

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

geschrieben von Pat Frank | 26. April 2016

Es war eine sehr interessante Konferenz, und als Neben aspekt 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 Beispiellostigkeit ist spekulative Theologie.

1. Einführung: Systematischer Fehler

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

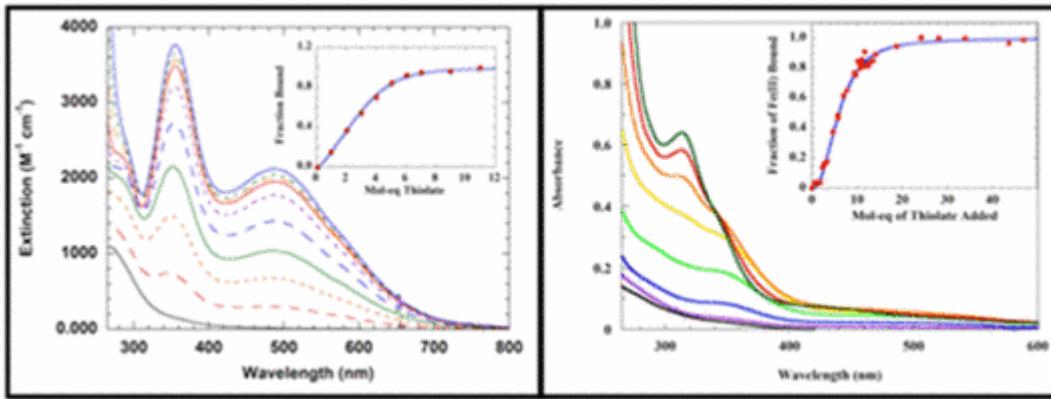


Abbildung 1: Links: Titration gelösten Eisens [ferrous iron] unter Bedingungen, die ungeplant eine Spur Luft in das Experiment gelangen lassen. Kleine Graphik darin: Die inkorrekten Daten folgen präzise der Gleichgewichts-Thermodynamik. Rechts: das gleiche Experiment, aber mit einer angemessenen strikten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

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

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

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

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

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

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

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

2. Systematische Fehler bei Temperaturmessungen

2.1 Lufttemperatur auf dem Festland

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

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

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

m/s liegt (9, 11).

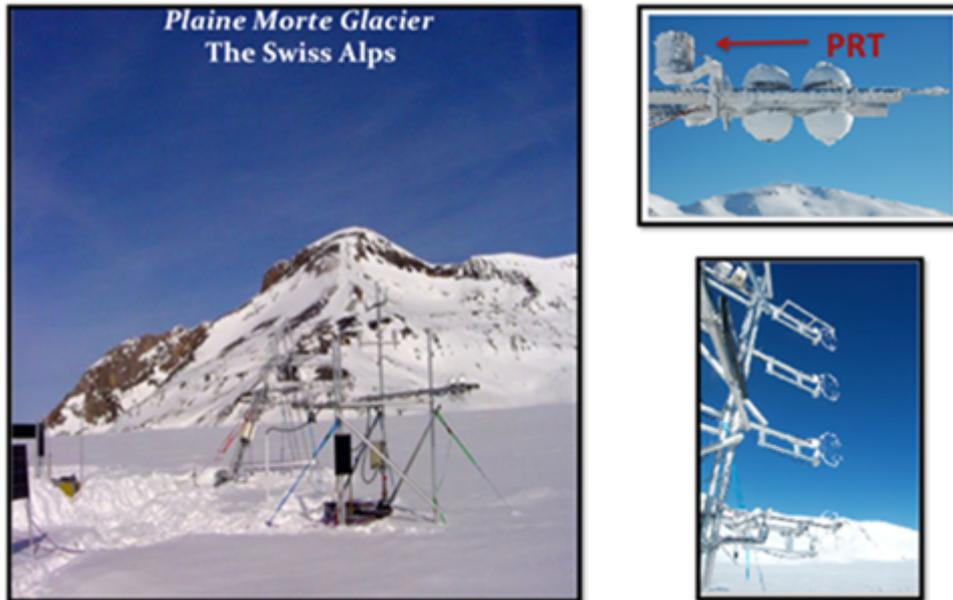


Abbildung 3: *Der Plaine Morte Glacier in der Schweiz. Hier wird gezeigt, wie das Experiment der Kalibrierung des Lufttemperatur-Sensors von Huwald et al. während der Jahre 2007 und 2008 durchgeführt worden ist (12). Eingebettet: Nahaufnahmen der PRT und Schall-Anemometer-Sensoren. Bild: Bou-Zeid, Martinet,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

Bei den während der Jahre 2007 und 2008 durchgeführten Kalibrierungs-

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

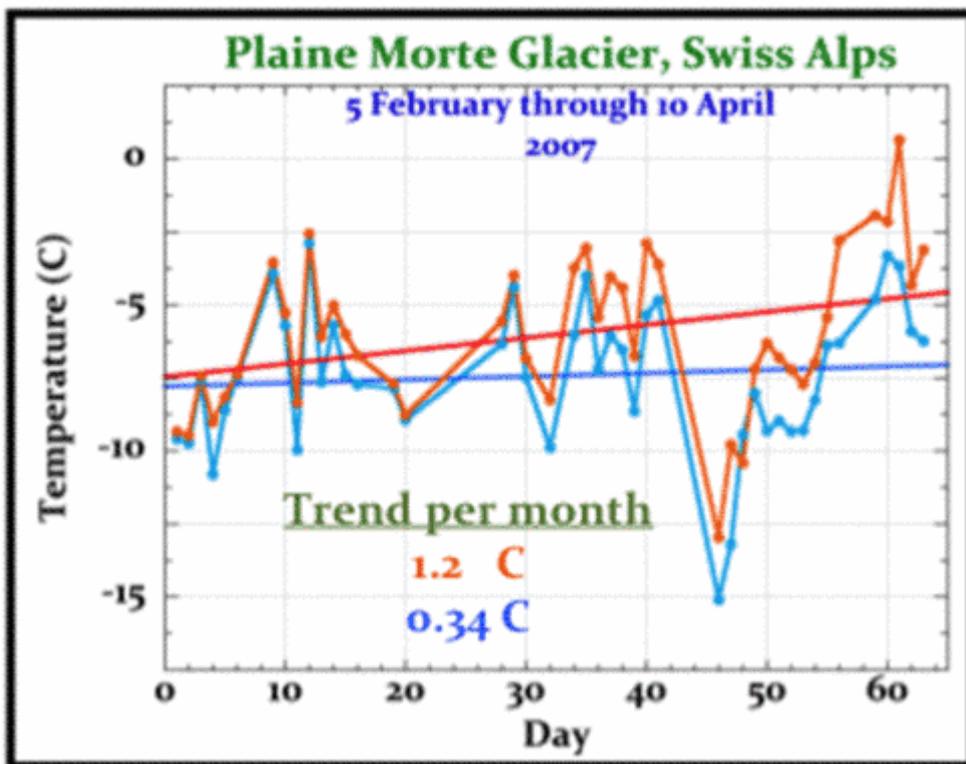


Abbildung 4: *Gleichzeitig aufgezeichnete Temperaturtrends auf dem Plaine Morte-Gletscher von Februar bis April 2007. ($\frac{3}{4}$), Sonic anemometer, and; ($\frac{3}{4}$), RM Young PRT probe.*

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

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

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

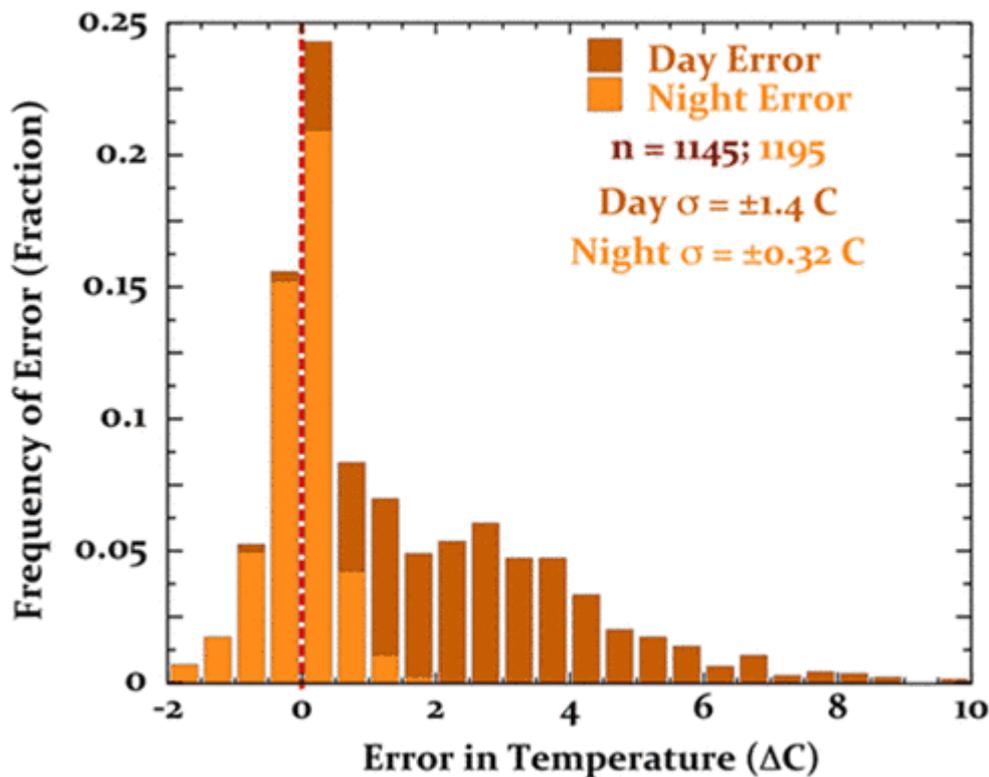


Abbildung 5: Systematischer Fehler von RM Young auf dem Plaine Morte-Gletscher. Der Fehler tagsüber beträgt $2.0^{\circ}\text{C} \pm 1.4^{\circ}\text{C}$, der Fehler nachts $0.03^{\circ}\text{C} \pm 0.32^{\circ}\text{C}$.

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

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

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

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

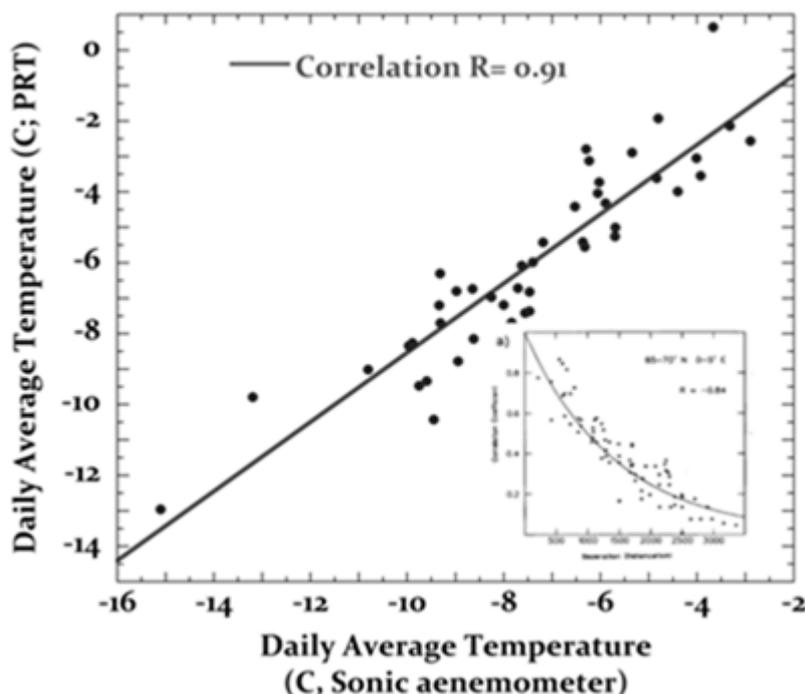


Abbildung 6: Korrelation der RM

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.

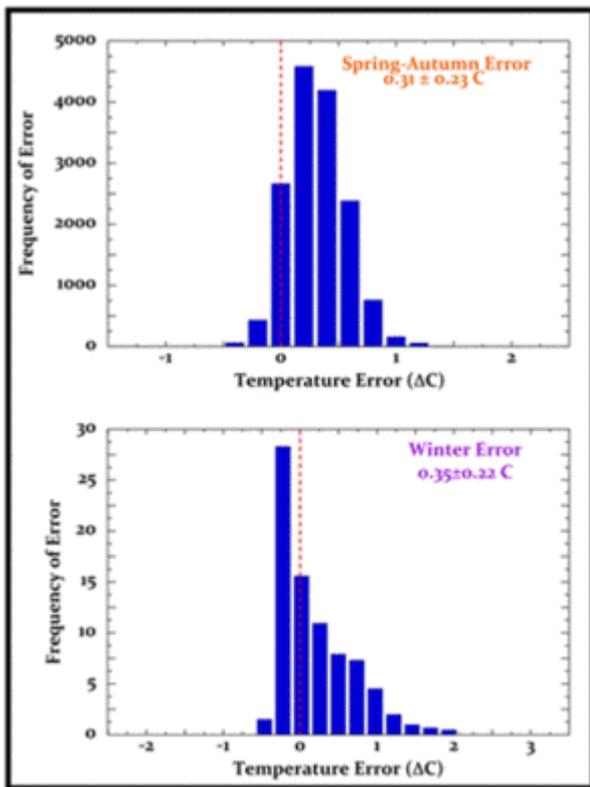


Abbildung 8: Mittlerer systematischer Messfehler eines HMP45C-Sensors innerhalb eines MMTS über einer Gras-Oberfläche (oben) und einer schneebedeckten Oberfläche (unten) (10, 11).

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).

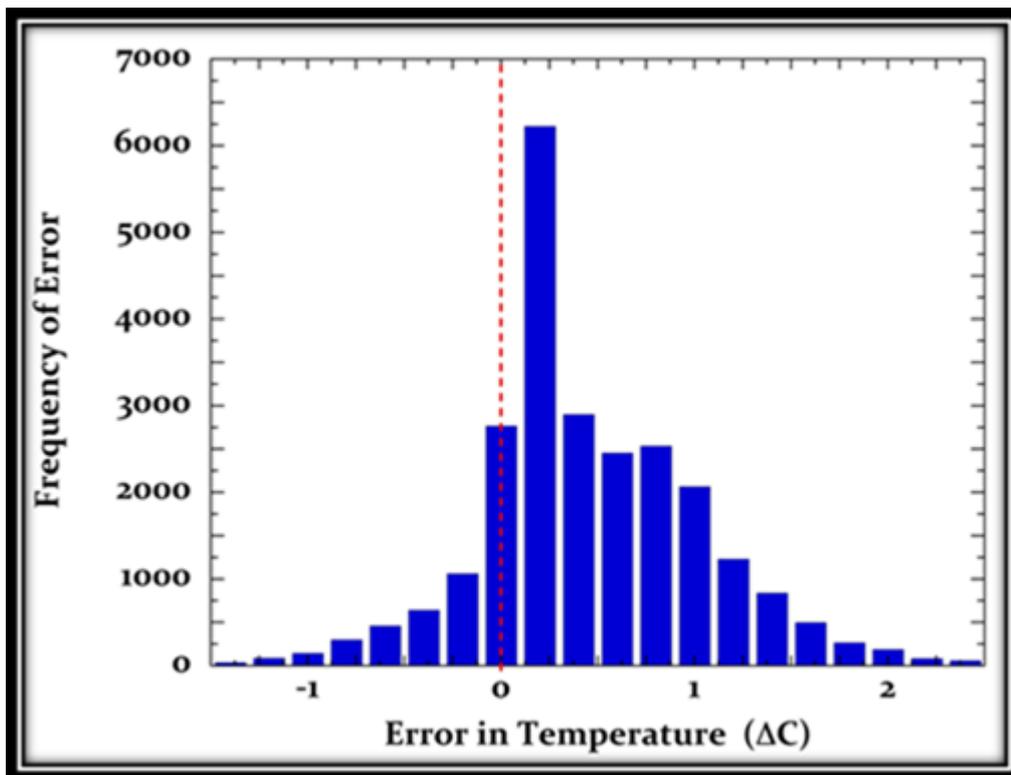


Abbildung 9: *der mittlere systematische Tag-Nacht-Messfehler, erzeugt von einer PRT-Temperaturstichprobe innerhalb einer traditionellen CRS-Hütte.*

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

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

2.2

Wassertemperatur

Obwohl erhebliche

Bemühungen

aufgewendet

wurden, um die

Wassertemperaturen

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

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

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

**Jahrhunderts. Auf
Fest- und
Treibbojen
montierte Sensoren
kamen seit etwa
1980 immer stärker
zum Einsatz.**

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

Die von Charles

**Brooks im Jahre
1926**

durchgeführten

Reihen-Experimente

sind bei weitem

die umfassendsten

Feld-

Kalibrierungen von

Messungen der

Wassertemperatur

mit Eimern und im

Kühlwasser von

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

Brooks gefunden hatte.

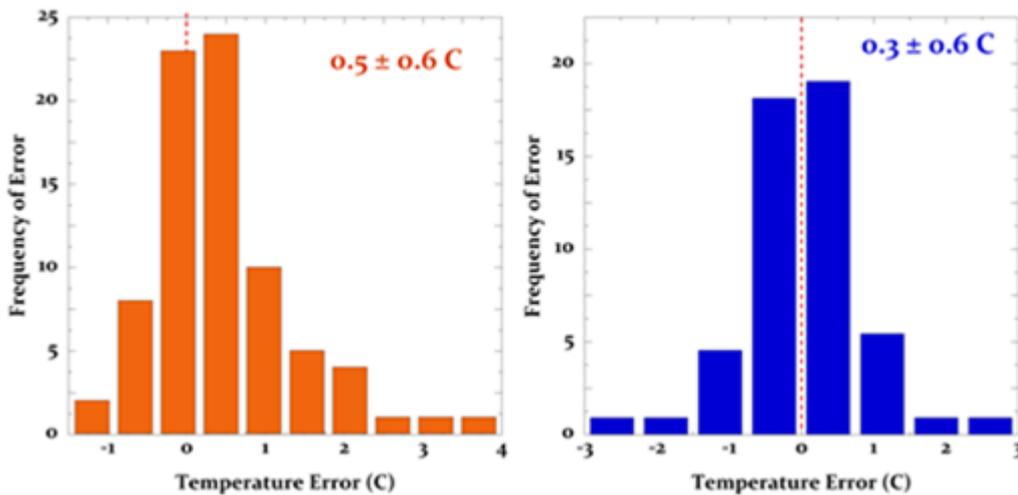


Abbildung 10:
*Systematischer
Messfehler in
einem Satz von
Messungen der*

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

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

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

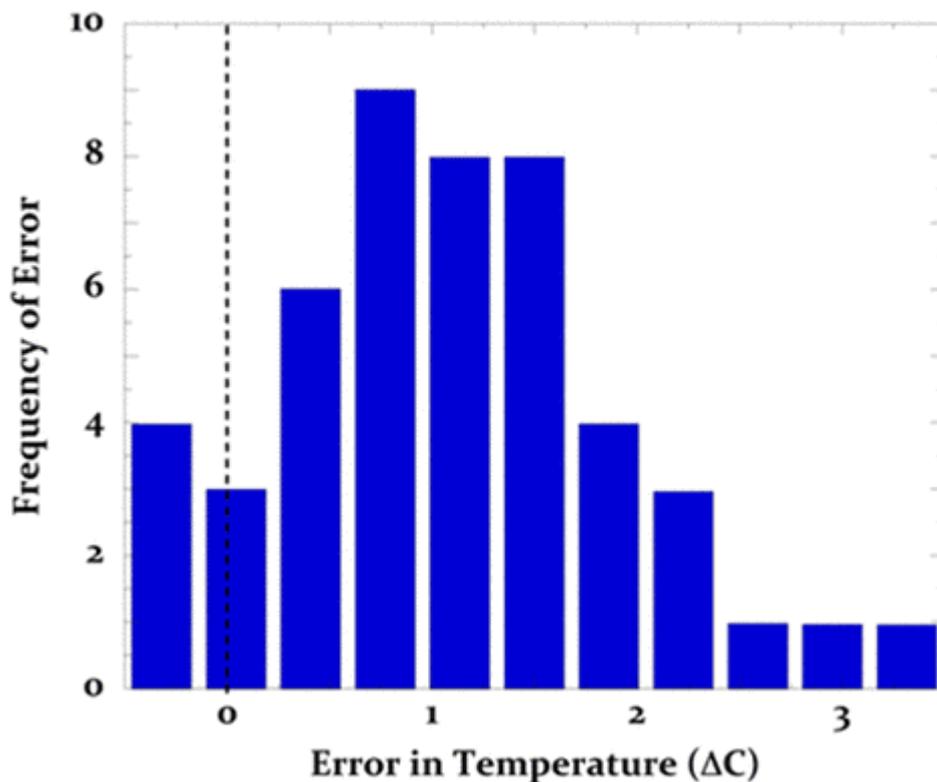
**an Bord. Die
einfachste
Erklärung hierfür
ist, dass die
Sorgfalt schwand,
vielleicht zurück
zum Normalen, wenn
niemand schaute.
Dieses Ergebnis
verletzt die
Standard-
Hypothese, dass**

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

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

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

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



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

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

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

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

**genannten Werten
in Abbildung 10.**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Allerdings hat

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

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

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

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

normal.

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

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

**Satellitendaten
(38).**

3. Diskussion

Bis vor

Kurzem

(39, 40)

waren

systemati

sche

Temperatu

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

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

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

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

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

nach der
Nennung
systemati-
scher
Fehler in
der

veröffent

lichen

Literatur

in

letzter

Zeit wird

jedoch

das

Central

Limit

Theorem

herangezogen

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

mitteln

(36) .

Allerdings

s sind

systemati

sche

**Temperatu
rsensor-
Fehler
weder
zufällig
verteilt**

noch

zeitlich,

räumlich

oder von

Instrumenten

zu

Instrument

t

konstant.

Es gibt

keinen

theoretis

chen

Grund zu

erwarten,

dass

diese

Fehler

dem

Central

Limit

Theorem

folgen

(47, 48)

oder dass

solche

Fehler

reduziert

oder

eliminier

t werden

durch

Mittelung

multipler

Messungen

; selbst

wenn

diese

Messungen

millionen

fach

durchgefü

hrt

werden .

Eine

vollständ

ige

Inventur

der

Beiträge

zur

Unsicherh

eit in

den

**Aufzeichnungen der
Lufttemperatur
muss den
systemati**

schen

Messfehler

r des

Temperatu

rsensors

selbst

enthalten

;

tatsächlich

ch muss

sie damit

beginnen

(39) .

Die WMO

bietet

nützliche

Ratschläg

e an

hinsichtl

ich

systemati

scher

Fehler

**(20) . Es
heißt
dort in
Abschnitt**

1.6.4.2.3

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

Bemerkung

en :

In der

Praxis

enthalten

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

Fehler.

In jedem

Falle

muss der

gemessene

mittlere

Wert um

den

systemati

schen

Fehler

korrigier

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

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

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

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

schen

Fehler.

Der

Unsicherheit

des

systemati

schen

Fehlern

sollten

Grenzen

gesetzt

werden.

Sie

sollten

den

Zufallsfe

hlern

hinzugefü

gt

werden,

um die

Gesamt-

Unsicherh

eit zu

ermitteln
. Solange
jedoch
die
Unsicherheit
des

***systemati
schen***

Fehler

nicht in

Wahrschei

nlichkeit

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

hler

kombiniert

werden

kann, ist

das

Vertrauen

sniveau

unbekannt

. Es ist

daher

wünschens

wert,

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

*bestimmt
wird.*

**Bei der
Erstellung
der**

**globalen
mittleren
Lufttempe-
ratur
Lagen
Angaben**

der WMO

bisher

bei der

Erstellung

g der

globalen

**mittleren
Temperatu
r brach .**

**Systemati
sche**

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

peratur

waren

beklagens

wert

gering

geachtet

**w o r d e n ,
u n d e s
g a b n u r
s e h r
w e n i g e
F e l d -**

**Kalibrier
ungen.**

Nichtsdes

totrotz

wird aus

den

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

**Lufttempe
ratur**

**kontamini
ert ist**

**mit einem
sehr**

**signifika
nten**

Niveau

**systemati
scher**

Messfehle

r. Die

Nicht-

Normalität

t

systemati

scher

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

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

**ermittelt
nicht
beseitige
n wird.**

Außerdem

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

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

offensichtlich

genauso

räumlich

und

zeitlich

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

der

systemati

schen

Unsicherh

eit über

den

mittleren

Fehlerbia

s. Das

heißt,

der

mittlere

**systemati
sche**

Fehlerbia

s über

Schnee

auf dem

Plaine

Morte-

Gletscher

betrug

2°C,

jedoch

nur 0,4°C

über

Schnee in

Lincoln,

Nebraska.

Ähnliche

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

**Fehlermit
telwert**

von

Kühlwasse

r

gemeldet .

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

einen

geschätzt

en Betrag

immer die

Größenord

nungs -

**Mehrdeuti
gkeit des
verbleibe
nden
mittleren
Bias'**

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

**Evaluierung
wird
die
verbleibende
Unsicherheit**

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

der

Messunsic

herheit

zur

Gesamt -

Unsicherh

eit

verschmel

zen.

Eine

vollständig

ige

Evaluieru

ng

systemati

scher

Fehler

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

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

infolge

des

systemati

schen

Fehlers

in der

**Aufzeichnung
der
globalen
mittleren
Lufttempe-
ratur**

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

oben

beschrieb

enen

Fehler

repräsent

ativ sind

(Abbildung 12).

**Die
Unsicherh
eits-**

Bandbreite

e in

Abbildung

12

(rechts)

reflektie

**rt ein
Verhältni
s
systemati
scher
Fehler**

**zwischen
Wasser-
und
Festlands
-
Temperatu**

r von 0,7

zu 0,3.

Quadrant

bildet

die

Kombinati

on von

Eimer-

und

Kühlwasser

messungen

n die

SST-

Unsicherheit

vor

1990. Im

gleichen

Zeitinter

vall

bildete

der

systemati

sche

Fehler

der

PRT / CRS -

Sensoren

(39 , 40)

die

Unsicherh

**zeit der
Festlands**

-

**Temperatu
ren.**

Treibboje

n

leisteteten

einen

teilweise

n Beitrag

(0, 25) zu

der

Unsicherheit

bei

der

Wassertem

peratur

zwischen

1980 und

1990.

Nach 1990

wurde die

Fehlerban

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

en

Beitrag

und die

kleineren

Fehler

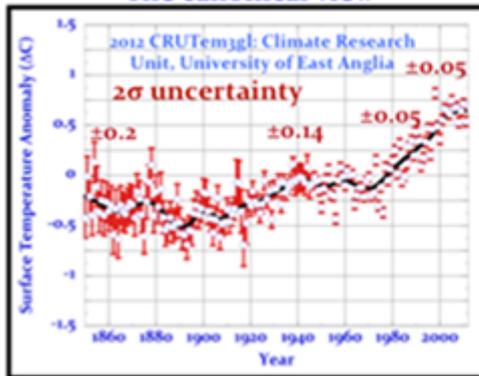
der MMTS

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

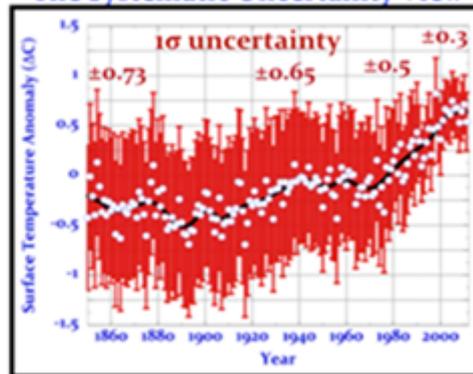
reflektie rt.

Uncertainty and the global air temperature record

The canonical view



The Systematic Uncertainty View



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

Lower Limit Estimate

Abbildung

12: *Die*

globale

mittlere

Lufttempe

ratur im

Jahre

2010,

entnommen

der

Website

der

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

Anglía,

UK

(hier).

Links:

Unsicherh

eits-

Bandbreite

e

aufgrund

der

Beschreib

ung auf

*der CRU-
Website.*

Rechts:

Fehlerban

dbreite

der

Unsicherheit

aufgrund

geschätzt

er

systemati

scher

Fehler

der

Sensormes

sungen

innerhalb

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

im Text.

Abbildung

12

(rechts)

ist sehr

wahrscheinlich
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-

Diskussio

n. Die

hier

vorgebrac

hten

Argumente

**waren
vorherrsc
hend.**

**Die
instrumen**

telle

Auflösung

definiert

das Limit

der

Messgenau

igkeit

[measurement

ent

detection

limit].

Beispiele

weise

waren

unter den

besten

historisc

hen

Thermomet

ern vom

19. bis

Mitte des

20.

Jahrhunde

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

**rauflösung
g unter
Laborbedi
ngungen
beträgt
daher**

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

Darüber

kann es

keinen

Streit

geben.

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

der

Challenge

r-Reise

hatte

ebenfalls

eine 1°C-

Abstufung

. Damit

kommt das

gleiche

Limit der

Auflösung

zur

Anwendung

▪

Die

besten

Thermomet

er zur

Messung

des

Kühlwassse

rs bei

amerikanische

Schiffen

enthielten

**n 1°C-
Abstufung**

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

beste

Auflösung

ist

demnach

$\pm (0,25$

bis

0,5) °C.

Dies sind

die

bekanntesten

Quantitäten

en.

Auflösung

S -

Unsicherh

eiten wie

systemati

sche

**Fehler
mitteln**

sich

nicht

heraus .

Kenntnis

der

Messsgrenz

en der

Instrumen

te-

Klassen

gestattet

uns die

Abschätzung

ng der

Auflösung

S -

**Unsicherheit
in
jeder
zusammeng
estellten
historisc**

hen

Aufzeichn

ung der

Lufttempe

ratur.

**Abbildung
13 zeigt
die
Grenzen
der
Auflösung**

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

$\pm 2s$ -

Auflösung

vergleiche

n mit der

$\pm 2s$ -

Unsicherh

eit in

der

veröffent

lichten

Temperatu

r-

**Zusammen
teilung**

von

Berkeley

Earth.

Die

Analyse

lässt

sich

genauso

gut

anwenden

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

**oder der
CRU/UKMet
, welche
die
gleichen
Unsicherh**

eitsgrenz

en

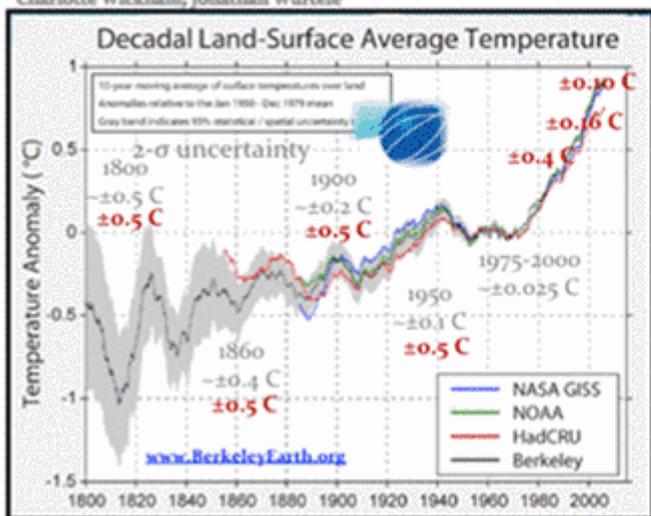
aufweisen

■

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

Berkeley Earth Methodology

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



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

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

1σ Instrumental Resolution

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 -***

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

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

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

in blau

der

historisc

hen

Temperatu

rsensoren

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

worden

sind.

Die

global

kombinier

te

instrumenten

telle

Auflösung

wurde mit

den

gleichen

Teilbeitr

ägen

berechnet

wie die

oben

**genannte
Abschätzung
des
unteren
Limits
des**

**systemati
schen**

Messfehle

rs. Das

heißt

0,30 zu

0,70

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

der

veröffent

lichte

fraktiona

le

Gebrauch

**jeder
Instrumen
tenart
(*Land:*
CRS vs.
*MMTS,***

and; SS:

buckets

VS.

engine

intakes

VS.

Buoys) .

Die

Aufzeichn

ung

zeigt ,

dass

während

der Jahre

von 1800

bis 1860

die

veröffent

lichen

globalen

Unsicherh

eits -

Limits

von im

Feld

gemessene

n

meteorolo

gischen

**Temperatu
ren
gleich
sind der
Messungen
unter**

bestmögliche

Laborbearbeitungen.

Nach etwa

1860 bis

zum Jahr

2000 ist

die

veröffent

lichte

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

Instrumente

selbst.

Seit

mindesten

s 1860

wurde die
Genauigkeit
aus
dünnere
Luft
hervorgez

aubert .

Findet

irgendj

emand

die

veröffe

ntlicht

en

Unsi

**rheiten
gläubwü
rdig?**

Alle

**Ingenieur
e und
Experimen
talwissen
schaftler
könnten**

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

Zum i n d e s t

war das

bei mir

so. Ein

Espresso

hat mir

geholfen .

Die

Leute,

die die

globalen

instrumenten

tellen

Aufzeichn

ungen

zusammens

tellen,

haben ein

experimenten

telles

Limit

stiefmütter

erlich

behandelt

, das

sogar

noch

grundlege

nder ist

als

systemati

sche

Messfehle

r: Die

Messgrenz

en

**[detectio
n limits]**

ihrer

Instrumenten

te. Sie

haben dem

keinerlei

Aufmerksam

keit

geschenkt

▪

**Auflösung
s-Limits**

und

systemati

sche

Messfehler

r durch

das

Instrument

t selbst

legen

niedriger

e Grenzen

der

Unsicherh

eit fest.

Die in

der

**Konsens -
Klimatolo
gie
engagiert
en
Wissensch**

aftler

haben

beides

kaum

beachtet.

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

eine

Messung

durchgeföh

hrt oder

sich

jemałs

mit einem

Instrument

t

abgemüht

hätte. Es

gibt

keine

andere

rationale

Erklärung

für diese

Missachtung

ng als

eine

ausgepräg

te

Ignoranz

gegenüber

experimen

tellen

Verfahren

▪

Die hier

**entwickel
te**

**Unsicherh
eits -**

**Abschätzu
ng zeigt,**

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

der

globalen

Lufttempe

ratur

seit 1850

nicht

genauer

bekannt

sein kann

als mit

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

1980 oder

innerhalb

von

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

nach

1990,

jedenfall

**s im 95%-
Intervall**

▪

**Rate und
Größenord**

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

ich

unbekannt

. Es gibt

keinerlei

Unterstüt

zung für

jedwedes

„beispiel

los“ in

den

Aufzeichn

ungen der

**Lufttempe
ratur.**

**Behauptun
gen über
die**

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

von

0,5°C-

Differenz

en, sind

völlig

unhaltbar

und ohne

jede

Bedeutung

■

All diese

Debatten

um die

höchste

Lufttempe

ratur

jemałs

sind

nicht

besser

als

theologis

che

**Streitereien über
das
Unaussprechliche.
Es sind**

**nach den
Worten**

von

William

F.

Buckley

**„Langweil
ige
Spekulationen über
das
inhärent**

**Unbekannt
e“ .**

**Es gibt
in den**

Temperatu

**raufzeich
nungen
keinerlei
Stützung
für
irgendwel**

che

Notfälle

bzgl.

Klima.

Außer

vielleicht

t ein

Notfall

der

scheinbar

en

Kompetenz

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

4.

Danksagun

gen : Ich

danke

Prof.

Hendrik

Huwałd

und Dr.

Marc

Parlange

von der

Ecole

Polytechn

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

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

ng der
Sensor-
Kalibrier
ungsdaten
vom
Plane

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

en 4, 5

und 6

gefunden

haben.

Diese

Arbeit

wurde

ohne jede

externe

Zuwendung

geleistet

·

5.

Reference

s

[1] JCGM,

Evaluatio

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

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

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

France .

[2]

Frank ,

P. , et

al. ,

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

iron -

molybdenum

m

cofactor

of

nitrogenase

se:

monomers,

multimers

, and

cooperati

ve

behavior.

J. Biol.

Inorg.

Chem. ,

2001.

6 (7) : p.

683 - 697 .

[3]

Frank, P.

and K.O.

Hodgson,

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

um

reactions

of

Fe (II, III

) with

ethanethi

olate in

N-

methylfor

amide

solution.

J. Biol.

Inorg .

Chem . ,

2005 .

10 (4) : p .

373 - 382 .

[4]

Hinkley,

N., et

al., An

Atomic

Clock

with

10 - 18

Instability.

Science,

2013.

341 (p.

1215 - 1218

.

[5]

Parker,

D.E., et

al.,

Interdeca

dal

changes

of

surface

temperatu

re since

the late

nineteent

h

century .

J .

Geophys .

Res . ,

1994 .

99 (D7) :

p .

14373 - 143

99 .

[6]

Quayle ,

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

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

Bull.

Amer.

Met.

Soc.,

1991.

72 (11) :

p.

1718 - 1723

; doi:

10.1175/1

520-0477 (

1991) 072 <

1718 : EORT

CI>2 . 0 . CO

;2 .

[7]

Hubbard ,

K.G., X.

Lin, and

C.B.

Baker, On

the USCRN

Temperatu

re

system.

J. Atmos.

Ocean.

Technol.,

2005.

22 (p .

1095 - 1101

.

[8] van

der

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

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

I:

**Understanding the
weather-
dependent
temperatu**

re
differences). .

International

Journal

of

Climatolo

gy, 2008.

28 (3) : p.

371-387.

[9]

Barnett,

A., D.B.

Hatton,

and D.W.

Jones,

**Recent
Changes**

in

**Thermomet
er Screen
Design**

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

WMO

Report

No. 66,

J. Kruus,

Editor.

1998,

World

Meteorolog

ical

Organizat

ion:

Geneva.

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

**Hubbard,
and C.B.**

**Baker,
Surface**

Air

Temperatu

re

Records

Biased by

Snow -

**Covered
Surface.**

**Int. J.
Climatol.**

, 2005.

25 (p.

1223 - 1236

; doi:

10.1002/j

oc.1184.

[11]

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

models

for air

temperatu

re

measureme

nts.

Geophys .

Res .

Lett . ,

2002 .

29 (10) :

p . 1425

1-4; doi:

10.1029/2

001GL0131

91.

[12]

Huwald ,

H. , et

al. ,

Albedo

effect on

radiative

errors in

air

temperatu

re

measureme

nts.

Water

Resources

Res. ,

2009 .

45 (p .

W08431 ;

1-13.

[13]

Menne,

M. J. and

C. N.

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

**Pairwise
Comparisons.
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 ,
implications
for
large-
scale
high-**

**frequency
palaeocli
matic
studies .**

**The
Holocene ,**

1993 .

3 (1) : p .

77 - 88 .

[15]

Hansen ,

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

Air

Temperatu

re. J.

Geophys.

Res. ,

1987.

92 (D11) :

p .

13345 - 133

72 .

[16]

Brohan ,

P. , et

al. ,

Uncertain

ty

estimates

in

regional

and

global

observed

temperatu

re

changes :

A new

data set

from

1850 . J .

Geophys .

Res . ,

2006 .

111 (p .

D12106

1-21 ;

doi: 10.10

29/2005JD

006548;

see

http://ww

w.cru.uea

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

[17]

Karl,

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

Can and

Cannot

Tell Us .

Rev .

Geophys . ,

1989 .

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

[18]

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

**Lin, and
E.A.**

**Walter-
Shea, The
Effectiveness
of**

the ASOS ,

MMTS ,

GILL , and

CRS Air

Temperatu

re

**Radiation
Shields .**

J . Atmos .

Oceanic

Technol . ,

2001 .

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

[19]

**Machattie
, L.B.,**

Radiation

Screens

for Air

Temperatu

re

Measureme

nt.

Ecology,

1965.

46 (4) : p.

533 - 538.

[20]

Rüedi,

I., WMO

Guide to

Meteorolo

gical

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

**Part I:
Measurement of
Meteorological
Variables**

, 7th

Ed. ,

Chapter

1. 2006 ,

World

Meteorolo

**gical
Organizat
ion:
Geneva.**

[21]

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

from

ICOADS :

the

construct

ion of a

new

**gridded
dataset
with
uncertain
ty
estimates**

▪
**International
Journal
of
Climatology**

gy, 2011:

p.

987 - 1001.

[22]

Challenor

, P.G.

and

D.J.T.

Carter,

On the

Accuracy

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

1994 .

11 (5) : p .

1425 - 1430

■

[23]

Kent,

E.C. and

D.I.

Berry,

Quantifying

ng random

**measurement errors
in**

**Voluntary
Observing
Ships'**

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

, 2005 .

25 (7) : p .

843 - 856 ;

doi :

10 . 1002 / j

oc . 1167 .

[24]

Kent,

E. C. and

P. G.

Challenger

, Toward

Estimating g Climatic Trends in SST. Part II:

Random

Errors .

Journal

of

Atmospher

ic and

Oceanic

Technology

, 2006.

23 (3) : p.

476 - 486.

[25]

Kent,

E.C., et

al., The

Accuracy

of

**Voluntary
Observing
Ships'
Meteorolo
gical
Observati**

ons -

Results

of the

VSOP - NA .

J . Atmos .

Oceanic

Technol. ,

1993 .

10 (4) : p .

591 - 608 .

[26]

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

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

air

temperatu

re since

the late

nineteent

h

century .

Journal

of

Geophysic

al

Research -

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

[27]

Emery,

W. J. and

D.

Baldwin.

In situ

calibration

of

satellite

sea

surface

temperatu

re. in

Geoscienc

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

IGARSS

'99

Proceedin

gs. IEEE

1999

Internati

onal.

1999 .

[28]

Emery ,

W. J. , et

al. ,

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

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

Geophys .

Res . ,

2001 .

106 (C2) :

p .

2387 - 2405

▪

[29]

Woodruff,

S.D., et

al., The

Evolving

SST

Record

from

ICOADS,

in

**Climate
Variability
and
Extremes
during
the Past**

100

Years, S.

Brönnimann

n, et al.

eds,

2007,

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

[30]

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

res at

Sea.

Monthly

Weather

Review,

1926.

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

[31]

Saur ,

J.F.T. , A

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

res

Reported

in Logs

of Ships'

Weather

Observati

ons. J.

Appl.

Meteorol.

, 1963.

2 (3) : p.

417 - 425.

[32]

Barnett,

T.P.,

Long-Term

Trends in

Surface

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

Review,

1984.

112 (2) :

p.

303 - 312.

[33]

Anderson,

E.R.,

Expendabl

e

bathyrther

**mograph
(XBT)**

accuracy

studies;

NOSC TR

550 1980,

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

CA. p.

201.

[34]

BraLove,

A.L. and

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

the

Bathymetric

Chart

1952,

National

Science

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

[35]

Hazelwort

h, J.B.,

Quantitat

ive

Analysis

**of Some
Bathyther
mograph
Errors
1966,
U.S.**

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

[3 6]

Kennedy ,

J . J . ,

R . O .

Smith ,

and N . A .

Rayner,

Using

AATSR

data to

assess

the

quality

of in

situ sea-

surface

temperatu

re

**observati
ons for
climate
studies .**

**Remote
Sensing**

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

[37]

Hadfield,

R.E., et

al., On

the

accuracy

**of North
Atlantic
temperature
and
heat
storage**

fields

from

Argo . J .

Geophys .

Res . :

Oceans ,

2007 .

112 (C1) :

p .

C01009 .

[38]

Castro,

S.L.,

G.A.

Wick, and

W.J.

Emery,

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

**temperatu
re**

**measureme
nts from
different
types of**

drifting

and

moored

buoys

using

satellite

**- derived
reference
products .
J .
Geophys .
Res . :**

Oceans ,

2012 .

117 (C2) :

p .

C02029 .

[39]

Frank,

P.,

Uncertain

ty in the

Global

Average

Surface

Air

Temperatu

re Index :

A

**Represent
ative**

Lower

Limit.

Energy &

Environme

nt, 2010.

21(8) : p.

969 - 989.

[40]

Frank,

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

**Global
Average
Surface
Air
Temperature
Index.**

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

[41]

Hansen,

J., et

al., GISS

analysis

of

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

Res . ,

1999 .

104 (D24) :

p .

30997—310

22 .

[42]

Hansen,

J., et

al.,

Global

Surface

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

48 (4) : p .

RG4004

1-29 .

[43]

Jones ,

P.D., et

al.,

Surface

Air

Temperatu

re and

its

Changes

Over the

Past 150

Years .

Rev .

**Geophys . ,
1999 .**

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

[44]

Jones ,

P.D. and

T.M.L.

Wigley ,

Correctio

ns to

pre - 1941

SST

measurements

for

studies

of long -

term

changes

in SSTs,

in Proc.

Int.

COADS

Workshop,

H.F.

Díaz, K.

Wolter,

and S.D.

Woodruff,

Editors .

1992 ,

NOAA

**Environmental
Research**

Research

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

[45]

Jones ,

P.D. and

T.M.L.

Wigley ,

Estimatio

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

**important
and what
isn't.**

**Climatic
Change,
2010.**

100 (1) :

p. 59 - 69 .

[46]

Jones ,

P.D. ,

T.M.L.

Wigley,

and P.B.

Wright,

Global

temperatu

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

1986 .

322 (6078)

: p .

430 - 434 .

[47]

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

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

Amsterdam

:

Elsevier.

[48]

Frank,

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

Climatology .

Energy &

Environment, 2015 .

26 (3) : p .

391 - 416 .

[49]

Folland ,

C.K. , et

al. ,

Global Temperature Change and its Uncertain- ties

Since

1861.

Geophys .

Res .

Lett . ,

2001.

28 (13) :

p.

2621 - 2624

▪

Link :

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

error-in-

climate-

measureme

nts-the-

surface-

air-

temperatu

re-

record/

Übersetzt

von Chris

Frey EIKE