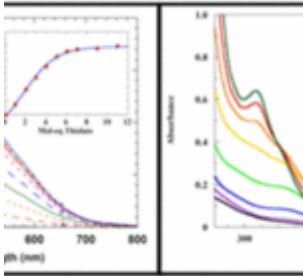


Systematischer Fehler bei Klimamessungen: Die Aufzeichnung der Lufttemperatur an der Erdoberfläche



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 Beispiellosigkeit 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):

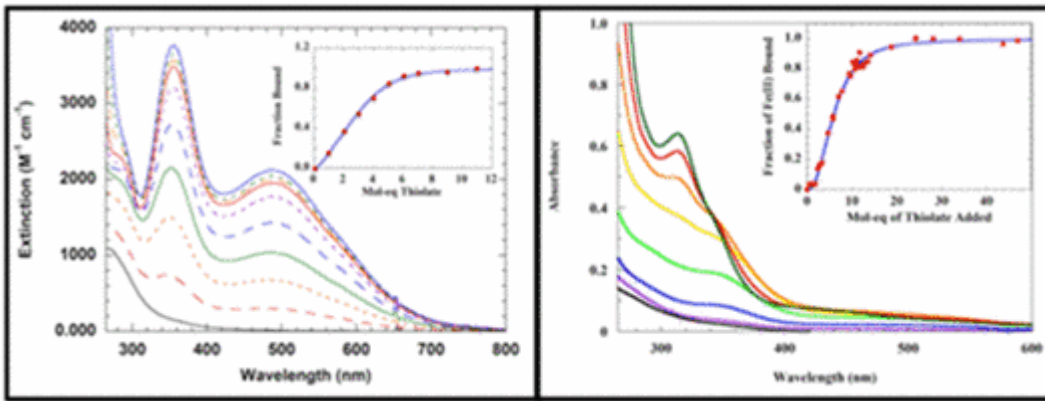


Abbildung 1: Links: Titration gelösten Eisens [ferrous iron] unter Bedingungen, die ungeplant eine Spur Luft in das Experiment gelangen lassen. Kleine Graphik darin: Die inkorrekten Daten folgen präzise der Gleichgewichts-Thermodynamik. Rechts: das gleiche Experiment, aber mit einer angemessen strikten 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).

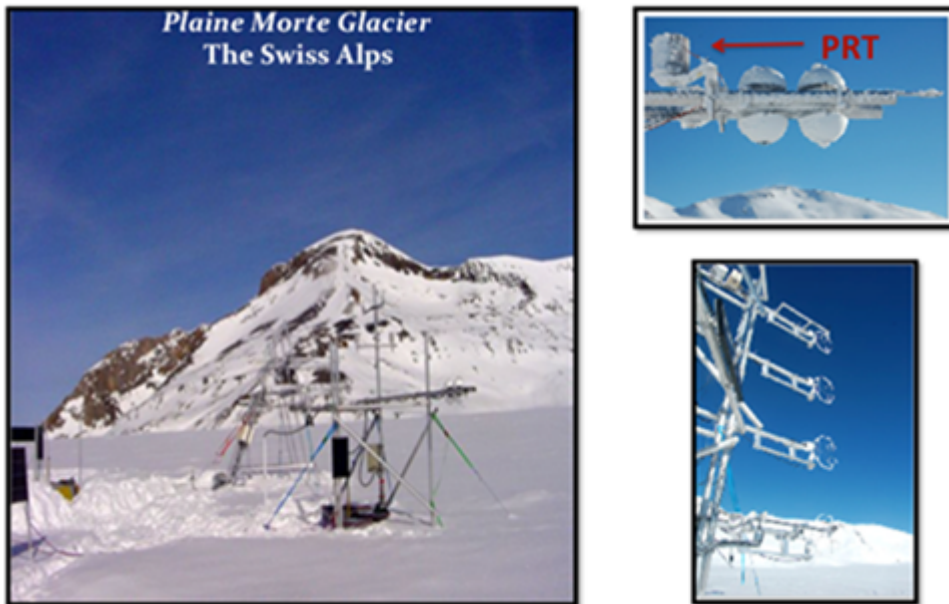


Abbildung 3: Der Plaine Morte Glacier in der Schweiz. Hier wird gezeigt, wie das Experiment der Kalibrierung des Lufttemperatur-Sensors von Huwald et al. während der Jahre 2007 und 2008 durchgeführt worden ist (12).

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.

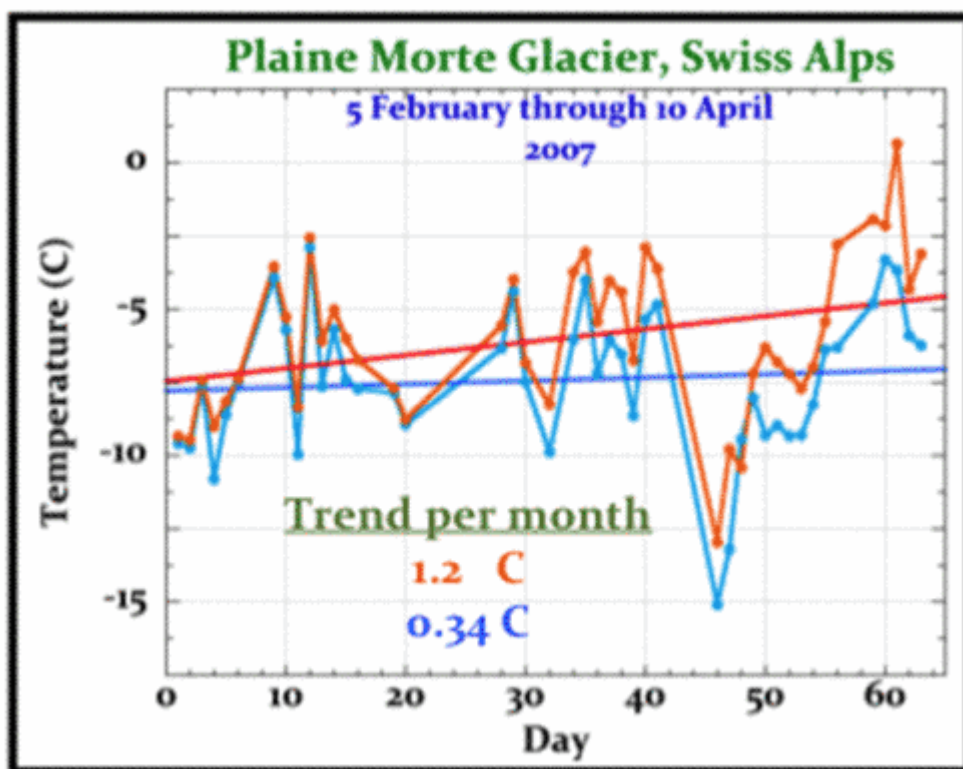


Abbildung 4: *Gleichzeitig aufgezeichnete Temperaturtrends auf dem Plaine Morte-Gletscher von Februar bis April 2007. ($\frac{3}{4}$), Sonic anemometer, and; ($\frac{3}{4}$), RM Young PRT probe.*

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.

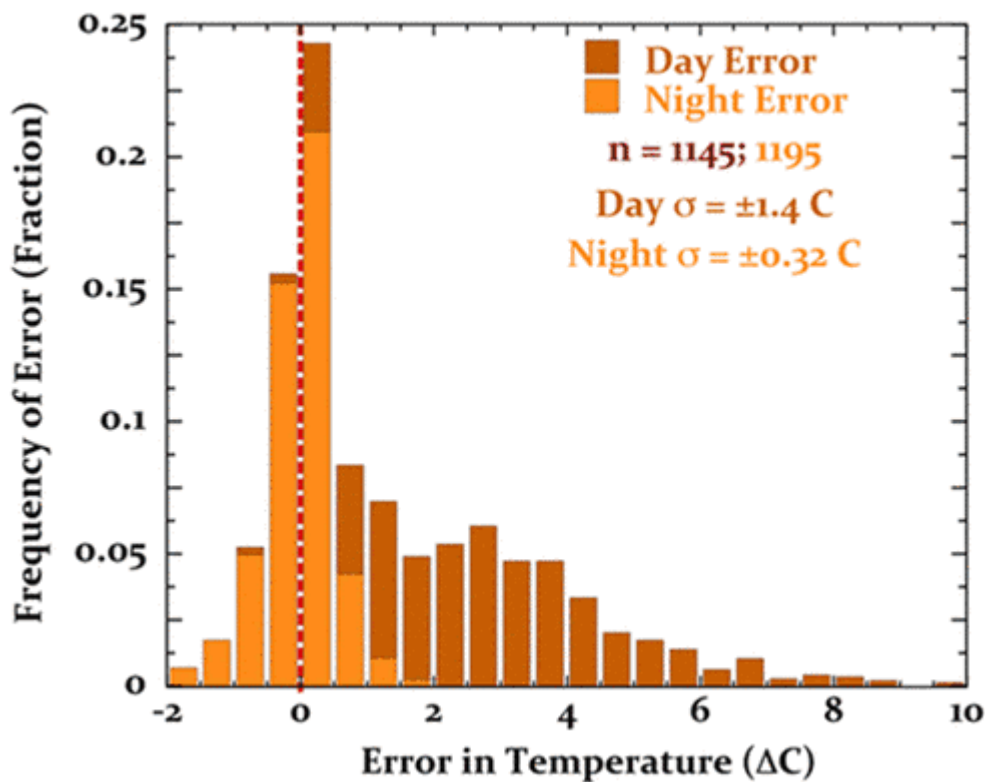


Abbildung 5: Systematischer Fehler von RM Young auf dem Plaine Morte-Gletscher. Der Fehler tagsüber beträgt $2.0^{\circ}C \pm 1.4^{\circ}C$, der Fehler nachts $0.03^{\circ}C \pm 0.32^{\circ}C$.

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

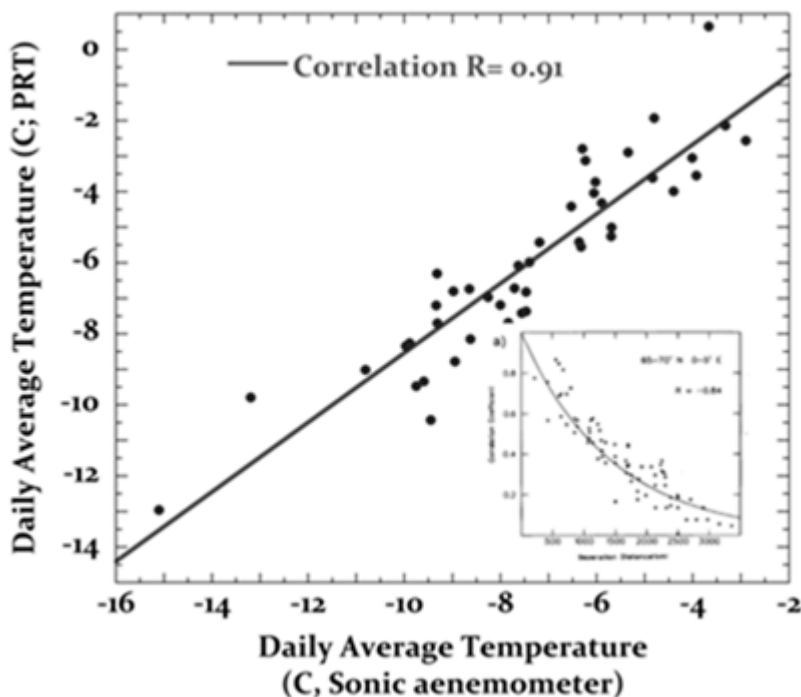


Abbildung 6: *Korrelation der RM Young-*

Temperaturmessungen mit jenen des Schall-Anemometers. Eingebettet: Abbildung 1a aus (14), die Korrelationen von Temperaturaufzeichnungen zeigt von meteorologischen Stationen im terrestrischen Netz 65° bis 70° N, 0° bis 5° 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 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.

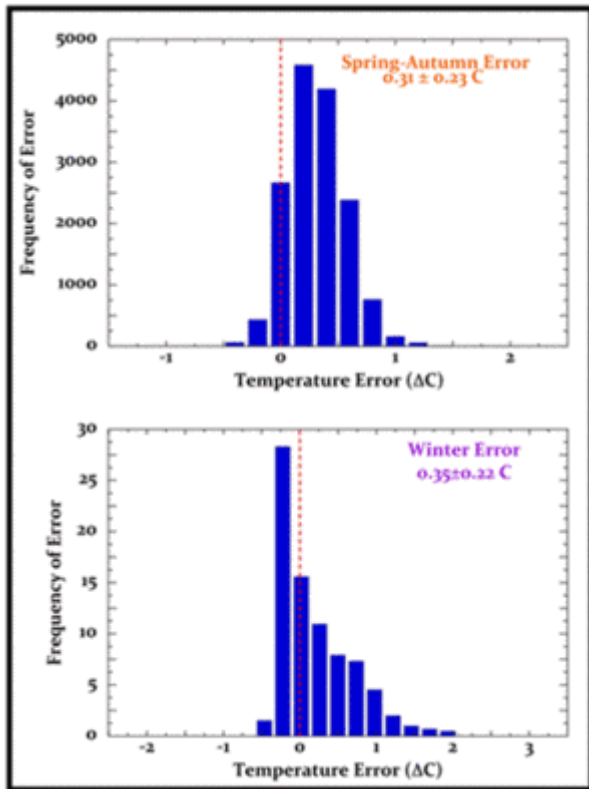


Abbildung 8: Mittlerer systematischer Messfehler eines HMP45C-Sensors innerhalb eines MMTS über einer Gras-Oberfläche (oben) und einer schneebedeckten Oberfläche (unten) (10, 11).

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).

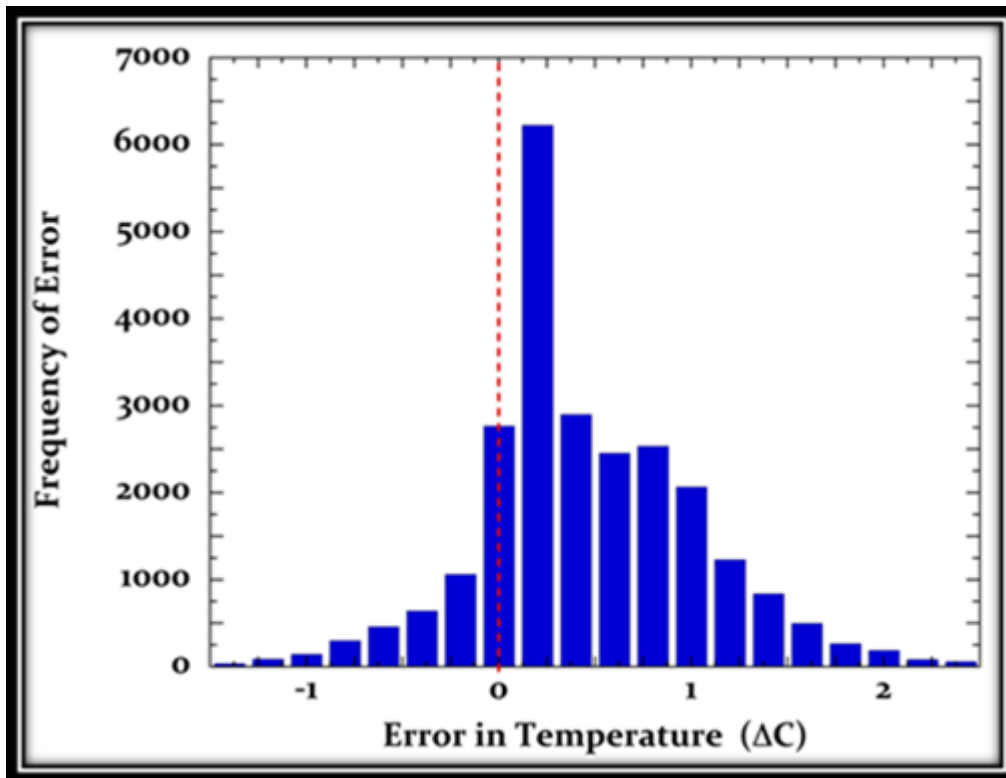


Abbildung 9: *der mittlere systematische Tag-Nacht-Messfehler, erzeugt von einer PRT-Temperaturstichprobe innerhalb einer traditionellen CRS-Hütte.*

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

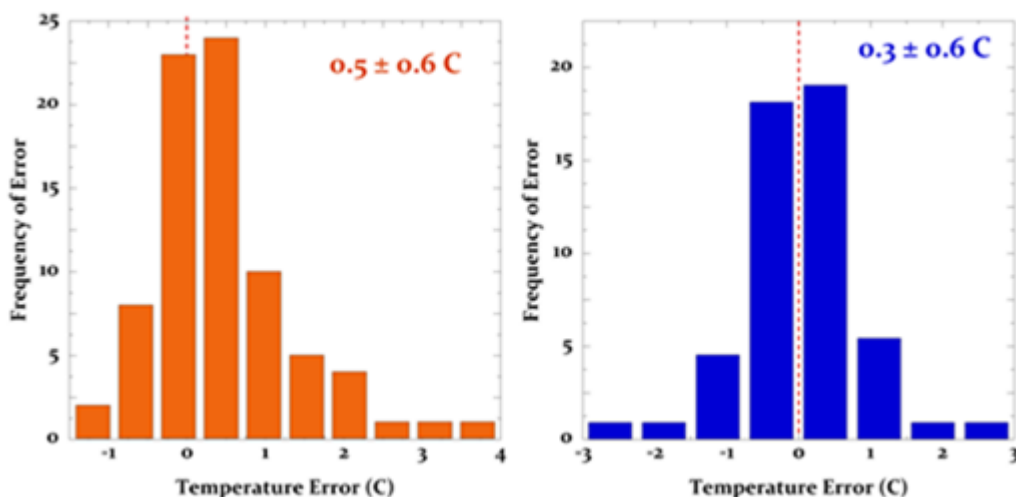
**Wassertemperatur
Anfang und Mitte
des 20.
Jahrhunderts. Auf
Fest- und
Treibbojen
montierte Sensoren
kamen seit etwa
1980 immer stärker
zum Einsatz.
Inzwischen
dominieren sie die**

**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.

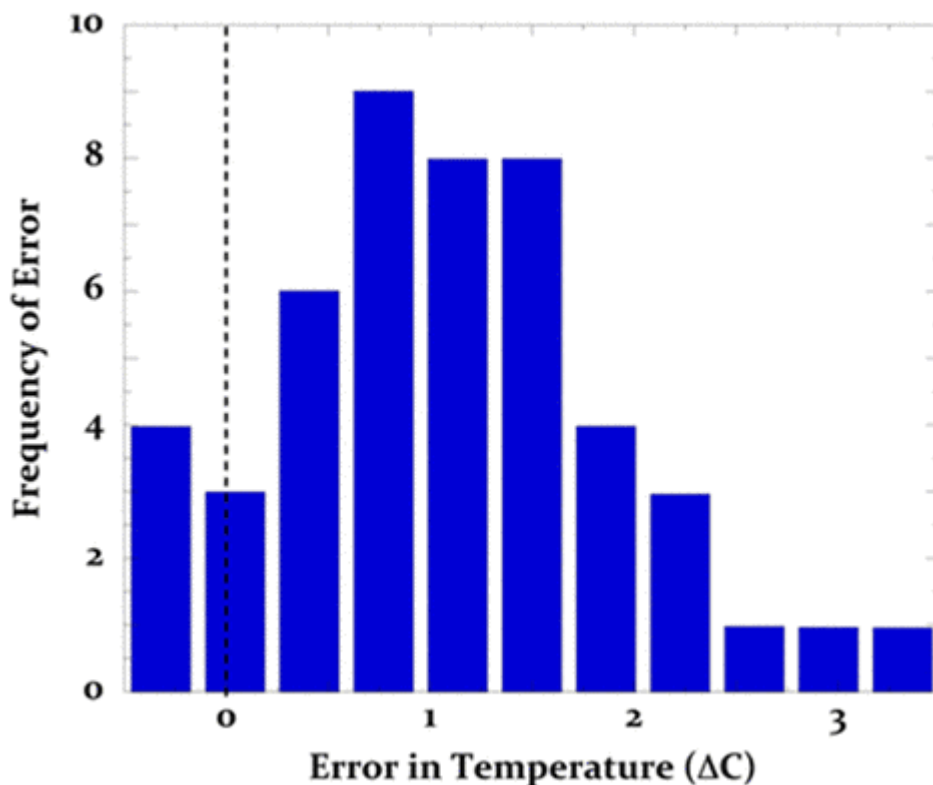


Abbildung 11:

***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

Fehlerana

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
durchgefö
hrt
werden .**

**Eine
vollständig
ige
Inventur
der
Beiträge**

zur

Unsicherh

eit in

den

Aufzeichn

ungen der

**Lufttempe
ratur**

muss den

**systemati
schen**

Messfehler

**r des
Temperatu
rsensors
selbst
enthalten
;**

**tatsächlich
ich muss
sie damit
beginnen
(39) .**

**Die WHO
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 –

zusätzlich

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

offensich

tlich

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.

Quadrant

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**

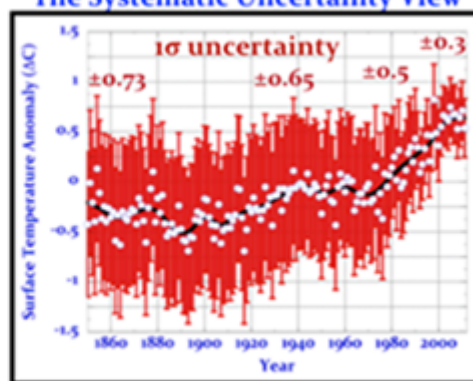
erfläche) reflektie rt.

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

wahrschei

nlichster

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
Kühlwasser
s 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

vergleiche

n mit der

$\pm 2s$ -

Unsicherheit

eit in

der

veröffent

lichten

Temperatu

r-

**Zusammen
teilung**

von

Berkeley

Earth.

Die

Analyse

lässt

sich

genauso

gut

anwenden

**auf die
veröffent
lichten
Temperatu
rreihen
vom GISS**

oder der
CRU/UKMet
, welche
die
gleichen
Unsicherh

eitsgrenz

en

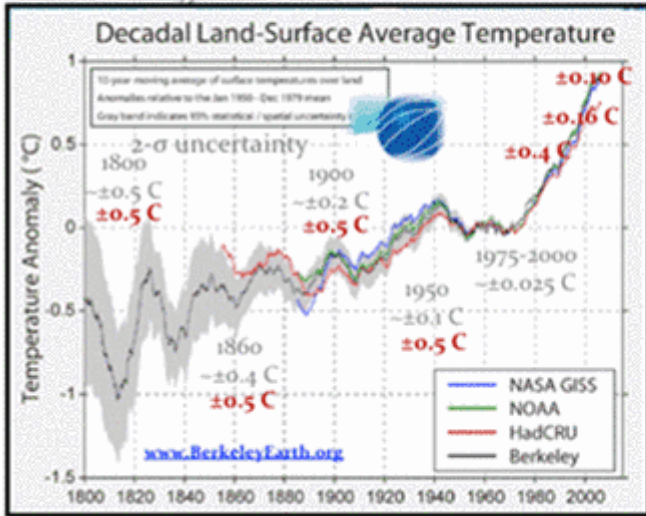
aufweisen

■

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

18th Century Min-Max: ± 0.25 C

19th Century Land: ± 0.25 C

19th Century SST: ± 0.25 C

20th Century (Early-Mid)

Land and SST LiG thermometers

Smallest division: 1 C

Resolution limit: ± 0.25 C

20th Century (Mid-Late)

Land and SST LiG thermometers

Smallest division: 0.5 C

Resolution limit: ± 0.125 C

20th Century (Late)

MMTS PRT: ± 0.1 C

Buoy Thermister: ± 0.002 C

Entire 20th 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 -

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
bestmögli
chen**

**Labordien-
leistungen.**

**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

niedrigerer

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

experimenten

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
Climatology,
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/cru/info/warming/](http://www.crim.ac.uk/cru/info/warming/)

[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
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.

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
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.

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 her

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
Atlas
1952,
National
Scientific**

**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
temperatu
re 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**

**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**