45C-Sensors innerhalb eines MMTS über einer Gras-Oberfläche (oben) und einer schneebedeckten Oberfläche (unten) (10, 11).**

Abbildung 8 oben zeigt den mittleren systematischen Messfehler einer MMTS-Umhüllung, der auf eine PRT-Temperaturmessung angewendet wird. Den Fehler fand man während des Kalibrierungs-Experimentes der

Abbildung 7 (11). Abbildung 8 unten zeigt die Ergebnisse einer unabhängigen PRT/MMTS-Kalibrierung über einer schneebedeckten Oberfläche (10). Die mittlere jährliche systematische Unsicherheit, die von dem MMTS erzeugt wird, kann aus diesen Daten berechnet werden zu  $1s = 0.32^{\circ}\text{C} \pm 0.23^{\circ}\text{C}$ . Die verzerrte Warm-Bias-Verteilung des Fehlers über Schnee ist größenordnungsmäßig ähnlich der unbelüfteten RM Young-Hülle beim Plaine Morten-Experiment (Abbildung 5).

Abbildung 9 zeigt den mittleren systematischen Messfehler erzeugt von einer PRT-Stichprobe innerhalb einer traditionellen CRS-Umhüllung (11).



**Abbildung 9: *der mittlere systematische Tag-Nacht-Messfehler, erzeugt von einer PRT-Temperaturstichprobe innerhalb einer traditionellen CRS-Hütte.***

**Der Warm-Bias in den Daten ist offensichtlich, ebenso wie die Nicht-Normalverteilung des Fehlers. Die systematische Unsicherheit der CRS-Hütte betrug  $1s = 0.44^{\circ}\text{C} \pm 0.41^{\circ}\text{C}$ . Die HMP45C-PRT-Stichprobe ist mindestens genauso akkurat wie das traditionelle LiG-Thermometer**



innerhalb der Wetterhütte (19, 20).  
Mittels des PRT/CRS-Experimentes  
kann man dann eine untere Grenze der  
systematischen Messunsicherheit  
abschätzen, der in den Festlands-  
Temperaturaufzeichnungen im gesamten  
19. und fast dem ganzen 20.  
Jahrhundert enthalten ist.

## 2.2

# Wassertemperatur

**Obwohl erhebliche**

**Bemühungen**

**aufgewendet**

**wurden, um die**

**Wassertemperaturen**

**besser zu  
verstehen (21 bis  
28), gab es nur  
sehr wenige Feld-  
Kalibrierungs-  
Experimente der  
Wassertemperatur-  
Sensoren.**

**Eimermessungen  
sowie solche in  
Kühlwasser von  
Schiffen ergaben**

**den Hauptanteil  
von Messungen der  
Wassertemperatur  
Anfang und Mitte  
des 20.**

**Jahrhunderts. Auf  
Fest- und  
Treibbojen**

**montierte Sensoren  
kamen seit etwa  
1980 immer stärker  
zum Einsatz.**

**Inzwischen dominieren sie die Messungen der Wassertemperatur (29). Die Aufmerksamkeit gilt den Kalibrierungs-Studien dieser Instrumente.**

**Die von Charles**

**Brooks im Jahre  
1926**

**durchgeführten**

**Reihen-Experimente**

**sind bei weitem**

**die umfassendsten**

**Feld-**

**Kalibrierungen von**

**Messungen der**

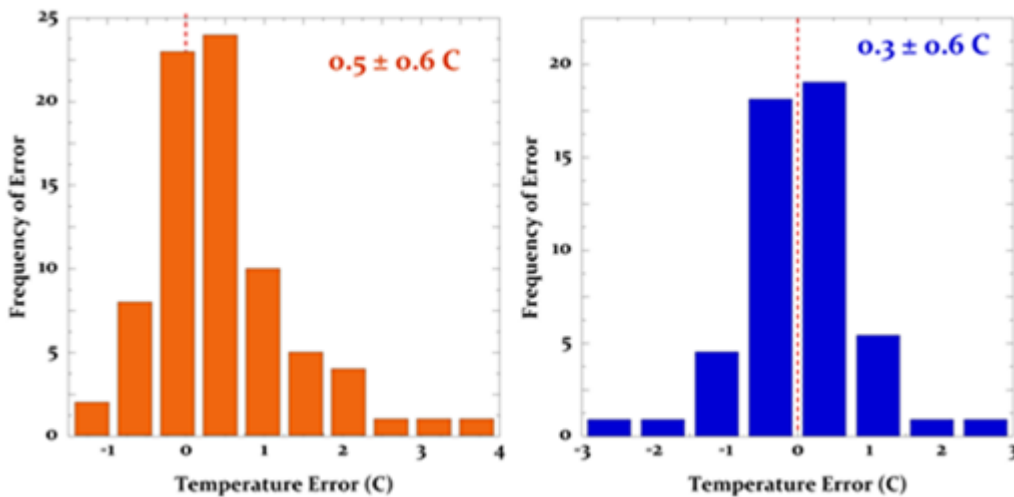
**Wassertemperatur**

**mit Eimern und im**

**Kühlwasser von**

**Schiffen, die  
jemałs von einem  
einzelnen  
individuellen  
Wissenschaftler  
durchgeföhrt  
worden waren (30).  
Abbildung 10 zeigt  
typische Beispiele  
des systematischen  
Fehlers dieser  
Messungen, die**

# Brooks gefunden hatte.



**Abbildung 10:**  
*Systematischer  
Messfehler in  
einem Satz von  
Messungen der*

***Wassertemperatur  
im Kühlwasser-  
(links) und mit  
Eimermessungen  
(rechts) wie von  
Brooks beschrieben  
(30).***

**Brooks stellte  
auch einen Mann  
ab, der die  
Messungen an Bord**



**des Schiffes  
überwachen sollte,  
nachdem er seine  
Experimente  
abgeschlossen  
hatte und von Bord  
gegangen war. Die  
Fehler nach seinem  
Verlassen des  
Schiffes waren  
etwa doppelt so  
groß als mit ihm**

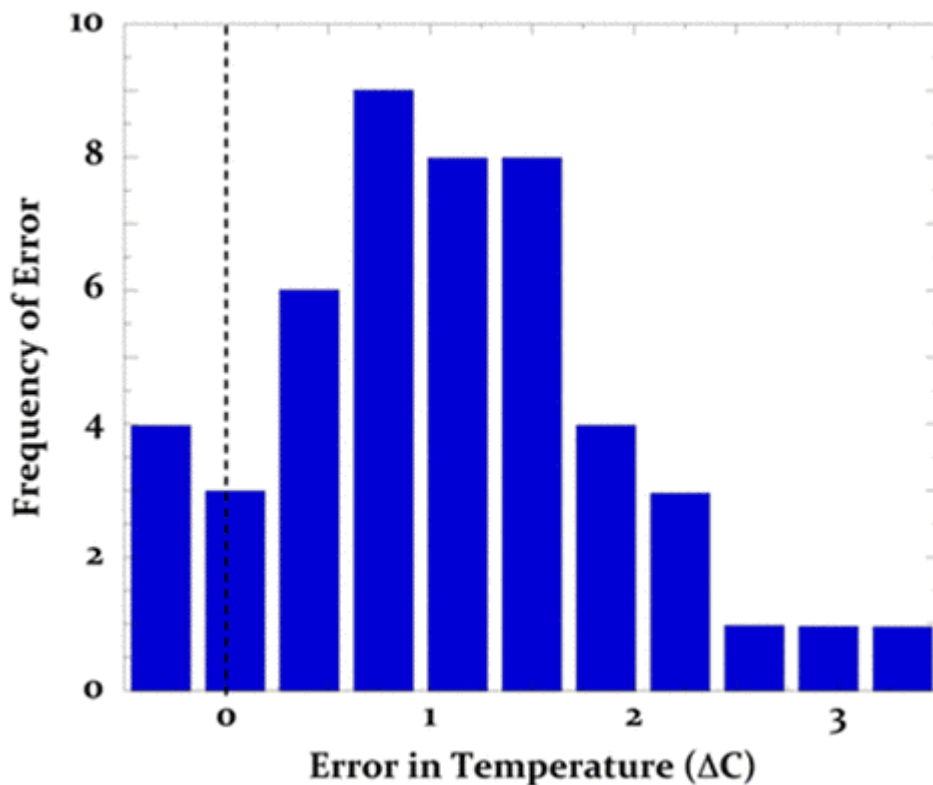
**an Bord. Die  
einfachste  
Erklärung hierfür  
ist, dass die  
Sorgfalt schwand,  
vielleicht zurück  
zum Normalen, wenn  
niemand schaute.  
Dieses Ergebnis  
verletzt die  
Standard-  
Hypothese, dass**

**Fehler von  
Temperatursensoren  
für jedes einzelne  
Schiff konstant  
sind.**

**Im Jahre 1963  
beschrieb Saur das  
größte Feld-  
Kalibrierungs-  
Experiment von  
Thermometern in**

**Kühlwasser,  
durchgeführt von  
Freiwilligen an  
Bord von 12  
Transportschiffen  
des US-Militärs,  
die vor der US-  
Pazifikküste  
operierten (31).  
Das Experiment  
enthielt auch 6826  
Beobachtungs-**

**Paare. Abbildung  
11 zeigt die  
experimentellen  
Ergebnisse einer  
Fahrt eines  
Schiffes.**



**Abbildung 11:  
Systematischer  
Fehler in  
gemessenen  
Kühlwasser-  
Temperaturen an  
Bord eines  
Militär-  
Transportschiffes,  
das im Juni/Julii  
1959 operierte.  
Der mittlere**

***systematische Bias  
und die  
Unsicherheit in  
diesen Daten  
beträgt  $1s = 0.9^{\circ}\text{C}$   
 $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ .***

**Saur bezeichnete  
die Abbildung 11  
als „eine typische  
Verteilung der  
Unterschiede“, die**

**auf den  
verschiedenen  
Schiffen  
aufgetreten waren.  
Die  $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ -  
Unsicherheit  
hinsichtlich des  
mittleren  
systematischen  
Fehlers ist  
vergleichbar mit  
den von Brooks**



**genannten Werten  
in Abbildung 10.**

**Saur schloss  
seinen Bericht mit  
den Worten: „*Der  
mittlere Bias der  
gemessenen  
Meerwasser-  
Temperaturen beim  
Vergleich mit den  
Wassertemperaturen***

***an der  
Ozeanoberfläche  
wird innerhalb des  
95%-  
Vertrauensinterval  
ls abgeschätzt mit  
 $0,67^{\circ}\text{C} \pm 0,33^{\circ}\text{C}$   
auf der Grundlage  
einer Stichprobe  
von 12 Schiffen.  
Die  
Standardabweichung***

***der Unterschiede  
zwischen den  
Schiffen wird mit  
0,9°C geschätzt.  
Folglich sind die  
in Gegenwart und  
Vergangenheit  
gemessenen  
Wassertemperaturda-  
ten ohne  
verbesserte  
Qualitätskontrolle***

***zum größten Teil  
nur geeignet für  
allgemeine  
klimatologische  
Studien“***. Saur's  
Sorgfalt ist  
aufschlussreich,  
wurde aber  
offensichtlich von  
Konsens-  
Wissenschaftlern  
missbraucht.

**Messungen mittels  
Bathythermographen  
(BT) und Einmal-  
Bathythermographen  
(XBT) haben  
ebenfalls  
bedeutend zu den  
Wassertemperatur-  
Aufzeichnungen  
beigetragen (32).  
Extensive BT und  
XBT-Kalibrierungs-**

**Experimente  
zeigten multiple  
Quellen  
systematischer  
Fehler,  
hauptsächlich  
durch mechanische  
Probleme und  
Kalibrierungsfehler  
(33 bis 35).  
Relativ zu einem  
*reversing***

**Thermometer-  
Standard [?]  
zeigten BT-  
Feldmessungen  
einen Fehler von  
 $\pm s = 0.34^{\circ}\text{C} \pm$   
 $0.43^{\circ}\text{C}$  (35). Diese  
Standardabweichung  
ist mehr als  
doppelt so groß  
wie wie die vom  
Hersteller**

**genannte  
Genauigkeit von  
 $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  und  
reflektiert den  
Einfluss  
unkontrollierter  
Feldvariablen.**

**Die SST-Sensoren  
in treibenden und  
festen Bojen  
wurden während des**



**20. Jahrhunderts  
niemals feld-  
kalibriert, so  
dass keine  
allgemeine  
Schätzung  
systematischer  
Messfehler  
vorgenommen werden  
konnte.**

**Allerdings hat**

**Emery einen 1s =  
±0.3°C-Fehler  
geschätzt mittels  
eines Vergleichs  
der  
Wassertemperatur  
von Treibbojen,  
die sich nicht  
weiter als 5 km  
voneinander  
entfernt hatten  
(28).**

**Wassertemperatur-  
Messungen bei  
Entfernungen unter  
10 km werden als  
übereinstimmend  
betrachtet.**

**Eine ähnliche  
Größenordnung des  
Bojenfehlers von  
 $\pm 0,26^{\circ}\text{C}$  wurde  
relativ zu den**

**Wassertemperaturda  
ten gefunden, die  
aus Advanced  
Along-Track  
Scanning  
Radiometer  
(AATSR) -  
Satellitendaten  
abgeleitet worden  
waren. Die  
Fehlerverteilungen  
waren nicht-**

**normal.**

**In noch jüngerer  
Zeit wurden ARGO-  
Bojen feld-  
kalibriert gegen  
sehr genaue CTD-  
Messungen (CTD =  
conductivity-  
temperature-  
depth). Sie  
zeigten mittlere**

**RMS-Fehler von  
 $\pm 0,56^{\circ}\text{C}$  (37). Dies  
ist  
größenordnungsmäßig  
ähnlich der  
gemessenen  
mittleren  
Differenz von  
 $\pm 0,58^{\circ}\text{C}$  in buoy-  
Advanced Microwave  
Scanning  
Radiometer (AMSR) -**

**Satellitendaten  
(38).**

**3. Diskussion**

**Bis vor**

**Kurzem**

**(39, 40)**

**waren**

**systemati**

**sche**

**Temperatu**



**rsensor-  
Messfehler  
r niemals  
erwähnt  
worden  
bei der**

**Berichter  
stattung  
bzgl.  
Ursprung,  
Bewertung  
und**

**Berechnung  
der  
globalen  
mittleren  
Lufttempe-  
ratur.**

**Auch in  
Fehlerana-  
lysen  
hatten  
sie  
niemals**

**Eingang  
gefunden  
(15, 16,  
39 bis  
46).  
Selbst**

nach der  
Nennung  
systemati-  
scher  
Fehler in  
der

**veröffent**

**lichen**

**Literatur**

**in**

**letzter**

**Zeit wird**

**jedoch**

**das**

**Central**

**Limit**

**Theorem**

**herangezogen**



**gen um  
abzuschät  
zen, dass  
diese  
sich zu  
Null**

**mitteln**

**(36) .**

**Allerdings**

**s sind**

**systemati**

**sche**

**Temperatu  
rsensor-  
Fehler  
weder  
zufällig  
verteilt**

**noch**

**zeitlich,**

**räumlich**

**oder von**

**Instrument**

**t zu**

**Instrument**

**t**

**konstant.**

**Es gibt**

**keinen**

**theoretis**

**chen**

**Grund zu**

**erwarten,**

**dass**

**diese**

**Fehler**

**dem**

**Central**

**Limit**

**Theorem**

**folgen**

**(47, 48)**

**oder dass**

**solche**

**Fehler**

**reduziert**

**oder**

**eliminier**



**t werden**

**durch**

**Mittelung**

**multipler**

**Messungen**

**; selbst**

**wenn**

**diese**

**Messungen**

**millionen**

**fach**

**durchgefü**

**hrt**

**werden .**

**Eine**

**vollständ**

**ige**

**Inventur**

**der**

**Beiträge**

**zur**

**Unsicherh**

**eit in**

**den**

**Aufzeichnungen der  
Lufttemperatur  
muss den  
systemati**

**schen**

**Messfehler**

**r des**

**Temperatu**

**rsensors**

**selbst**

**enthalten**

**;**

**tatsächlich**

**ch muss**

**sie damit**

**beginnen**

**( 39 ) .**

**Die WMO**

**bietet**

**nützliche**

**Ratschläg**



**e an**

**hinsichtl**

**ich**

**systemati**

**scher**

**Fehler**

**(20) . Es  
heißt  
dort in  
Abschnitt**

***1.6.4.2.3***

***Abschätzung  
des  
wahren  
Wertes –  
zusätzliche  
he***

***Bemerkung***

***en :***

***In der***

***Praxis***

***enthalten***

***Messungen  
sowohl  
zufällige  
als auch  
systemati-  
sche***

***Fehler.***

***In jedem***

***Falle***

***muss der***

***gemessene***

***mittlere***

***Wert um***

***den***

***systemati***

***schen***

***Fehler***

***korrigier***

*t werden ,  
soweit  
dieser  
bekannt  
ist . Wenn  
man das*



***tut,  
bleibt  
die  
Schätzung  
des  
wahren***

***Wertes  
ungenau  
wegen der  
zufällige  
n Fehler  
und wegen***

***jedweder  
unbekannt  
er  
Komponent  
en des  
systemati***

*schen*

*Fehler.*

*Der*

*Unsicherh*

*eit des*

*systemati*

*schen*

*Fehlern*

*sollten*

*Grenzen*

*gesetzt*

*werden.*

***Sie***

***sollten***

***den***

***Zufallsfe***

***hlern***

***hinzugefü***

***gt***

***werden,***

***um die***

***Gesamt-***

***Unsicherh***

***eit zu***

***ermitteln***  
***. Solange***  
***jedoch***  
***die***  
***Unsicherheit***  
***des***



***systemati  
schen***

***Fehler***

***nicht in***

***Wahrschei***

***nlichkeit***

***s - Termen  
ausgedrüc  
kt und  
geeignet  
mit dem  
Zufallsfe***

*hier*

*kombiniert*

*werden*

*kann, ist*

*das*

*Vertrauen*

***sniveau***

***unbekannt***

***. Es ist***

***daher***

***wünschens***

***wert,***

***dass der  
systemati  
sche  
Fehler  
vollständig  
ig***

*bestimmt  
wird.*

**Bei der  
Erstellung  
der**

**globalen  
mittleren  
Lufttempe-  
ratur  
Lagen  
Angaben**

**der WMO**

**bisher**

**bei der**

**Erstellung**

**g der**

**globalen**



**mittleren  
Temperatu  
r brach .**

**Systemati  
sche**

**Sensorfehler bei  
Messungen der Luft-  
und  
Wassertem**

**peratur**

**waren**

**beklagens**

**wert**

**gering**

**geachtet**

**wor**den ,  
**und** es  
**gab** nur  
**sehr**  
**wenige**  
**Feld-**

**Kalibrier  
ungen.**

**Nichtsdes**

**totrotz**

**wird aus**

**den**

**berichtet  
en Fällen  
klar,  
dass die  
Aufzeichn  
ung der**

**Lufttempe  
ratur**

**kontamini  
ert ist**

**mit einem  
sehr**

**signifika  
nten**

**Niveau**

**systemati  
scher**

**Messfehle**



**r. Die**

**Nicht-**

**Normalität**

**t**

**systemati**

**scher**

**Fehler  
bedeutet,  
dass die  
Subtrakti  
on eines  
mittleren**

**Bias ' die  
Messungen  
auigkeit  
des  
globalen  
Temperatu**

**ermittelt  
nicht  
beseitige  
n wird.**

**Außerdem**

**ist die  
Größenord  
nung des  
systemati  
schen  
Fehlerbia**

**s' der  
Messungen  
von Luft-  
und  
Wassertem-  
peratur**

**offensichtlich**

**tllich**

**genauso**

**räumlich**

**und**

**zeitlich**

**variabel  
wie die  
Größenord  
nung der  
Standarda  
bweichung**



**der**

**systemati**

**schen**

**Unsicherh**

**eit über**

**den**

**mittleren**

**Fehlerbia**

**s. Das**

**heißt,**

**der**

**mittlere**

**systemati**

**sche**

**Fehlerbia**

**s über**

**Schnee**

**auf dem**

**Plaine**

**Morte-**

**Gletscher**

**betrug**

**2°C,**

**jedoch**

**nur 0,4°C**

**über**

**Schnee in**

**Lincoln,**

**Nebraska.**

**Ähnliche**

**Differenz  
en wurden  
von  
Brooks  
und Saur  
auch beim**

**Fehlermit  
telwert**

**von**

**Kühlwasse**

**r**

**gemeldet .**

**Daher  
wird die  
Eliminier  
ung eines  
mittleren  
Bias' um**



**einen**

**geschätzt**

**en Betrag**

**immer die**

**Größenord**

**nungs -**

**Mehrdeutigkeit des  
verbleibenden  
mittleren  
Bias'**

**hinterlas  
sen. In  
jeder  
vollständ  
igen  
Fehler-**

**Evaluierung  
wird  
die  
verbleibe  
nde  
Unsicherh**

**eit des  
mittleren  
Bias' mit  
der 1s-  
Standarda  
bweichung**

**der**

**Messunsic**

**herheit**

**zur**

**Gesamt -**

**Unsicherh**

**eit**

**verschmel**

**zen.**

**Eine**

**vollständig**

**ige**

**Evaluieru**

**ng**

**systemati**

**scher**

**Fehler**



**liegt  
jenseits  
dieser  
Analyse.  
Allerdings  
s kann**

**ein Satz  
geschätzt  
er  
Unsicherh  
eits -  
Balken**

**infolge**

**des**

**systemati**

**schen**

**Fehler**

**in der**

**Aufzeichn  
ung der  
globalen  
mittleren  
Lufttempe  
ratur**

**berechnet  
werden –  
unter der  
Vorausset  
zung,  
dass die**

**oben**

**beschrieb**

**enen**

**Fehler**

**repräsent**

**ativ sind**

**(Abbildung 12).**

**Die  
Unsicherh  
eits-**

**Bandbreite**

**e in**

**Abbildung**

**12**

**( rechts )**

**reflektie**



**rt ein  
Verhältni  
s  
systemati  
scher  
Fehler**

**zwischen  
Wasser-  
und  
Festlands  
-  
Temperatu**

**r von 0,7**

**zu 0,3.**

**Quadrant**

**bildet**

**die**

**Kombinati**

**on von**

**Eimer-**

**und**

**Kühlwasser**

**messungen**

**n die**

**SST-**

**Unsicherheit**

**vor**

**1990. Im**

**gleichen**

**Zeitinter**

**vall**

**bildete**

**der**

**systemati**

**sche**

**Fehler**

**der**

**PRT / CRS -**

**Sensoren**

**(39, 40)**

**die**

**Unsicherh**

**zeit der  
Festlands**

**-**

**Temperatu  
ren.**

**Treibboje**



n

leisteteten

einen

teilweise

n Beitrag

(0, 25) zu

**der**

**Unsicherheit**

**bei**

**der**

**Wassertem**

**peratur**

**zwischen**

**1980 und**

**1990.**

**Nach 1990**

**wurde die**

**Fehlerban**

**dbreite  
weiterhin  
stetig  
reduziert  
, was den  
zunehmend**

**en**

**Beitrag**

**und die**

**kleineren**

**Fehler**

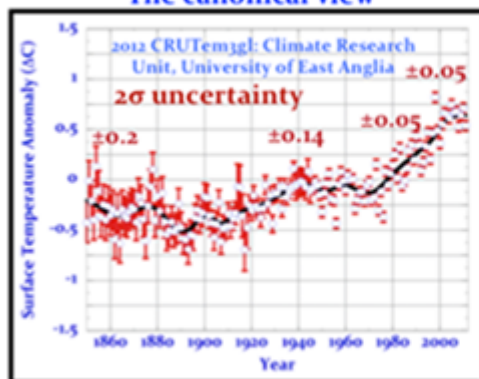
**der MMTS**

**( Festland  
) und  
Treibboje  
n  
(Wasserob  
erfläche)**

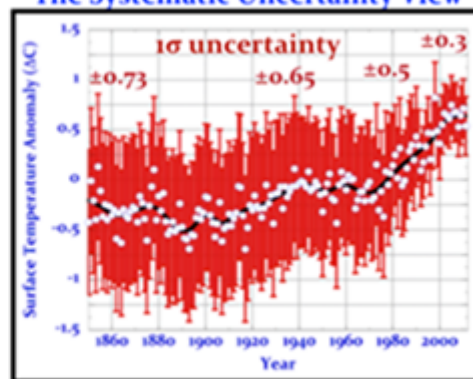
# reflektie rt.

## Uncertainty and the global air temperature record

The canonical view



The Systematic Uncertainty View



<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/crutem1gl.txt>  
C. P. Morice, et al. (2012) J. Geophys. Res. 117(D8), Do8101

Lower Limit Estimate

**Abbildung**

**12: *Die***

***globale***

***mittlere***

***Lufttempe***

***ratur im***



***Jahre***

***2010,***

***entnommen***

***der***

***Website***

***der***

***Climate  
Research  
Unit  
(CRU),  
University of East***

***Anglía,***

***UK***

***(hier).***

***Links:***

***Unsicherh***

***eits-***

***Bandbreite***

***e***

***aufgrund***

***der***

***Beschreib***

***ung auf***

***der CRU-  
Website.***

***Rechts:***

***Fehlerban***

***dbreite***

***der***

***Unsicherheit***

***aufgrund***

***geschätzt***

***er***

***systemati***

*scher*

*Fehler*

*der*

*Sensormes*

*sungen*

*innerhalb*

***der Land-  
und  
Wasser-  
Aufzeichn  
ungen.  
Weiteres***



*im Text.*

**Abbildung**

**12**

**(rechts)**

**ist sehr**

**wahrscheinlich**

**ist**

**eine**

**genauere**

**Repräsentation**

**des**

**Wissensst  
andes als  
Abbildung  
12  
(links),  
jedenfall**

**s was die  
Rate oder  
Größenord  
nung der  
Änderung  
der**

**global**

**gemittelt**

**en**

**Änderung**

**der**

**Lufttempe**

**ratur**

**seit 1850**

**angeht.**

**Die**

**überarbeitete**

**tete**

**Unsicherheit -**

**Bandbreite**

**repräsentiert**

**einen  
nicht-  
normalen  
systemati-  
schen  
Fehler.**



**Daher  
verliert  
der  
mittlere  
Trend der  
Lufttempe**

**ratur**

**jedweden**

**Status**

**als**

**wahrschein**

**lichster**

**Trend.**

**Schließlich**

**widmet**

**Abbildung**

**13 der**

**instrumenten**

**tellen**

**Auflösung**

**der**

**historisc**

**hen**

**meteorolo  
gischen**

**Thermomet  
er**

**Aufmerksam  
keit.**

**Abbildung**

**13**

**provoczier**

**te einige**

**wütende**

**Zwischenr**

**u fe aus**

**dem**

**Publikum**

**in**

**Sizilien,**

**die nach**

**dem  
Vortrag  
gefolgt  
wurden  
von  
einigen**



**sehr**

**groben**

**Angriffen**

**und einer**

**netten E-**

**Mail-**

**Diskussio**

**n. Die**

**hier**

**vorgebrac**

**hten**

**Argumente**

**waren  
vorherrsc  
hend.**

**Die  
instrumen**

telle

Auflösung

definiert

das Limit

der

Messgenau

**igkeit**

**[measurement**

**ent**

**detection**

**limit].**

**Beispiele**

**weise**

**waren**

**unter den**

**besten**

**historisc**

**hen**

**Thermomet**

**ern vom**

**19. bis**

**Mitte des**

**20.**

**Jahrhunde**

**rts 1°C-**  
**Einteilun**  
**gen. Die**  
**Best-**  
**Case-**  
**Temperatu**



**rauflösung  
g unter  
Laborbedi  
ngungen  
beträgt  
daher**

**$\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ .**

**Darüber**

**kann es**

**keinen**

**Streit**

**geben.**

**Die  
Standard-  
Eimermess-  
ungen der  
Wassertem-  
peratur**

**der**

**Challenge**

**r-Reise**

**hatte**

**ebenfalls**

**eine 1°C-**

**Abstufung**

**. Damit**

**kommt das**

**gleiche**

**Limit der**

**Auflösung**

**zur**

**Anwendung**

▪

**Die**

**besten**

**Thermomet**

**er zur**

**Messung**

**des**

**Kühlwassse**

**rs bei**

**amerikanische**

**Schiffen**

**enthielten**

**n 1°C-  
Abstufung**



**en; bei  
britische  
n  
Schiffen  
waren es  
2°C. Die**

**beste**

**Auflösung**

**ist**

**demnach**

**$\pm (0,25$**

**bis**

**0,5) °C.**

**Dies sind**

**die**

**bekanntesten**

**Quantitäten**

**en.**

**Auflösung**

**S -**

**Unsicherh**

**eiten wie**

**systemati**

**sche**

**Fehler  
mitteln**

**sich**

**nicht**

**heraus .**

**Kenntnis**

**der**

**Messsgrenz**

**en der**

**Instrumen**

**te-**

**Klassen**

**gestattet**

**uns die**

**Abschätzung**

**ng der**

**Auflösung**

**S -**

**Unsicherheit  
in  
jeder  
zusammeng  
estellten  
historisc**



**hen**

**Aufzeichn**

**ung der**

**Lufttempe**

**ratur.**

**Abbildung  
13 zeigt  
die  
Grenzen  
der  
Auflösung**

**. Darin  
wird die  
historisc  
he  
instrumen  
telle**

**$\pm 2s$  -**

**Auflösung**

**vergl****i****che**

**n** **mit** **der**

**$\pm 2s$  -**

**Unsi****cherh**

**eit in**

**der**

**veröffent**

**lichten**

**Temperatu**

**r-**

**Zusammen  
teilung**

**von**

**Berkeley**

**Earth.**

**Die**

**Analyse**

**lässt**

**sich**

**genauso**

**gut**

**anwenden**

**auf die  
veröffentlicht  
Lichten  
Temperatu  
rreihen  
vom GISS**



oder der  
CRU/UKMet  
, welche  
die  
gleichen  
Unsicherh

**eitsgrenz**

**en**

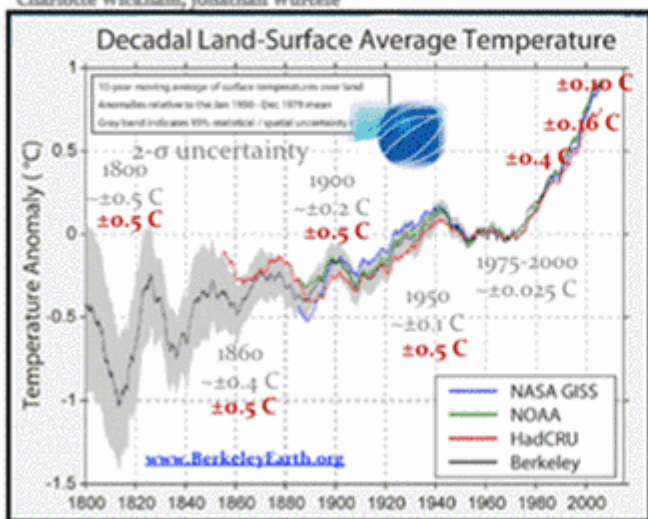
**aufweisen**

**■**

**Uncertainty in Global Temperature Records:  
less than the instrumental resolution limit**

**Berkeley Earth Methodology**

Robert Rohde, Judith Curry, Don Groom, Robert Jacobsen, Richard Muller (chair), Saul Perlmutter, Arthur Rosenfeld, Charlotte Wickham, Jonathan Wurtele



Third Santa Fe Conference on Regional and Global Climate Change 11/1/2011

**Best Possible USCRN aspirated PRT 1σ Resolution: ±0.02 C**

**1σ Instrumental Resolution**

18<sup>th</sup> Century Min-Max: ±0.25 C

19<sup>th</sup> Century Land: ±0.25 C

19<sup>th</sup> Century SST: ±0.25 C

20<sup>th</sup> Century (Early-Mid)

Land and SST LiG thermometers

Smallest division: 1 C

Resolution limit: ±0.25 C

20<sup>th</sup> Century (Mid-Late)

Land and SST LiG thermometers

Smallest division: 0.5 C

Resolution limit: ±0.125 C

20<sup>th</sup> Century (Late)

MMTS PRT: ±0.1 C

Buoy Thermister: ±0.002 C

Entire 20<sup>th</sup> Century

Ship Engine Intake Thermometers

Smallest division: 1 C

Resolution limit: ±0.25 C

**Abbildung**

**13 : Der**

***Trend der  
globalen  
gemittelt  
en  
Lufttempe  
ratur von***

***Berkeley***

***Earth mit***

***den***

***veröffent***

***lichten***

***±2s -***

***Unsicherheit  
zeitsgrenzen  
in  
grau. Die  
zeitliche  
 $\pm 2s$ -***

***Auflösung  
ist rot  
eingezeic  
hnet.  
Rechts  
findet***

***sich eine  
Zusammen  
teilung  
der best  
resolutio  
n limits***



***in blau***

***der***

***historisc***

***hen***

***Temperatu***

***rsensoren***

***, aus  
denen die  
globalen  
Auflösung  
s-Limits  
berechnet***

*worden*

*sind.*

**Die**

**global**

**kombinier**

**te**

**instrumenten**

**telle**

**Auflösung**

**wurde mit**

**den**

**gleichen  
Teilbeitr  
ägen  
berechnet  
wie die  
oben**

**genannte  
Abschätzung  
des  
unteren  
Limits  
des**

**systemati  
schen**

**Messfehle**

**rs. Das**

**heißt**

**0,30 zu**

**0,70**

**Land - zu  
Wassertem  
peratur -  
Instrumen  
ten, und**



**der**

**veröffent**

**lichte**

**fraktiona**

**le**

**Gebrauch**

**jeder  
Instrumentenart  
(Land:  
CRS vs.  
MMTS,**

***and; SS:***

***buckets***

***VS.***

***engine***

***intakes***

***VS.***

***Buoys*** ) .

**Die**

**Aufzeichn**

**ung**

**zeigt ,**

**dass**

**während**

**der Jahre**

**von 1800**

**bis 1860**

**die**

**veröffent**

**lichen**

**globalen**

**Unsicherh**

**eits -**

**Limits**

**von im**

**Feld**

**gemessene**

**n**

**meteorolo**

**gischen**

**Temperatu  
ren  
gleich  
sind der  
Messungen  
unter**



**bestmögliche  
chen**

**Laborbedi  
ngungen .**

**Nach etwa**

**1860 bis**

**zum Jahr**

**2000 ist**

**die**

**veröffent**

**lichte**

**Auflösung  
kleiner  
als die  
Auflösung  
s-Limits  
der**

**Instrumenten**

**te**

**selbst.**

**Seit**

**mindesten**

**s 1860**

wurde die  
Genauigkeit  
aus  
dünnere  
Luft  
hervorgez

**aubert .**

**Findet**

**irgendj**

**emand**

**die**

**veröffe**

**ntlicht**

**en**

**Unsi**



**rheiten  
gläubwü  
rdig?**

**Alle**

**Ingenieur  
e und  
Experimen  
talwissen  
schaftler  
könnten**

**nach der  
Lektüre  
dieses  
Beitrags  
schockier  
t sein.**

**Zumindest**

**war das**

**bei mir**

**so. Ein**

**Espresso**

**hat mir**

**geholfen .**

**Die**

**Leute,**

**die die**

**globalen**

**instrumenten**

**tellen**

**Aufzeichn**

**ungen**

**zusammens**

**tellen,**

**haben ein  
experimentelles  
Limit**

**stiefmütterlich  
erlich**

**behandelt**

**, das**

**sogar**

**noch**

**grundlege**

**nder ist**



**als**

**systemati**

**sche**

**Messfehle**

**r: Die**

**Messgrenz**

**en**

**[detectio  
n limits]**

**ihrer**

**Instrumenten**

**te. Sie**

**haben dem**

**keinerlei**

**Aufmerksam**

**keit**

**geschenkt**

**▪**

**Auflösung  
s-Limits**

**und**

**systemati**

**sche**

**Messfehler**

**r durch**

**das**

**Instrumenten**

**t selbst**

**legen**

**niedriger**

**e Grenzen**

**der**

**Unsicherh**

**eit fest.**

**Die in**

**der**

**Konsens -  
Klimatolo  
gie  
engagiert  
en  
Wissensch**

**aftler**

**haben**

**beides**

**kaum**

**beachtet.**



**Das ist  
fast so,  
als ob  
keiner  
von ihnen  
jemals**

**eine**

**Messung**

**durchgeföh**

**hrt oder**

**sich**

**jemałs**

**mit einem**

**Instrument**

**t**

**abgemüht**

**hätte. Es**

**gibt**

**keine**

**andere**

**rationale**

**Erklärung**

**für diese**

**Missachtung**

**ng als**

**eine**

**ausgepräg**

**te**

**Ignoranz**

**gegenüber**

**experimen**

**tellen**

**Verfahren**

**▪**

**Die hier**

**entwickel  
te**

**Unsicherh  
eits -**

**Abschätzu  
ng zeigt,**

**dass die  
Rate oder  
die  
Größenord  
nung der  
Änderung**



**der**

**globalen**

**Lufttempe**

**ratur**

**seit 1850**

**nicht**

**genauer**

**bekannt**

**sein kann**

**als mit**

**$\pm 1^\circ\text{C}$  vor**

**1980 oder**

**innerhalb**

**von**

**$\pm 0,6^{\circ}\text{C}$**

**nach**

**1990,**

**jedenfall**

**s im 95%-  
Intervall**

**▪**

**Rate und  
Größenord**

**nung der  
Temperatu  
ränderung  
seit 1850  
ist  
buchstäbl**

**ich**

**unbekannt**

**. Es gibt**

**keinerlei**

**Unterstüt**

**zung für**

**jedwedes**

**„beispiel**

**los“ in**

**den**

**Aufzeichn**

**ungen der**

**Lufttempe  
ratur.**

**Behauptun  
gen über  
die**



**höchste  
Temperatu  
r jemals,  
selbst  
auf der  
Grundlage**

**von**

**0,5°C-**

**Differenz**

**en, sind**

**völlig**

**unhaltbar**

**und ohne**

**jede**

**Bedeutung**

**▪**

**All diese**

**Debatten**

**um die**

**höchste**

**Lufttempe**

**ratur**

**jemałs**

**sind**

**nicht**

**besser**

**als**

**theologis**

**che**

**Streitereien über  
das  
Unaussprechliche.  
Es sind**

**nach den  
Worten**

**von**

**William**

**F.**

**Buckley**

**„Langweil  
ige  
Spekulationen über  
das  
inhärent**



**Unbekannt  
e“ .**

**Es gibt  
in den**

**Temperatu**

**raufzeich  
nungen  
keinerlei  
Stützung  
für  
irgendwel**

**che**

**Notfälle**

**bzgl.**

**Klima.**

**Außer**

**vielleicht**

**t ein**

**Notfall**

**der**

**scheinbar**

**en**

**Kompetenz**

**der AGW-  
Konsens-  
Wissensch  
aftler.**

**4.**

**Danksagun**

**gen : Ich**

**danke**

**Prof.**

**Hendrik**

**Huwałd**

**und Dr.**

**Marc**

**Parlange**

**von der**

**Ecole**

**Polytechn**

**ique  
Federale  
de  
Lausanne  
(EPFL),  
CH-1015**



**Lausanne,  
Schweiz,  
für die  
großzügig  
e  
überlassu**

**ng der  
Sensor-  
Kalibrier  
ungsdaten  
vom  
Plaine**

**Morte  
Gletscher  
, die  
Eingang  
in die  
Abbildung**

**en 4, 5**

**und 6**

**gefunden**

**haben.**

**Diese**

**Arbeit**

**wurde**

**ohne jede**

**externe**

**Zuwendung**

**geleistet**

**·**

**5.**

**Reference**

**s**

**[1] JCGM,**

**Evaluatio**

**n of  
measurement data –  
Guide to  
the  
expressio**

**n of  
uncertain  
ty in  
measureme  
nt  
100 : 2008 ,**



**Bureau  
Internati  
onal des  
Poids et  
Mesures :  
Sevres ,**

**France .**

**[2]**

**Frank ,**

**P. , et**

**al. ,**

**Determina  
tion of  
ligand  
binding  
constants  
for the**

**iron -  
molybdenum  
m  
cofactor  
of  
nitrogenase**

**se:**

**monomers,**

**multimers**

**, and**

**cooperati**

**ve**

**behavior.**

**J. Biol.**

**Inorg.**

**Chem.,**

**2001.**

**6(7) : p.**

**683 - 697 .**

**[3]**

**Frank, P.**

**and K.O.**

**Hodgson,**

**Cooperati  
vity and  
intermedi  
ates in  
the  
equilibri**



**um**

**reactions**

**of**

**Fe (II, III**

**) with**

**ethanethi**

**olate in**

**N-**

**methylfor**

**amide**

**solution.**

**J. Biol.**

**Inorg .**

**Chem . ,**

**2005 .**

**10 ( 4 ) : p .**

**373 - 382 .**

**[4]**

**Hinkley,**

**N., et**

**al., An**

**Atomic**

**Clock**

**with**

**10 - 18**

**Instability.**

**Science,**

**2013.**

**341 (p.**

**1215 - 1218**

**.**

**[5]**

**Parker,**

**D.E., et**

**al.,**

**Interdeca**

**dal**

**changes**

**of**

**surface**

**temperatu**

**re since**

**the late**

**nineteent**

**h**



**century .**

**J .**

**Geophys .**

**Res . ,**

**1994 .**

**99 ( D7 ) :**

**p .**

**14373 - 143**

**99 .**

**[6]**

**Quayle ,**

**R.G., et  
al.,  
Effects  
of Recent  
Thermomet  
er**

**Changes  
in the  
Cooperati  
ve  
Station  
Network.**

**Bull.**

**Amer.**

**Met.**

**Soc.,**

**1991.**

**72 (11) :**

**p.**

**1718 - 1723**

**; doi:**

**10.1175/1**

**520-0477 (**

**1991) 072 <**

**1718 : EORT**

**CI>2 . 0 . CO**

**;2 .**

**[7]**

**Hubbard ,**

**K.G., X.**

**Lin, and**

**C.B.**

**Baker, On**

**the USCRN**

**Temperatu**



**re**

**system.**

**J. Atmos.**

**Ocean.**

**Technol.,**

**2005.**

**22 (p .**

**1095 - 1101**

**.**

**[8] van**

**der**

**Meulen ,  
J.P. and  
T.  
Brandsma ,  
Thermomet  
er screen**

**intercomp  
arison in  
De Bilt  
(The  
Netherlan  
ds), Part**

**I:**

**Understanding the  
weather-  
dependent  
temperatu**

re  
differences). .

International

Journal

**of**

**Climatolo**

**gy, 2008.**

**28 (3) : p.**

**371-387.**

**[9]**

**Barnett,**

**A., D.B.**

**Hatton,**

**and D.W.**

**Jones,**



**Recent  
Changes**

**in**

**Thermomet  
er Screen  
Design**

**and Their  
Impact in  
Instruments  
and  
Observing  
Methods**

**WMO**

**Report**

**No. 66,**

**J. Kruus,**

**Editor.**

**1998,**

**World**

**Meteorolog**

**ical**

**Organizat**

**ion:**

**Geneva.**

**[10] Lin,  
X., K.G.**

**Hubbard,  
and C.B.**

**Baker,  
Surface**

**Air**

**Temperatu**

**re**

**Records**

**Biased by**

**Snow -**

**Covered  
Surface.**

**Int. J.  
Climatol.**

**, 2005.**

**25 (p.**

**1223 - 1236**

**; doi:**

**10.1002/j**

**oc.1184.**

**[11]**



**Hubbard ,  
K. G. and  
X. Lin ,  
Realtime  
data  
filtering**

**models**

**for air**

**temperatu**

**re**

**measureme**

**nts.**

**Geophys .**

**Res .**

**Lett . ,**

**2002 .**

**29 ( 10 ) :**

**p . 1425**

**1-4; doi:**

**10.1029/2**

**001GL0131**

**91.**

**[12]**

**Huwald ,**

**H. , et**

**al. ,**

**Albedo**

**effect on**

**radiative**

**errors in**

**air**

**temperatu**

**re**

**measureme**

**nts.**

**Water**

**Resources**

**Res. ,**

**2009 .**

**45 (p .**

**W08431 ;**

**1-13.**

**[13]**

**Menne,**

**M. J. and**

**C. N.**



**Williams,  
Homogeniz  
ation of  
Temperatu  
re Series  
via**

**Pairwise  
Compariso  
ns. J.  
Climate,  
2009.  
22 (7) : p.**

**1700 - 1717**

**▪**

**[14]**

**Briffa,**

**K.R. and**

**P.D.**

**Jones,**

**Global**

**surface**

**air**

**temperatu**

**re  
variations  
during  
the  
twentieth  
century:**

**Part 2 ,  
implications  
for  
large-  
scale  
high -**

**frequency  
palaeocli  
matic  
studies .  
The  
Holocene ,**

**1993 .**

**3 ( 1 ) : p .**

**77 - 88 .**

**[ 15 ]**

**Hansen ,**



**J. and S.  
Lebedeff,  
Global  
Trends of  
Measured  
Surface**

**Air**

**Temperatu**

**re. J.**

**Geophys.**

**Res. ,**

**1987.**

**92 (D11) :**

**p .**

**13345 - 133**

**72 .**

**[ 16 ]**

**Brohan,**

**P., et**

**al.,**

**Uncertain**

**ty**

**estimates**

**in**

**regional**

**and**

**global**

**observed**

**temperatu**

**re**

**changes :**

**A new**

**data set**

**from**

**1850 . J .**

**Geophys .**

**Res . ,**

**2006 .**

**111 (p .**

**D12106**

**1-21 ;**

**doi: 10.10**

**29/2005JD**

**006548;**

**see**

**http://ww**

**w.cru.uea**



**.ac.uk/cr  
u/info/wa  
rming/.**

**[17]**

**Karl,**

**T.R., et  
al., The  
Recent  
Climate  
Record:  
What it**

**Can and**

**Cannot**

**Tell Us .**

**Rev .**

**Geophys . ,**

**1989 .**

**27 (3) : p .  
405 - 430 .**

**[18]**

**Hubbard ,  
K . G . , X .**

**Lin, and  
E.A.**

**Walter-**

**Shea, The  
Effectiveness  
of**

**the ASOS,  
MMTS,  
GILL, and  
CRS Air  
Temperatu  
re**

**Radiation  
Shields .**

**J . Atmos .**

**Oceanic**

**Technol . ,**

**2001 .**

**18 (6) : p.  
851-864.**

**[19]**

**Machattie  
, L.B.,**



**Radiation**

**Screens**

**for Air**

**Temperatu**

**re**

**Measureme**

**nt.**

**Ecology,**

**1965.**

**46 (4) : p.**

**533 - 538.**

**[20]**

**Rüedi,**

**I., WMO**

**Guide to**

**Meteorolo**

**gical**

**Instrument  
ts and  
Methods  
of  
Observati  
on : WMO - 8**

**Part I:  
Measurement of  
Meteorological  
Variables**

**, 7th**

**Ed. ,**

**Chapter**

**1. 2006 ,**

**World**

**Meteorolo**

**gical  
Organizat  
ion:  
Geneva.**

**[21]**

**Berry ,  
D.I. and  
E.C.  
Kent ,  
Air–Sea  
fluxes**



**from**

**ICOADS :**

**the**

**construct**

**ion of a**

**new**

**gridded  
dataset  
with  
uncertain  
ty  
estimates**

▪  
**International  
Journal  
of  
Climatology**

**gy, 2011:**

**p.**

**987 - 1001.**

**[22]**

**Challenor**

**, P.G.**

**and**

**D.J.T.**

**Carter,**

**On the**

**Accuracy**

**of  
Monthly  
Means . J .  
Atmos .  
Oceanic  
Technol . ,**

**1994.**

**11 (5) : p.**

**1425 - 1430**

**■**

**[23]**

**Kent,**

**E.C. and**

**D.I.**

**Berry,**

**Quantifyi**

**ng random**



**measurement errors  
in**

**Voluntary  
Observing  
Ships'**

**meteorolo  
gical  
observati  
ons. Int.  
J.  
Climatol.**

**, 2005 .**

**25 ( 7 ) : p .**

**843 - 856 ;**

**doi :**

**10 . 1002 / j**

**oc . 1167 .**

**[24]**

**Kent,**

**E. C. and**

**P. G.**

**Challenger**

**, Toward**

# Estimating g Climatic Trends in SST. Part II:

**Random**

**Errors .**

**Journal**

**of**

**Atmospher**

**ic and**

**Oceanic**

**Technology**

**, 2006.**

**23 (3) : p.**

**476 - 486.**

**[25]**

**Kent,**

**E.C., et**

**al., The**

**Accuracy**

**of**



**Voluntary  
Observing  
Ships'  
Meteorolo  
gical  
Observati**

**ons -**

**Results**

**of the**

**VSOP - NA .**

**J . Atmos .**

**Oceanic**

**Technol. ,**

**1993 .**

**10 ( 4 ) : p .**

**591 - 608 .**

**[ 26 ]**

**Rayner ,  
N.A. , et  
al. ,  
Global  
analyses  
of sea**

**surface  
temperature,  
sea  
ice, and  
night  
marine**

**air**

**temperatu**

**re since**

**the late**

**nineteent**

**h**

**century .**

**Journal**

**of**

**Geophysic**

**al**

**Research -**

**Atmospheres, 2003.  
108 (D14).**

**[27]**

**Emery,**



**W. J. and**

**D.**

**Baldwin.**

**In situ**

**calibration**

**of**

**satellite**

**sea**

**surface**

**temperatu**

**re. in**

**Geoscienc**

**e and  
Remote  
Sensing  
Symposium  
, 1999.**

**IGARSS**

**'99**

**Proceedin**

**gs. IEEE**

**1999**

**Internati**

**onal.**

**1999 .**

**[28]**

**Emery ,**

**W. J. , et**

**al. ,**

**Accuracy  
of in  
situ sea  
surface  
temperatu  
res used**

**to  
calibrate  
infrared  
satellite  
measureme  
nts. J.**

**Geophys .**

**Res . ,**

**2001 .**

**106 ( C2 ) :**

**p .**

**2387 - 2405**



▪

[29]

Woodruff,

S.D., et

al., The

**Evolving  
SST  
Record  
from  
ICOADS,  
in**

**Climate  
Variability  
and  
Extremes  
during  
the Past**

**100**

**Years, S.**

**Brönnimann**

**n, et al.**

**eds,**

**2007,**

**Springer:  
Netherlands,  
pp.  
65 - 83.**

**[30]**

**Brooks ,  
C.F. ,  
Observing  
Water -  
Surface  
Temperatu**

**res at**

**Sea.**

**Monthly**

**Weather**

**Review,**

**1926.**

**54 (6) : p.  
241 - 253 .**

**[31]**

**Saur ,**

**J.F.T. , A**



**Study of  
the  
Quality  
of Sea  
Water  
Temperatu**

**res**

**Reported**

**in Logs**

**of Ships'**

**Weather**

**Observati**

**ons. J.**

**Appl.**

**Meteorol.**

**, 1963.**

**2 (3) : p.**

**417 - 425.**

**[32]**

**Barnett,**

**T.P.,**

**Long-Term**

**Trends in**

**Surface**

**Temperatu  
re over  
the  
Oceans .  
Monthly  
Weather**

**Review,**

**1984.**

**112 (2) :**

**p.**

**303 - 312.**

**[33]**

**Anderson,**

**E.R.,**

**Expendabl**

**e**

**bathyther**

**mograph  
(XBT)**

**accuracy  
studies;**

**NOSC TR**

**550 1980,**



**Naval  
Ocean  
Systems  
Center:  
San  
Diego,**

**CA. p.**

**201.**

**[34]**

**BraLove,**

**A.L. and**

**E.I.  
Williams  
Jr., A  
Study of  
the  
Errors of**

**the**

**Bathymetric**

**Chart**

**1952,**

**National**

**Science**

**C  
Laborator  
ies,  
Inc. :  
Washingto  
n, DC.**

**[35]**

**Hazelwort**

**h, J.B.,**

**Quantitat**

**ive**

**Analysis**

**of Some  
Bathymetric  
Errors  
1966,  
U.S.**

**Naval  
Oceanogra  
phic  
Office  
Washingto  
n DC.**



**[ 3 6 ]**

**Kennedy ,**

**J . J . ,**

**R . O .**

**Smith ,**

**and N . A .**

**Rayner,**

**Using**

**AATSR**

**data to**

**assess**

**the**

**quality**

**of in**

**situ sea-**

**surface**

**temperatu**

**re**

**observati  
ons for  
climate  
studies .**

**Remote  
Sensing**

**of  
Environment  
nt, 2012.  
116 (0) :  
p. 79-92.**

**[37]**

**Hadfield,**

**R.E., et**

**al., On**

**the**

**accuracy**

**of North  
Atlantic  
temperature  
and  
heat  
storage**

**fields**

**from**

**Argo . J .**

**Geophys .**

**Res . :**

**Oceans ,**



**2007 .**

**112 ( C1 ) :**

**p .**

**C01009 .**

**[ 38 ]**

**Castro,**

**S.L.,**

**G.A.**

**Wick, and**

**W.J.**

**Emery,**

**Evaluation  
of the  
relative  
performance  
of sea  
surface**

**temperatu  
re**

**measureme  
nts from  
different  
types of**

**drifting**

**and**

**moored**

**buoys**

**using**

**satellite**

**- derived  
reference  
products .**

**J .**

**Geophys .**

**Res . :**

**Oceans ,**

**2012 .**

**117 ( C2 ) :**

**p .**

**C02029 .**

**[39]**

**Frank,**

**P.,**

**Uncertain**

**ty in the**

**Global**



**Average**

**Surface**

**Air**

**Temperatu**

**re Index :**

**A**

**Represent  
ative**

**Lower**

**Limit.**

**Energy &**

**Environme**

**nt, 2010.**

**21(8) : p.**

**969 - 989.**

**[40]**

**Frank,**

**P. ,  
Imposed  
and  
Neglected  
Uncertain  
ty in the**

**Global  
Average  
Surface  
Air  
Temperature  
Index.**

**Energy &  
Environment,  
2011.  
22(4) : p.  
407-424.**

**[41]**

**Hansen,**

**J., et**

**al., GISS**

**analysis**

**of**

**surface  
temperatu  
re  
change .  
J .  
Geophys .**



**Res . ,**

**1999 .**

**104 (D24) :**

**p .**

**30997—310**

**22 .**

**[42]**

**Hansen,**

**J., et**

**al.,**

**Global**

**Surface**

**Temperatu  
re  
Change .  
Rev .  
Geophys . ,  
2010 .**

**48 ( 4 ) : p .**

**RG4004**

**1-29 .**

**[43]**

**Jones ,**

**P.D., et**

**al.,**

**Surface**

**Air**

**Temperatu**

**re and**

**its**

**Changes**

**Over the**

**Past 150**

**Years .**

**Rev .**

**Geophys . ,  
1999 .**

**37 ( 2 ) : p .  
173 - 199 .**

**[ 44 ]**

**Jones ,**

**P.D. and**

**T.M.L.**

**Wigley ,**

**Correctio**

**ns to**



**pre-1941**

**SST**

**measurements**

**for**

**studies**

**of long-**

**term  
changes  
in SSTs,  
in Proc.  
Int.  
COADS**

**Workshop,**

**H.F.**

**Díaz, K.**

**Wolter,**

**and S.D.**

**Woodruff,**

**Editors .**

**1992 ,**

**NOAA**

**Environmental  
Research**

**Research**

**Laborator  
ies :  
Boulder ,  
CO . p .  
227–237 .**

**[45]**

**Jones ,**

**P.D. and**

**T.M.L.**

**Wigley ,**

**Estimatio**

**n of  
global  
temperatu  
re  
trends :  
what's**

**important  
and what  
isn't.**

**Climatic  
Change,  
2010.**



**100 (1) :**

**p. 59 - 69 .**

**[46]**

**Jones ,**

**P.D. ,**

**T.M.L.**

**Wigley,**

**and P.B.**

**Wright,**

**Global**

**temperatu**

**re  
variations  
between  
1861 and  
1984.  
Nature,**

**1986 .**

**322 ( 6078 )**

**: p .**

**430 - 434 .**

**[ 47 ]**

**Emery ,  
W. J. and  
R. E.  
Thomson ,  
Data  
Analysis**

**Methods  
in  
Physical  
Oceanogra  
phy . 2nd  
ed. 2004,**

**Amsterdam**

**:**

**Elsevier.**

**[48]**

**Frank,**

**P. ,  
Negligenc  
e, Non-  
Science,  
and  
Consensus**



**Climatology .**

**Energy &**

**Environment, 2015 .**

**26 (3) : p .**

**391 - 416 .**

**[49]**

**Folland ,**

**C.K. , et**

**al. ,**

# Global Temperature Change and its Uncertain- ties

**Since**

**1861.**

**Geophys .**

**Res .**

**Lett . ,**

**2001.**

**28 (13) :**

**p .**

**2621 - 2624**

**▪**

**Link :**

**https://w  
attsupwit  
hthat.com  
/2016/04/  
19/system  
atic-**

**error-in-**

**climate-**

**measureme**

**nts-the-**

**surface-**

**air-**

**temperatu**

**re -**

**record /**

**Übersetzt**

**von Chris**



**Frey EIKE**