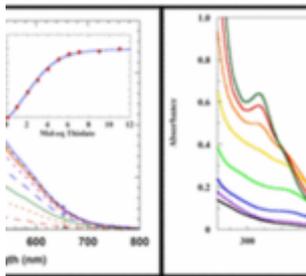


# Systematischer Fehler bei Klimamessungen: Die Aufzeichnung der Lufttemperatur an der Erdoberfläche

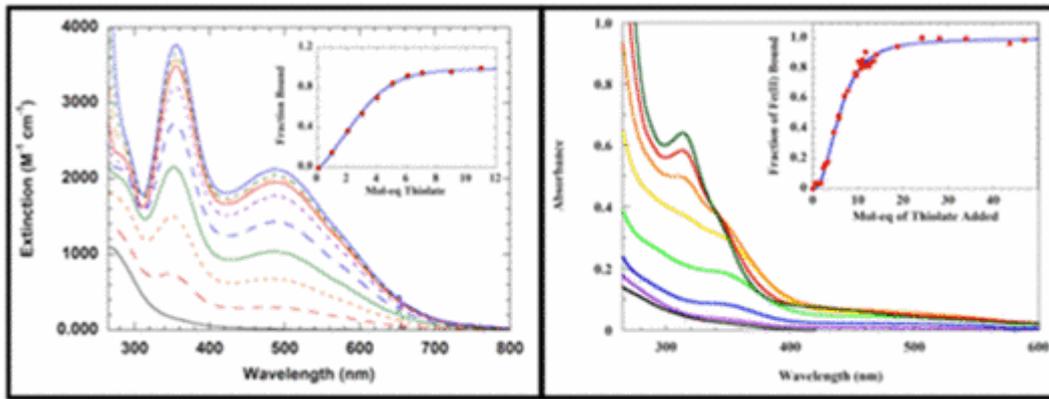


Es war eine sehr interessante Konferenz, und als Nebenaspekt nahm ich mit nach Hause, dass der kurzfristige Notfall die islamistische Gewalt ist und der langfristige Notfall, dass irgendwelche Riesen-Meteore auf die Erde stürzen. Aber bitte, gleiten Sie bei der Diskussion zu diesem Vortrag nicht in diese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

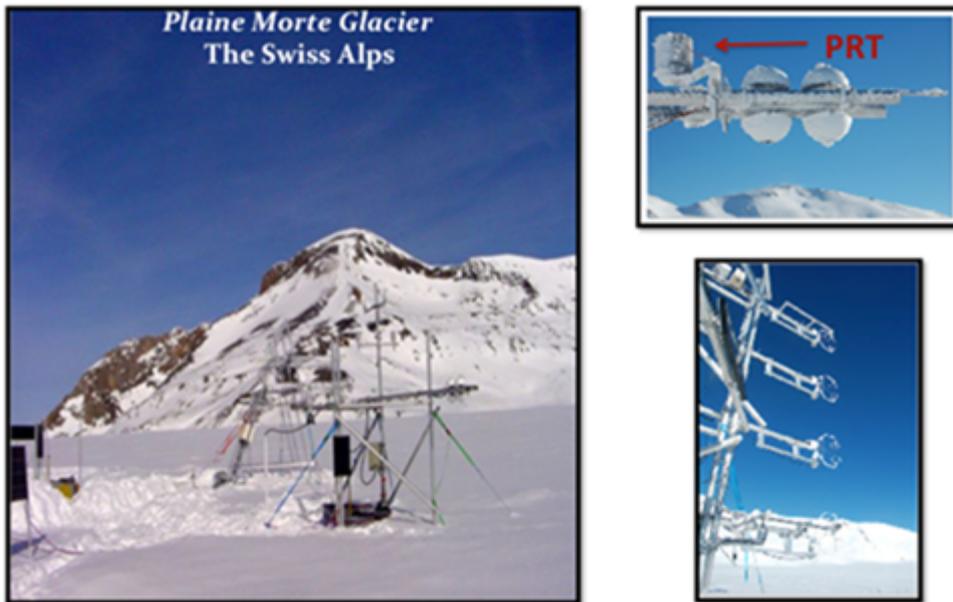
## **2. Systematische Fehler bei Temperaturmessungen**

### **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).

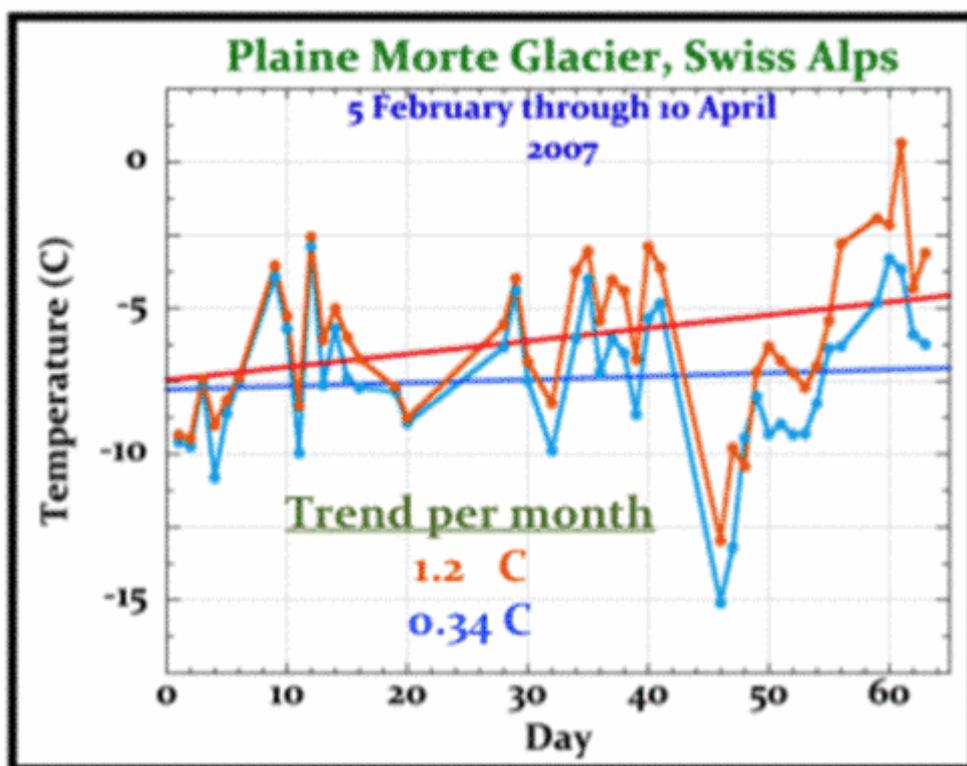


**Abbildung 3: Der Plaine Morte Glacier in der Schweiz. Hier wird gezeigt, wie das Experiment der Kalibrierung des Lufttemperatur-Sensors von Huwald et al. während der Jahre 2007 und 2008 durchgeführt worden ist (12).**

**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.

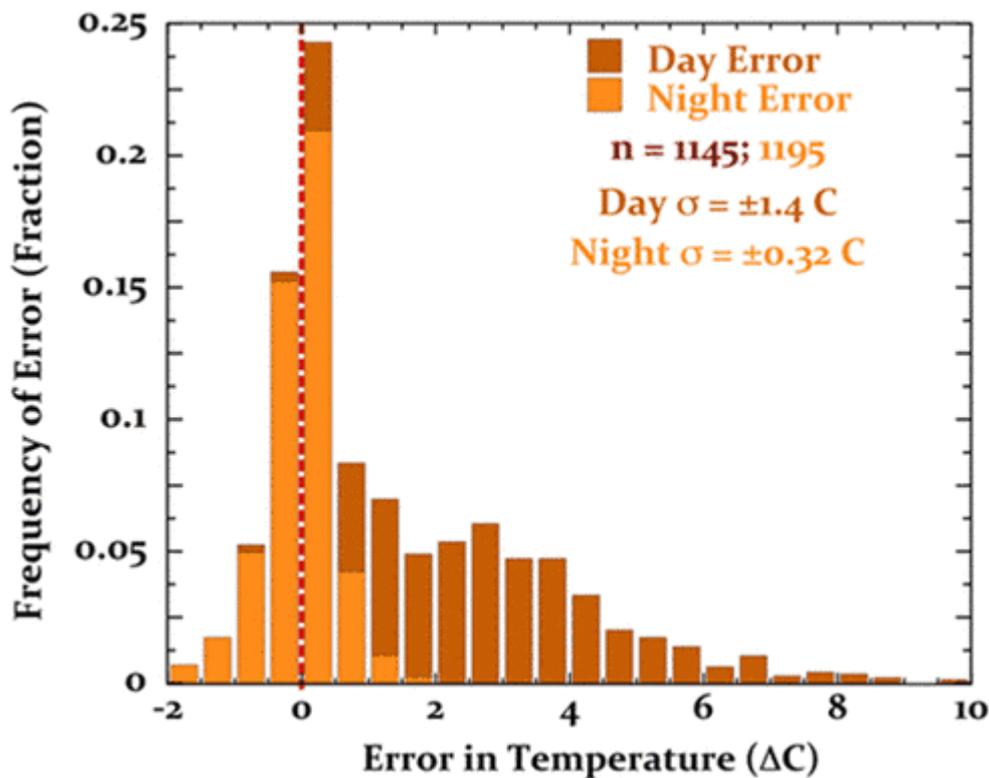


**Abbildung 4: *Gleichzeitig aufgezeichnete Temperaturtrends auf dem Plaine Morte-Gletscher von Februar bis April 2007. ( $\frac{3}{4}$ ), Sonic anemometer, and; ( $\frac{3}{4}$ ), RM Young PRT probe.***

**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 irriige RM Young-Aufzeichnung jeden einzelnen statistischen Test bestehen, der bzgl. der Qualitätskontrolle von Aufzeichnungen meteorologischer Stationen weltweit durchgeführt wird.

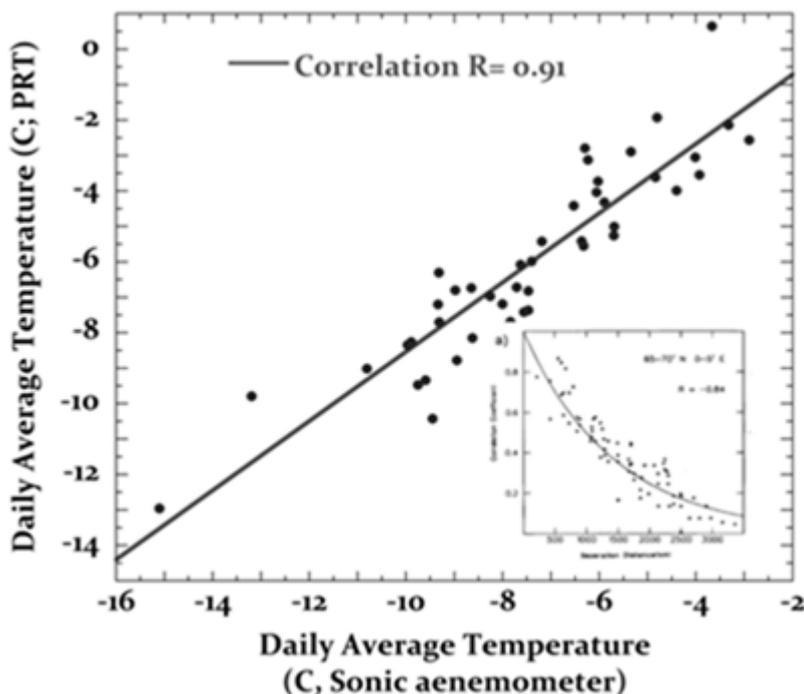


Abbildung 6: *Korrelation der RM Young-*

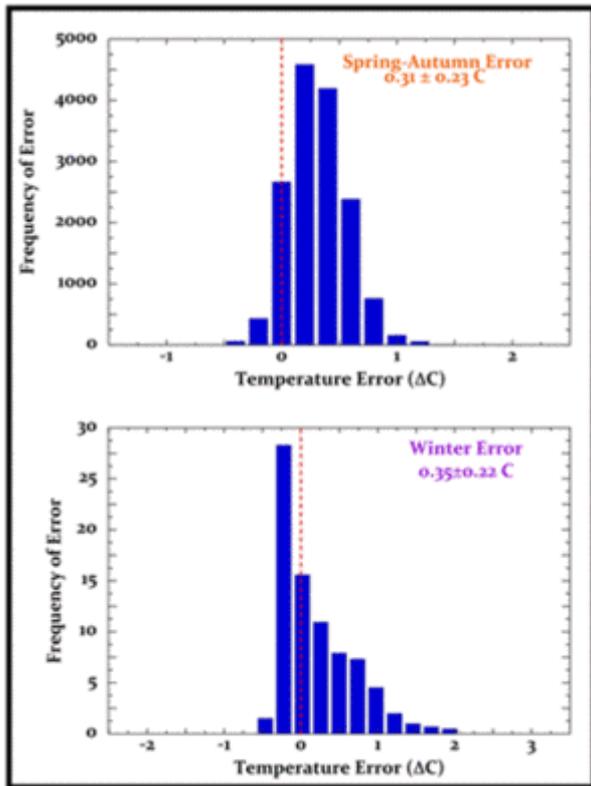
**Temperaturmessungen mit jenen des Schall-Anemometers. Eingebettet: Abbildung 1a aus (14), die Korrelationen von Temperaturaufzeichnungen zeigt von meteorologischen Stationen im terrestrischen Netz  $65^{\circ}$  bis  $70^{\circ}$ N,  $0^{\circ}$  bis  $5^{\circ}$  E. Bei einer Korrelation von 0,5 beträgt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

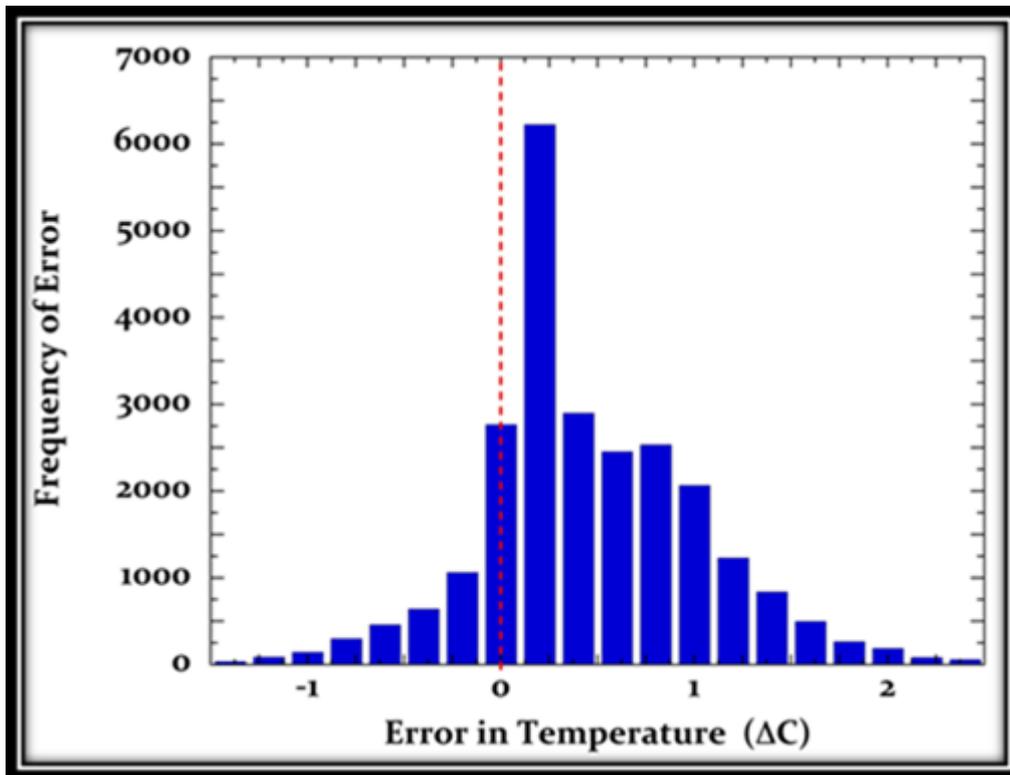


**Abbildung 8: Mittlerer systematischer Messfehler eines HMP45C-Sensors innerhalb eines MMTS über einer Gras-Oberfläche (oben) und einer schneebedeckten Oberfläche (unten) (10, 11).**

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**

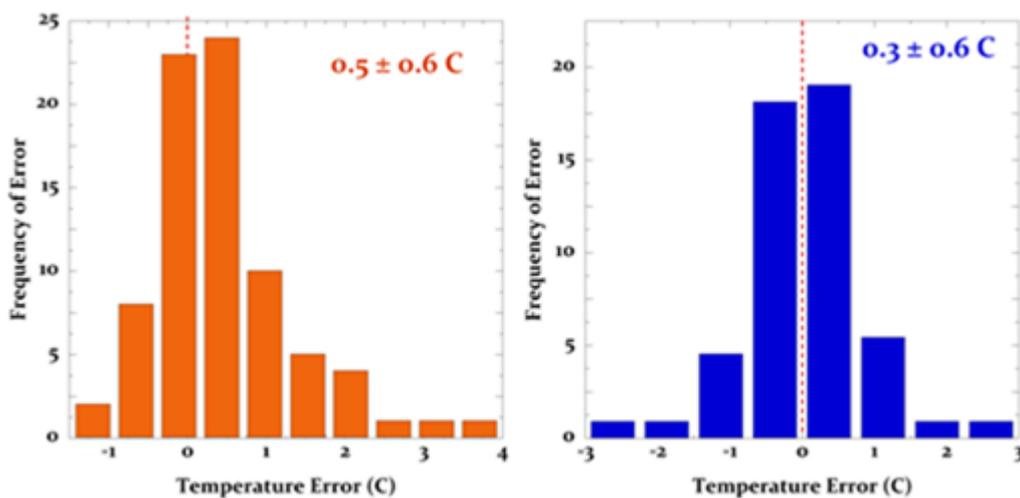
**Wassertemperatur  
Anfang und Mitte  
des 20.  
Jahrhunderts. Auf  
Fest- und  
Treibbojen  
montierte Sensoren  
kamen seit etwa  
1980 immer stärker  
zum Einsatz.  
Inzwischen  
dominieren sie die**

**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  
jemals von einem  
einzelnen  
individuellen  
Wissenschaftler  
durchgeführt 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.**

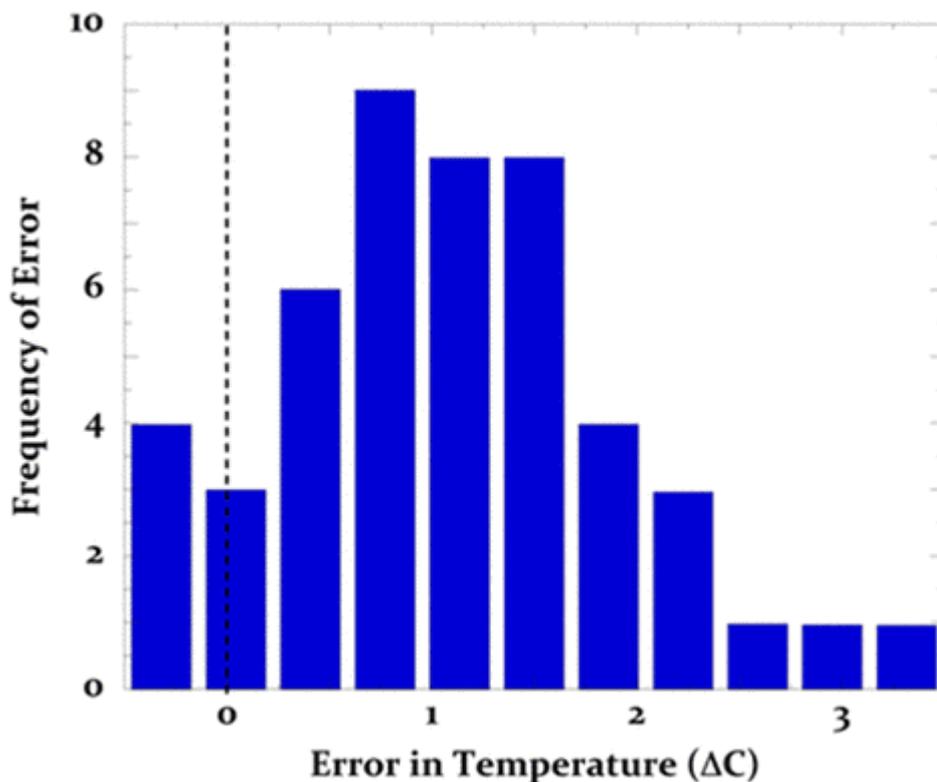
**Die einfachste  
Erklärung hierfür  
ist, dass die  
Sorgfalt schwand,  
vielleicht zurück  
zum Normalen, wenn  
niemand schaute.  
Dieses Ergebnis  
verletzt die**

**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  $1s = 0.9^{\circ}C$   
 $\pm 0.6^{\circ}C$ .***

**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%-**

***Vertrauensintervall  
s 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  
 $0,9^{\circ}\text{C}$  geschätzt.  
Folglich sind die***

***in Gegenwart und  
Vergangenheit  
gemessenen  
Wassertemperaturdat  
en ohne verbesserte  
Qualitätskontrolle  
zum größten Teil  
nur geeignet für  
allgemeine  
klimatologische  
Studien“ . Saur  
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 =  
 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ -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**

**Wassertemperaturdaten 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-**

**Messfehle**

**r  
n  
i  
e  
m  
a  
l  
s  
  
e  
r  
w  
ä  
h  
n  
t  
  
w  
o  
r  
d  
e  
n  
  
b  
e  
i  
 d  
e  
r  
  
B  
e  
r  
i  
c  
h  
t  
e  
r  
  
s  
t  
a  
t  
t  
u  
n  
g**

**bzgl.**

**Ursprung,**

**Bewertung**

**und**

**Berechnun**

**g der**

**globalen  
mittleren  
Lufttempe-  
ratur.**

**Auch in  
Fehlern**

**lysen**

**hatten**

**sie**

**niemals**

**Eingang**

**gefunden**

**(15, 16,  
39 bis  
46).**

**Selbst  
nach der  
Nennung**

**systemati  
scher  
Fehler in  
der  
veröffent  
lichten**

**Literatur**

**in**

**letzter**

**Zeit wird**

**jedoch**

**das**

**Central**

**Limit**

**Theorem**

**herangezogen**

**um**

**abzuschätzen**

**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  
eliminiert  
werden  
durch**

**Mittelung  
multipler  
Messungen  
; selbst  
wenn  
diese**

**Messungen  
millionen  
fach  
durchgeföhrt  
werden .**

**Eine  
vollständig  
ige  
Inventur  
der  
Beiträge**

**zur**

**Unsicherheit**

**in**

**den**

**Aufzeichnungen**

**ungen der**

**Lufttempe  
ratur**

**muss den**

**systemati  
schen**

**Messfehle**

**r des  
Temperatu  
rsensors  
selbst  
enthalten  
;**

**tatsächlich  
ich 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  
Fehlers.  
Der***

***Unsicherheit des  
systematischen  
Fehlers  
sollten***

***Grenzen  
gesetzt  
werden.***

***Sie  
sollten  
den***

***Zufallsfe***

***hlern***

***hinzugefü***

***gt***

***werden,***

***um die***

***Gesamt -  
Unsicherheit  
zu  
ermitteln  
. Solange  
jedoch***

***die  
Unsicherheit  
des  
systematischen  
Fehlers***

***nicht in  
Wahrscheinlichkeits-  
s-Termen  
ausgedrückt und***

***geeignet  
mit dem  
Zufallsfe  
hler  
kombinier  
t 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  
der  
globalen  
mittleren  
Temperatu  
r brach.**

**Systematische  
Sensorfehler bei  
Messungen der Luft-**

**und  
Wassertem  
peratur  
waren  
beklagens  
wert**

**gering  
geachtet  
worden,  
und es  
gab nur  
sehr**

wenige

Feld-

Kalibrier

ungen.

Nichtsdes

totrotz

**wird aus**

**den**

**berichtet**

**en Fällen**

**klar,**

**dass die**

**Aufzeichnung  
der  
Lufttempe-  
ratur  
kontamini-  
ert ist**

**mit einem**

**sehr**

**signifika**

**nten**

**Niveau**

**systemati**

**scher**

**Messfehler**

**r. Die**

**Nicht-**

**Normalität**

**t**

**systemati  
scher  
Fehler  
bedeutet,  
dass die  
Subtrakti**

on eines  
mittleren  
Bias' die  
Messungen  
auigkeit  
des

**globalen  
Temperatu  
rmittels  
nicht  
beseitige  
n wird.**

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

**Fehlerbia  
s' der  
Messungen  
von Luft-  
und  
Wasserten**

**peratur**

**offensichtlich**

**lich**

**genauso**

**räumlich**

**und**

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

**abweichung  
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  
Differenzen  
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 -  
Mehrdeuti  
gkeit des  
verbleibe  
nden  
mittleren**

**Bias ' hinterlas  
sen. In  
jeder  
vollständig  
igen**

**Fehler-  
Evaluierung  
wird  
die  
verbleibe  
nde**

**Unsicherheit des  
mittleren  
Bias' mit  
der 1s-  
Standarda**

**abweichung**

**der**

**Messunsic**

**herheit**

**zur**

**Gesamt -**

**Unsicherheit  
verschmelzen.**

**Eine**

**vollständig  
ige  
Evaluierung  
systematischer**

**Fehler**

**liegt**

**jenseits**

**dieser**

**Analyse.**

**Allerdings**

**s kann  
ein Satz  
geschätzt  
er  
Unsicherh  
eits -**

**Balken  
infolge  
des  
systemati-  
schen  
Fehlers**

**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  
g 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.**

**Quadriert**

**bildet**

**die**

**Kombinati  
on von  
Eimer-  
und  
Kühlwasser-  
messungen**

**n die**

**SST-**

**Unsicherh**

**eit vor**

**1990. Im**

**gleichen**

**Zeitinter  
vall  
bildete  
der  
systemati  
sche**

**Fehler**

**der**

**PRT / CRS -**

**Sensoren**

**( 39 , 40 )**

**die**

**Unsicherheit  
der  
Festlands  
-  
Temperaturen.**

**Treibboje**

**n**

**leisteteten**

**einen**

**teilweise**

**n Beitrag**

**(0, 25) zu  
der  
Unsicherheit  
beit bei  
der  
Wasserten**

**peratur  
zwischen  
1980 und  
1990.  
Nach 1990  
wurde die**

**Fehlerband  
breite  
weiterhin  
stetig  
reduziert  
, was den**

**zunehmend**

**en**

**Beitrag**

**und die**

**kleineren**

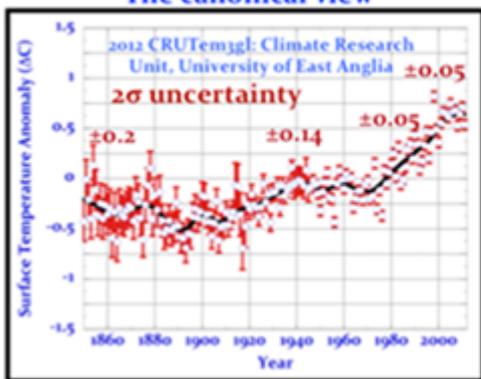
**Fehler**

**der MMTS  
(Festland  
) und  
Treibboje  
n  
(Wasserob**

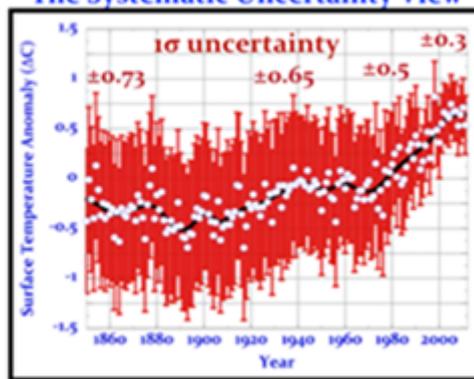
# erfläche) reflektie rt.

## Uncertainty and the global air temperature record

### The canonical view



### The Systematic Uncertainty View



### Lower Limit Estimate

<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/crutem3gl.txt>  
C. P. Morice, et al. (2012) J. Geophys. Res. 117(D8), Do8101

**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***

***Beschreibung***

***ung auf***

*der CRU-  
Website.*

*Rechts:*

*Fehlerban*

*dbreite*

*der*

***Unsicherheit***

***aufgrund***

***geschätzter***

***er***

***systematis***

***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),  
jedemfall**

**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-**

**Diskussion  
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  
Kühlwasse  
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  
Messgrenz  
en der  
Instrumen  
te-  
Klassen**

**gestattet  
uns die  
Abschätzung  
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**

**verglische**

**n mit der**

**$\pm 2s$  -**

**Unsicherh**

**eit in**

**der**

**veröffent**

**lichten**

**Temperatu**

**r-**

**Zusammen  
tellung**

**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**

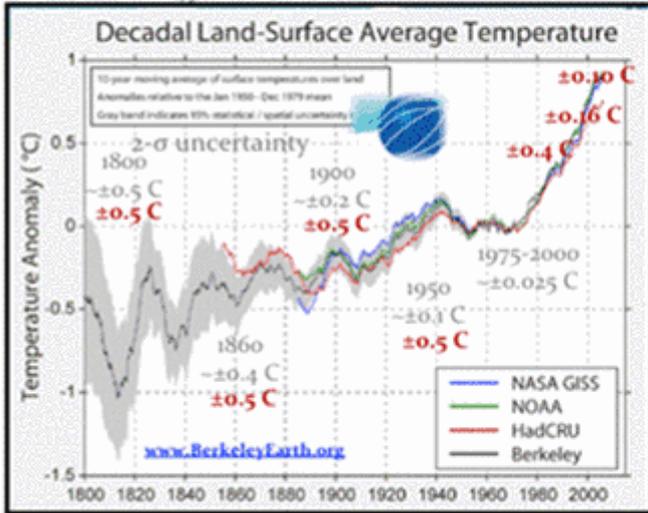
**aufweisen**

**■**

## 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  $1\sigma$  Resolution:  $\pm 0.02$  C

### $1\sigma$ Instrumental Resolution

18<sup>th</sup> Century Min-Max:  $\pm 0.25$  C

19<sup>th</sup> Century Land:  $\pm 0.25$  C

19<sup>th</sup> Century SST:  $\pm 0.25$  C

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

Land and SST LiG thermometers

Smallest division: 1 C

Resolution limit:  $\pm 0.25$  C

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

Land and SST LiG thermometers

Smallest division: 0.5 C

Resolution limit:  $\pm 0.125$  C

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

MMTS PRT:  $\pm 0.1$  C

Buoy Thermister:  $\pm 0.002$  C

Entire 20<sup>th</sup> Century

Ship Engine Intake Thermometers

Smallest division: 1 C

Resolution limit:  $\pm 0.25$  C

# Abbildung 13: *Der Trend der*

***globalen  
gemittelt  
en***

***Lufttempe  
ratur von  
Berkeley***

***Earth mit***

***den***

***veröffent***

***lichten***

***±2s -***

***Unsicherh***

***eitsgrenz***

***en in***

***grau. Die***

***zeitliche***

***±2s -***

***Auflösung***

***ist rot  
eingezeichnet  
hnet.***

***Rechts  
findet***

***sich eine***

***Zusammen  
teilung  
der best  
resolution  
n limits  
in blau***

*der  
historisc  
hen  
Temperatu  
rsensoren  
, aus*

***denen die  
globalen  
Auflösung  
s-Limits  
berechnet  
worden***

***sind.***

**Die**

**global**

**kombinier**

**te**

**instrumentelle**

**Auflösung**

**wurde mit**

**den**

**gleichen**

**Teilbeitr  
ägen  
berechnet  
wie die  
oben  
genannte**

**Abschätzung  
des  
unteren  
Limits  
des  
systemati**

**schen**

**Messfehler**

**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  
lichten**

**globalen  
Unsicherh  
eits -  
Limits  
von im  
Feld**

**gemessene**

**n**

**meteorolo**

**gischen**

**Temperatu**

**ren**

**gleich  
sind der  
Messungen  
unter  
bestmögliche  
chen**

**Labordienleistungen.**

**Nach etwa  
1860 bis  
zum Jahr**

**2000 ist**

**die**

**veröffent**

**lichte**

**Auflösung**

**kleiner**

**als die  
Auflösung  
s-Limits  
der  
Instrumente  
te**

**selbst.**

**Seit**

**mindesten**

**s 1860**

**wurde die**

**Genauigke**

**it aus**

**dünnere**

**Luft**

**hervorgez**

**aubert.**

**Findet  
irgendjemand  
die**

**veröff  
entlicht  
Unsicher**

**heiten**

**gläubwür**

**dig?**

**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**

**Aufzeichnungen  
zusammens  
stellen,  
haben ein  
experiment**

**telles**

**Limit**

**stiefmutter**

**erlich**

**behandelt**

**, das**

**sogar**

**noch**

**grundlege**

**nder ist**

**als**

**systemati**

**sche**

**Messfehler**

**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**

**Instrument**

**t selbst**

**legen**

**niedriger**

**e Grenzen**

**der**

**Unsicherheit**

**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  
durchgeföhrt  
oder  
sich  
jemałs  
mit einem**

**Instrumenten**

**t**

**abgemüht**

**hätte. Es**

**gibt**

**keine**

**andere  
rationale  
Erklärung  
für diese  
Missachtung  
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 niemals,  
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**

**Streitere**

**ien über**

**das**

**Unausspre**

**chliche.**

**Es sind**

**nach den**

**Worten**

**von**

**William**

**F.**

**Buckley**

**„Langweil**

**ige**

**Spekulati**

**onen 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.**

**Danksagung**

**gen : Ich**

**danke**

**Prof.**

**Hendrik**

**Huwald**

**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  
Abbildungen  
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-**

**methyl for**

**amide**

**solution.**

**J. Biol.**

**Inorg .**

**Chem . ,**

**2005 .**

**10 ( 4 ) : p .**

**373 - 382 .**

**[4]**

**Hinkley,**

**N., et**

**al., An**

**Atomic**

**Clock**

**with**

**10 - 18**

**Instabili**

**ty.**

**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.**

**Brandtsma,**

**Thermomet**

**er screen**

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

**I:**

**Understan  
ding 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  
Instrumen  
ts 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  
s during  
the  
twentieth  
century:**

**Part 2 ,  
implicati  
ons 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://www  
w.cru.uea](http://www.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**

**Effective**

**ness 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  
Temperature  
Measurement**

**nt.**

**Ecology,**

**1965.**

**46 (4) : p.**

**533 - 538.**

**[20]  
Rüedi,  
I., WMO  
Guide to  
Meteorolo  
gical**

**Instrument  
s 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.**

**Challenor**

**, Toward**

# Estimating g Climatic Trends in SST. Part II:

**Random  
Errors.  
Journal  
of  
Atmospher  
ic and**

**Oceanic  
Technology  
y, 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  
Geophysical  
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  
measurements. 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.**

**Brönnimän**

**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**

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

**Review,**

**1984.**

**112 (2) :**

**p.**

**303 - 312.**

**[33]**

**Anderson,**

**E.R.,**

**Expendabl**

**e**

**bathyt**

**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  
Bathyt  
mograph  
1952,  
National  
Scientifi**

**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.**

**[36]**

**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**