

Wie kann man eine mittlere Globaltemperatur ermitteln? Was die Statistik verlangt und erlaubt

Eckhard Schulze*

Wenn der zeitliche Verlauf globaler Temperaturen graphisch dargestellt wird, so z. B. von dem NASA Goddard Institut for Space Studies (GISS), werden meist Temperaturanomalien gezeigt. (Abb. 1)

Dabei handelt es sich z. B. um Jahresmittelwerte, die ihrerseits auf einen Mittelwert über ein definiertes Zeitintervall bezogen werden, z. B. 1961 – 1990.

Man muss sich darüber im Klaren sein, dass es sich bei Mittelwerten um **Schätzungen** handelt, die letztendlich auf einer für repräsentativ gehaltenen Auswahl von Einzelmessungen beruhen.

Die zulässigen Methoden der Mittelwertbildung unter Berücksichtigung der Schätzfehler von den Messdaten bis zur **globalen Jahresmitteltemperatur** soll im Folgenden dargestellt werden. Darauf aufbauend werden für ausgewählte Temperaturreihen die Mittelwerte auf signifikante Unterschiede analysiert.

Es existieren weltweit ca. 35000 meteorologische Stationen, die neben der Registrierung anderen Wetterdaten die bodennahen (2m) Lufttemperatur messen. Wie Abb. 2 zu entnehmen, sind diese Stationen nicht homogen über die Landfläche der Erde verteilt (die Markierungen in den Meeren beziehen sich auf Inseln).

Zwischen 1000 und 3000 von ihnen werden mit z. T. unterschiedlicher Gewichtung zur Berechnung der Globaltemperatur-Reihen der verschiedenen Institutionen herangezogen. Die bodennahen Lufttemperaturen werden auch von einem Satelliten (**TIROS-N**) erfasst und können u. a. als globale Verteilungen dargestellt werden.

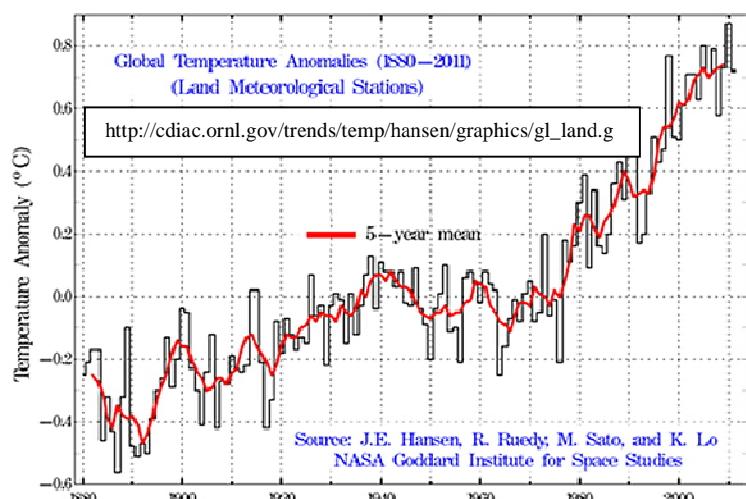


Abb. 1: GISS-Zeitreihe der globalen Land-Jahresmitteltemperatur-Anomalien

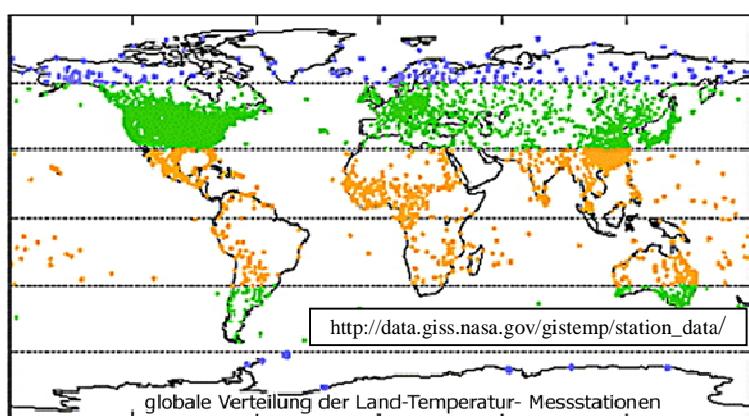


Abb. 2: globale Verteilung der Land-Temperatur-Messstationen

So wurden von der NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA) z. B. für den 2. März 2012 die folgenden "Momentaufnahmen" (Abb. 3) veröffentlicht:

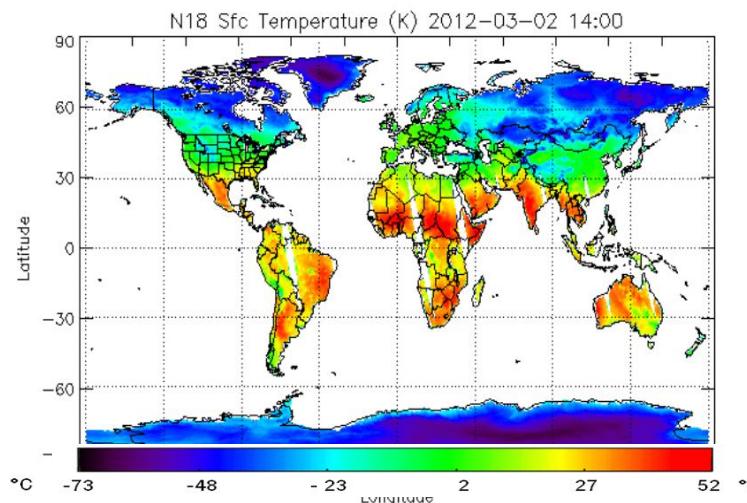
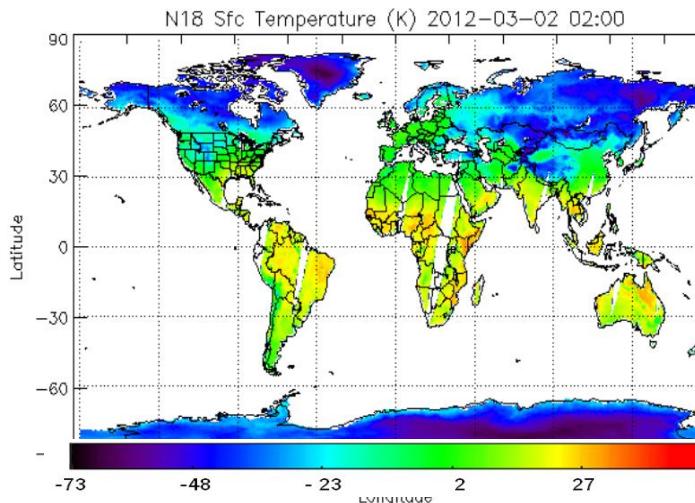


Abb. 3 : globale Verteilung der Land-Temperaturen am 02.03. März um 02:00 Uhr und um 14:00 Uhr

Die riesige geographische Variabilität der bodennahen Landtemperaturen durch einen einzigen Mittelwert charakterisieren zu wollen, erscheint sehr ehrgeizig. Die ständigen täglichen, wie auch jahreszeitlichen Temperaturänderungen erschweren dieses Vorhaben zusätzlich.

Betrachtet man zunächst einmal nur eine einzige Station. Die allgemein vorgeschriebenen Bedingungen zur Messung der bodennahen Temperatur verlangen, dass ein geeichtes Thermometer in einem als "englische Hütte" bezeichneten Kasten zwei Meter über dem Erdboden untergebracht ist (**Abb. 4**). Der weiße Anstrich und die Belüftungslamellen sollen gewährleisten, dass die Lufttemperatur ungestört (im Gleichgewicht mit der Umgebung) gemessen werden kann. Tagesmittelwerte werden weltweit nach verschiedenen Methoden gebildet

In Deutschland wird traditionell das arithmetische Mittel aus den 7 Uhr, 14 Uhr und 21 Uhr Temperaturen berechnet, wobei der 21 Uhr Wert doppelt gewichtet wird.

Nach Umstellung auf elektronische Datenerfassung sind auch andere Mittelwertbildungen gebräuchlich.

Der **Tagesmittelwert** ist in jedem Fall eine **Schätzung**, die als verbindlich betrachtet wird, ohne mögliche Fehlerquellen der Station (Ablesefehler, Aufbau und Anstrich der "englischen Hütte", Beeinflussung der Umgebung durch lokale Wärmequellen) zu berücksichtigen.



Abb. 4 : Wetterhütte zur Messung der bodennahen Lufttemperatur

Abb. 5 zeigt die Tagesmittelwerte der Station Braunschweig Völkenrode des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für Februar 2011 dargestellt. Wenn daraus ein Monatsmittelwert gebildet werden soll, muss man aus statistischer Sicht erst einmal untersuchen, welche Art der Mittelwertbildung für diese **Grundgesamtheit**, wie eine solche Ansammlung von Werten genannt wird, zulässig ist. Das **arithmetische Mittel**, also die durch ihre Anzahl dividierte Summe aller Werte, ist nur dann sinnvoll (zulässig), wenn sie einer definierten Verteilung unterliegen. Dazu werden die Tagesmitteltemperaturen in Größenklassen unterteilt und als **Histogramm** dargestellt:

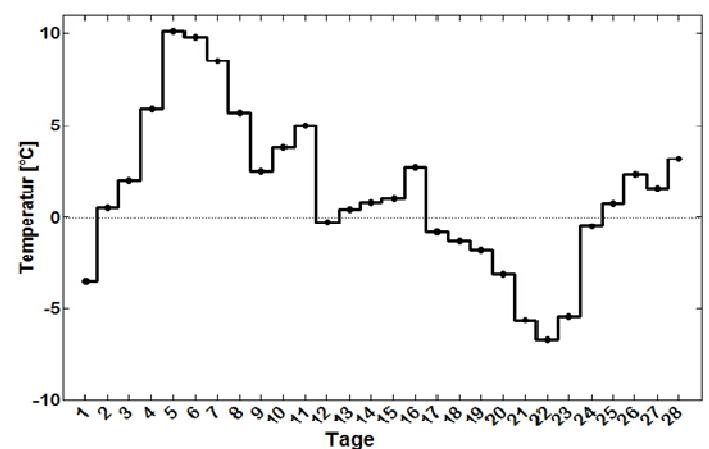


Abb. 5 : Tagesmitteltemperaturen Februar 2011
DWD Station Braunschweig Völkenrode

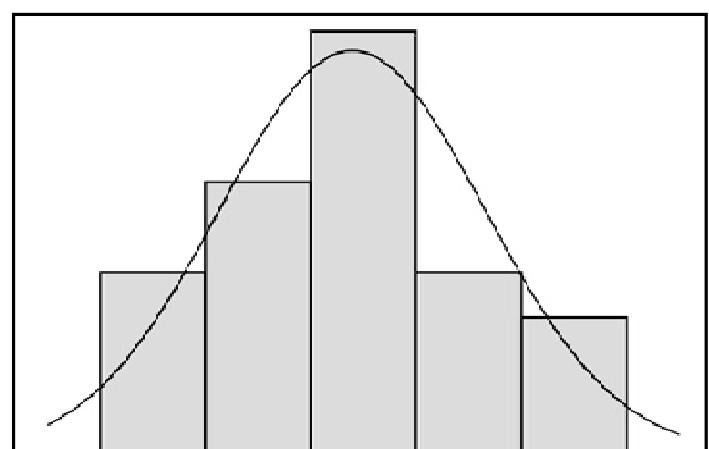


Abb. 6 : Histogrammdarstellung der Tagesmitteltemperaturen für Februar 2011 mit überlagerter Normalverteilungskurve

Genau dieser Fall tritt für die Oktober-Temperaturen 2011 ein.

In Abb. 7 sind die Verteilungen der Einzelwerte als schwarze Punkte als sogenannte **Jitterplots** dargestellt. Die Februarwerte streuen symmetrisch um das **blau** eingezeichnete **arithmetisches Mittel** herum, während die Oktoberwerte unsymmetrisch mit einer Tendenz zu höheren Temperaturen um das das **arithmetisches Mittel** verteilt sind.

Von diesem weicht der **Median** deutlich ab, da er sich an der Lage der meisten Einzelwerte orientiert. Die Kästchen über und unter dem Median repräsentieren die Lage von jeweils 25% der Einzelwerte (**25% Quantile**) und sind für den Oktober 2011 sehr unterschiedlich, während sie für den Februar fast gleichgroß ausfallen. Auch sind die Werte für **Median** und **arithmetisches Mittel** fast identisch. Dies ergibt sich bei normalverteilten Grundgesamtheiten, bei denen zusätzlich Kenngrößen für die Streuung berechnet werden können.

Die **rot** eingezeichneten Vertrauensbereiche (**Konfidenzintervalle**) weisen aus, dass der zutreffende Mittelwert unter Berücksichtigung der Verteilung der Einzelwerte mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% (**95% Konfidenzniveau**) in diesem Bereich liegt.

Da jede Mittelwertbildung eine Schätzung darstellt, ist ihr eine von der Anzahl der Einzelwerte und deren Verteilung (eben der **Grundgesamtheit**) abhängiges Streuungsmaß sozusagen aufgeprägt.

Dies erlaubt die Anwendung von **Signifikanztests**, mittels derer zum Beispiel für ein vorgegebenes **Konfidenzniveau** entschieden werden kann, ob sich Mittelwerte **signifikant** voneinander unterscheiden. Für **normalverteilte Grundgesamtheiten** werden dabei andere Tests (**Varianzanalyse**) als für beliebige (**nicht parametrische**) Verteilungen angewandt, z. B. der **Kruskal-Wallis Test**.

Für den Vergleich der **Februar-Mitteltemperaturen** von 2001 bis 2011 der DWD Station Braunschweig (Abb. 8) können die **arithmetischen Mittel** der Tagesmittelwerte verglichen werden, da für jedes Jahr eine **Normalverteilung** vorliegt. Die darauf angewandte Varianzanalyse kommt zu dem Ergebnis, dass sich die Mittelwerte **insgesamt** auf einem **Konfidenzniveau von 95% unterscheiden**.

Um **Jahresmittelwerte** zu bilden, kann man die **Tagesmittelwerte** direkt verrechnen oder nach Bildung von **Monats-mitteln**, diese zur Mittelwertbildung verwenden.

Da für die DWD Station Braunschweig die **Jahresverteilungen der Tagesmittel** die **Normalitätskriterien nicht erfüllen**, müssen die **Mediane** benutzt werden (Abb. 9).

Zur Entscheidung, ob sich die **Jahres-Mediane** **signifikant** voneinander unterscheiden, wird der **Kruskal-Wallis Test** angewandt, der zu dem Ergebnis

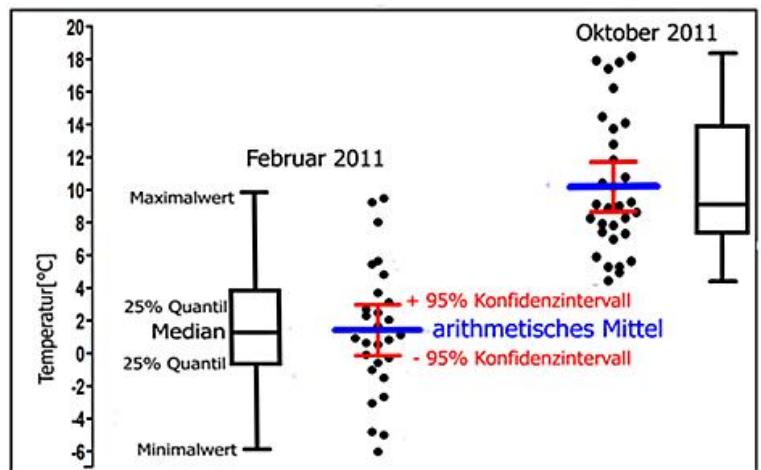


Abb. 7 : Vergleich der Tagesmittelwerte von Februar 2011 und Oktober 2011 der DWD-Station Braunschweig Völkenrode in Jitterplot und Median Boxplot Darstellung

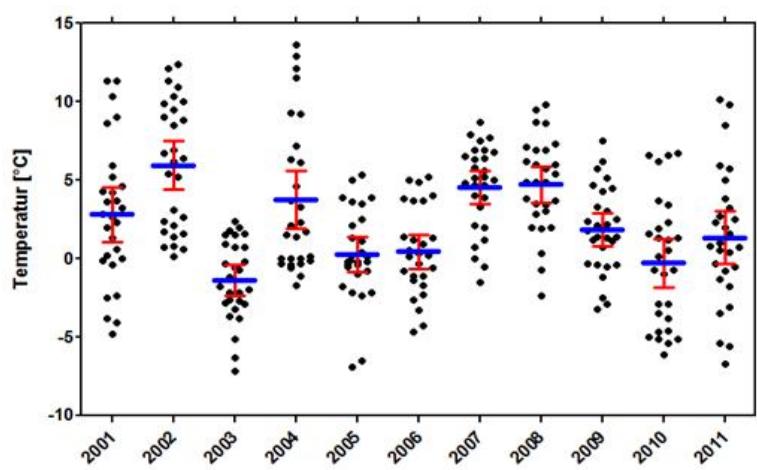


Abb. 8 : Arithmetische Mittel aus Tagesmitteln der Februartemperaturen von 2001 bis 2011 der DWD-Station Braunschweig Völkenrode

Jahres-Mediane aus Tagesmitteln der Monatstemperaturen von 2001 bis 2011 der DWD-Station Braunschweig Völkenrode

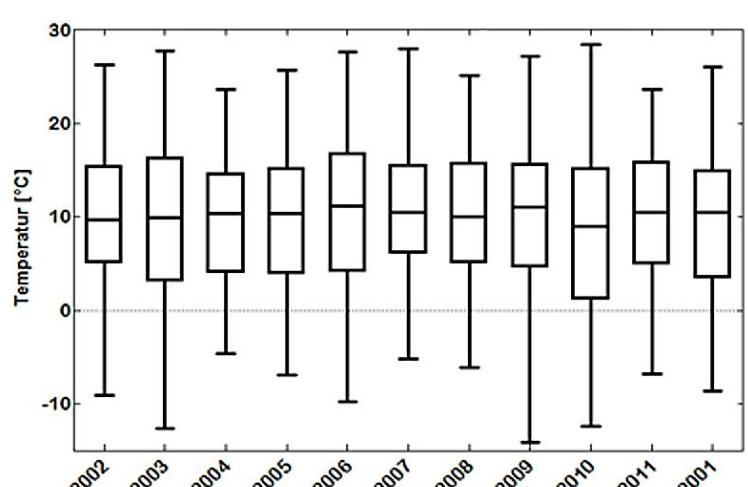


Abb. 9 : Jahres-Mediane aus Tagesmitteln der Monatstemperaturen von 2001 bis 2011 der DWD-Station Braunschweig Völkenrode

gelangt, dass **insgesamt kein signifikanter Unterschied** zwischen ihnen vorliegt.

In der Praxis werden jedoch die **Jahresmittelwerte aus den Monatsmittelwerten** gebildet, wobei einfach vorausgesetzt wird, dass die Tageswerte der Monate jeweils **normalverteilt** sind. Das trifft auch meistens zu, da Mittelwerte, auch wenn sie aus **nicht normalverteilten Grundgesamtheiten** gebildet werden, tendenziell dazu neigen, eine **Normalverteilung** anzunehmen.

Die Streungsmaße der Monatsmittel werden in den öffentlich zugänglichen Datensätzen nicht weiter berücksichtigt, was jedoch aufgrund der **Fehlerfortpflanzungsregeln** nach **Gauss** geboten ist.

Somit stehen nur solch Streuungsparameter, die sich bei der Bildung von Jahresmittelwerten aus den veröffentlichten Monatswerten ergeben, für Signifikanztests zur Verfügung.

In die Berechnung von **Konfidenzintervallen** geht die Anzahl der Einzelwerte als Divisor ein. Daher fallen sie für Jahresmittelwerte relativ groß aus, da diese jeweils nur aus 12 Werten (Monaten) gebildet werden (**Abb. 10**). Die **Varianzanalyse** sagt aus, dass sich die Jahresmittelwerte **nicht signifikant** voneinander unterscheiden und gelangt damit zum gleichen Ergebnis wie der vorige Vergleich der **Mediane aus Tagesmittelwerten** geführt.

Im nächsten Schritt, werden aus den Monatsmitteln einzelner Stationen Gebietsmittel gebildet. Der Deutsche Wetterdienst berücksichtigt z. Zt. 264 Stationen, die zur Berechnung einer für Deutschland relevanten Mitteltemperatur herangezogen werden. Die Monatswerte sind normalverteilt, so dass die Jahresmittelwerte durch **arithmetische Mittel** und ihre **Konfidenzintervalle** repräsentiert werden können. Eine **Varianzanalyse** weist **keine signifikanten Unterschiede** zwischen den Jahresmittelwerten seit 1960 aus (**Abb. 11**).

Jahr	2011
alle Stationen	2644
NHK	2258
SHK	386
Afrika	281
Asien	430
Südamerika	194
Nordamerika	1208
Australien	72
Europa&Nahost	333
Antarctic	20
USA	1093
Grönland	6
Deutschland	38
Russland	122

Tab.1: Anzahl der Temperatur-Messstationen in verschiedenen Weltregionen, die vom GHCN zur Berechnung der globalen Mitteltemperatur bereitgestellt werden

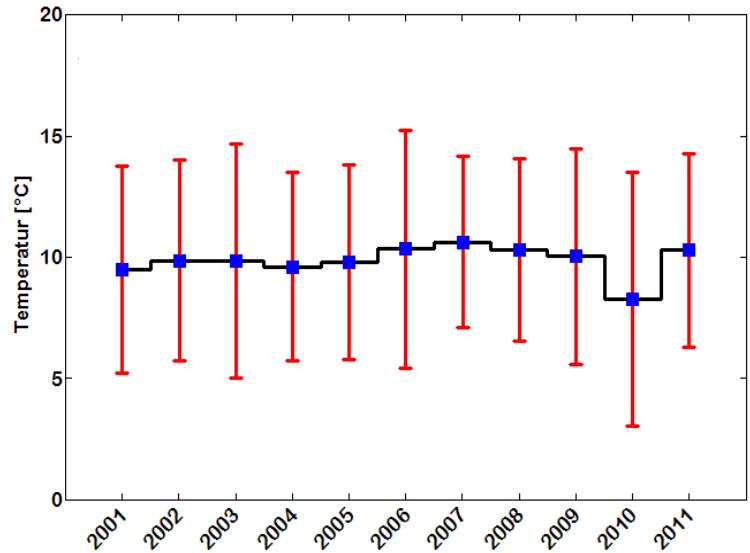


Abb. 10 : Arithmetische Jahres- Mittel mit 95% Konfidenzintervallen aus arithmetischen Monats-Mitteln von 2001 bis 2011 der DWD-Station Braunschweig Völkenrode

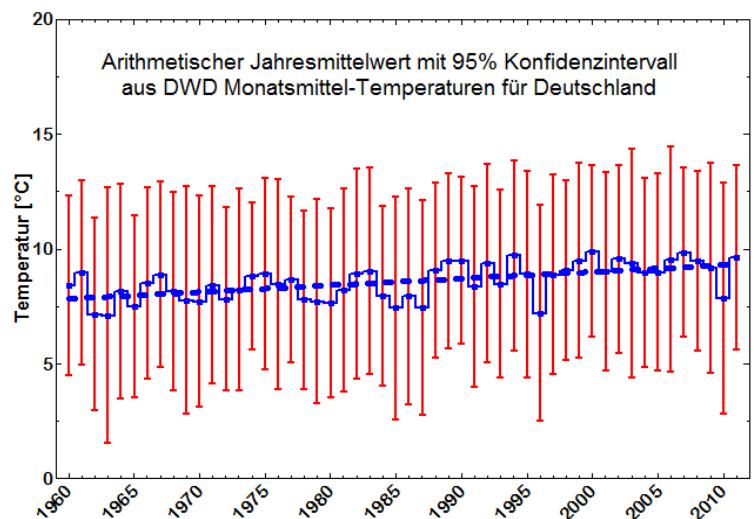


Abb. 11 : Arithmetische Jahres- Mittel mit 95% Konfidenzintervallen aus DWD Monats-Mitteltemperaturen von 1960 bis 2011 für Deutschland

Dennoch lässt sich ein Trend berechnen, der durch eine **Steigung** von $0,03 \pm 0,006$ °C/Jahr der **Regressionsgeraden** charakterisiert wird, für die mit einem **Bestimmtheitsmaß** von $R^2 = 0,33$ eine beträchtliche Unsicherheit besteht.

Nach Angaben des Global Historical Climatology Network (**GHCN**), bei dem die Temperaturen der weltweit verteilten Stationen gesammelt werden, wurden 2011 zur Ermittlung der globalen mittleren Landtemperatur die Daten von 2644 Stationen berücksichtigt.

Anzahl und Verteilung ist der **Tabelle 1** zu entnehmen. Wie schon aus der oben gezeigten Karte hervorgeht, sind die Stationen **nicht homogen** über die Landfläche verteilt.

Temperatur - Zeit - Reihen werden im Wesentlichen von 3 von Institutionen mit **unterschiedlichen Gewichtungen** der Werte erstellt und publiziert.

GISS	Goddard Institute for Space Studies
NCDC	National Climatic Data Center
HadCRUT3	Climatic Research Unit (CRU) of the University of East Anglia

Laure M. Montandonet al. haben die unterschiedliche Berücksichtigung der vom GHCN nach Oberflächentypen differenzierten Landstationen tabelliert (**Tab. 2**). Auffällig sind die hohen Anteile der urbanen Stationen.

In jüngster Zeit haben Überarbeitungen der Zeitreihen dazu geführt, dass sich die Ergebnisse weitestgehend angenähert haben. Dies gilt auch für die beiden Reihen, in denen die Messungen des **TIROS-N** Satelliten auswertet werden.

UAH MSU	University of Alabama at Huntsville	Microwave sounding units
RSS MSU	Remote Sensing Systems	Microwave sounding units

Diese Daten basieren auf der Reflektion von ausgesandten Mikrowellensignalen und liefern relative Werte, die mithilfe der landgestützten Auswertungen kalibriert werden müssen, um sie in Temperaturwerte umrechnen zu können.

Abb. 12 stellt die Zeitreihe der globalen **monatlichen Mitteltemperaturen** dar, wie sie vom **NCDC** (National Climate Data Center) bereitgestellt wird. Es sei darauf hingewiesen, dass keine Streuungsmaße mitgeteilt werden und daher auch nicht eingezeichnet sind.

Die die Regressionsgerade weist eine Steigung von **0,022** mit einem **Konfidenzintervall** von $\pm 0,01$ °C/Jahr für die Steigung auf und hat ein äußerst geringes Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,006$ so dass der Trend als sehr unsicher angesehen werden muss.

In **Abb. 13** sind die **Temperaturanomalien**, bezogen auf die Referenzperiode von 1960 bis 1990, zu sehen. Auch hier fehlen Streuungsmaße, die aufgrund der Subtraktion der Mittelwerte der **Referenz-Monatsmittel** von den jeweiligen **monatlichen Mittelwerten** nach dem **Fehlerfortpflanzungsgesetz** sehr beträchtlich ausfallen.

Da diese nicht berücksichtigt werden, d. h. weniger Information über die Ausgangsdaten für weitere Berechnungen vorliegt, erhält man mit $R^2 = 0,5$ nur ein **scheinbar größeres Bestimmtheitsmass!**

Ihre Steigung unterscheidet sich mit $0,022 \pm 0,001$ ebenfalls **nur durch ein augenscheinlich** um den Faktor 10 verringertes **Konfidenzintervall** von der obigen.

GE class	Percentage of land area	Percentage of stations			
		GHCN.v2	CRU	NCDC	GISS
Glacier ice	12.1	0.5	0.5	0.3	0.5
Bare desert	10.5	2.4	2.6	1.9	2.4
Tropical rainforest	6.4	1.1	0.8	0.4	0.9
Semidesert shrubs	6.1	4.3	4.4	3.6	4.2
Woody savanna	5.1	3.9	4.1	3.4	3.8
Savanna (woods)	5.0	3.7	3.3	3.5	3.7
Crops and town	3.5	6.2	5.3	6.0	6.2
Grass crops	2.8	5.1	4.3	5.0	4.6
Inland water	2.4	3.4	3.3	3.5	3.3
Upland tundra	2.4	0.6	0.5	0.4	0.5
Urban	0.2	13.7	16.6	15.8	14.3
Crops, grass, shrubs	2.2	4.8	4.3	5.3	5.0
Cool crops and towns	0.8	3.7	3.5	4.0	3.6
Hot and mild grasses and shrubs	2.3	3.6	4.1	3.1	3.6

Tab.2: Prozentualer Anteil unterschiedlicher Oberflächentypen an der globalen Landfläche und ihre relative Berücksichtigung durch Temperatur-Messstationen durch GHCN, CRU, NCDC und GISS

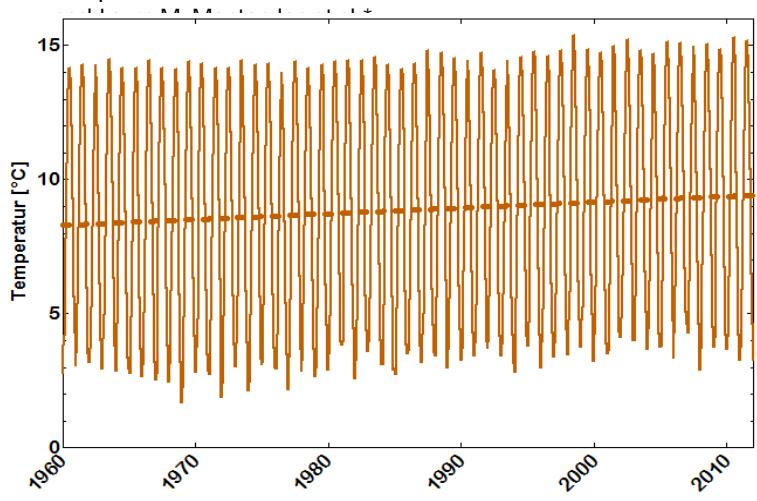


Abb. 12 : Globale Land-Monats- Mitteltemperatur der NCDC –Reihe von 1960 bis 2011

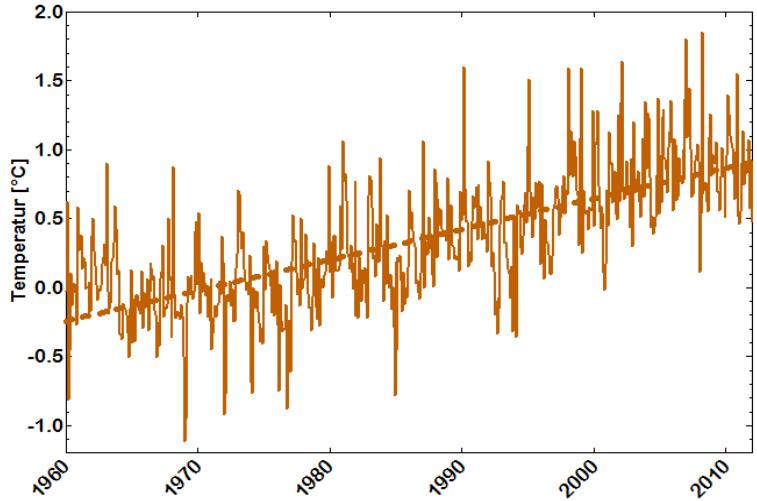


Abb. 13 : Globale Land-Monats- Mitteltemperatur-Anomalien der NCDC –Reihe von 1960 bis 2011

Da die Erdoberfläche nur zu angenähert einem knappen Drittel (29 %) aus Land, zu gut zwei Dritteln (71%) aber aus Ozeanen besteht, erscheint es sinnvoll, deren Temperaturen zur Berechnung einer Global-Mitteltemperatur einzubeziehen. Früher wurde dazu eine Wasserprobe mit einem Schöpfbeimer (Pütz oder Bucket) genommen und die Temperatur des Wassers darin gemessen. Deren Schöpfstiefe sollte 1 m betragen. Das wurde aber aus praktischen Gründen selten eingehalten. Man kann unterstellen, dass sie je nach Geschwindigkeit des Schiffes und Sorgfalt der beauftragten Person diese irgendwo zwischen wenigen Zentimetern und max 1 bis 1,5 m lag. Heute wird die Wassertemperatur im Kühlwassereintritt der Schiffe in 3m bis 15 m Tiefe bestimmt. Stationäre Bojen messen die Wassertemperatur in 2m Tiefe (nach Mitteilungen von M. Limburg). Die solchermaßen gewonnenen Wassertemperaturen werden als **SST** (Sea Surface Temperatures) bezeichnet.

In Abb. 14 sind die NCDC Zeitreihen für die **SST Monatsmittel-Temperaturen und Anomalien** abgebildet:
Die Steigungen der Regressionsgeraden sind mit $0,009 \pm 0,001$ und $0,01 \pm 0,0002$ nahezu identisch. Für die Anomalien ergibt sich ein $R^2 = 0,7$, das aber auf dem Hintergrund fehlender Fehlerfortpflanzung kritisch zu betrachten ist.

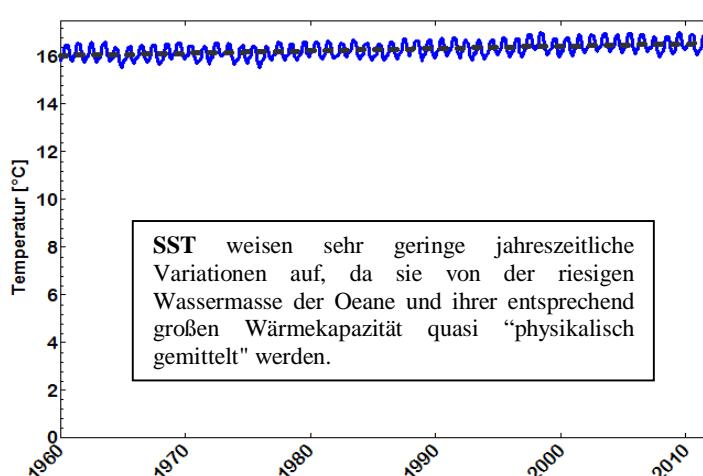


Abb. 14a : Globale SST - Monats- Mitteltemperaturen der NCDC -Reihe von 1960 bis 2011

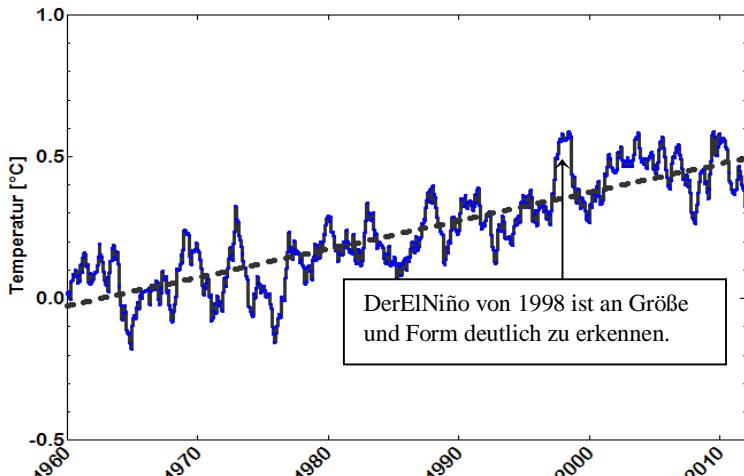


Abb. 14b : Globale SST - Monats- Mitteltemperatur-Anomalien der NCDC -Reihe von 1960 bis 2011

Die Kombination von Land- und Ozeanberflächentemperaturen wird in Abb. 15 gezeigt:

Die Steigungen der Regressionsgeraden fallen mit $0,013 \pm 0,004$ bzw. $0,013 \pm 0,0004$ auch hier praktisch gleich aus. Das **Bestimmtheitsmaß** ist mit $R^2 = 0,7$ für die **Mittelwert-Anomalien** größer als für die Mitteltemperaturen mit $R^2 = 0,02$.

Zwar ist es bemerkenswert, dass die Steigung für die **Landwerte** rund **doppelt** so hoch wie für **SST** und **Land + SST** Werte, jedoch sollte immer bedacht werden, dass die **Bestimmtheitsmaße** recht gering sind, bzw. für die **Anomalien** wegen der **nicht** berücksichtigten **Fehlerfortpflanzung** nur gesteigert **erscheinen**.

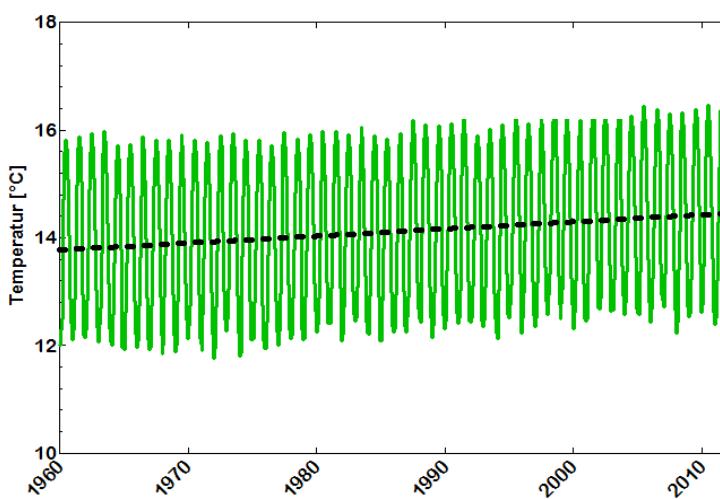


Abb. 15a : Globale Land+ SST - Monats- Mitteltemperaturen der NCDC -Reihe von 1960 bis 2011

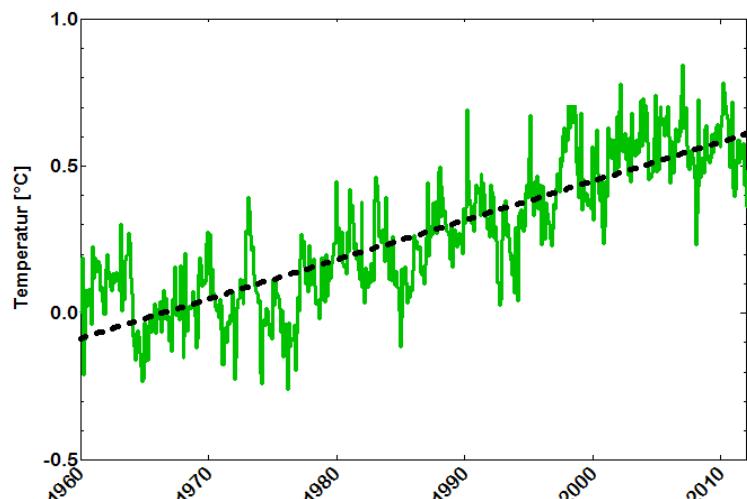


Abb. 15b : Globale Land+ SST - Monats- Mitteltemperatur-Anomalien der NCDC -Reihe von 1960 bis 2011

Werden aus den **Monatsmittelwerten Jahresmittel** gebildet und die **Signifikanzintervalle** berechnet und dargestellt, ergibt sich die **Abb. 16** für Landtemperaturen der NCDC Reihe.

Für die **normalverteilten** Werte der globalen Monatsmittel ergibt eine **Varianzanalyse**, dass sich zwischen den **arithmetischen Jahresmitteln** **keine signifikanten Unterschiede** nachweisen lassen.

Hierbei wird deutlich, dass bei der üblichen Darstellung von Temperaturreihen als **Anomalien** ohne Angabe von **Streuungsparametern** wichtige Informationen unterdrückt werden und dadurch ungesicherten Spekulationen über **Temperaturunterschiede** und -**trends** Vorschub geleistet wird.

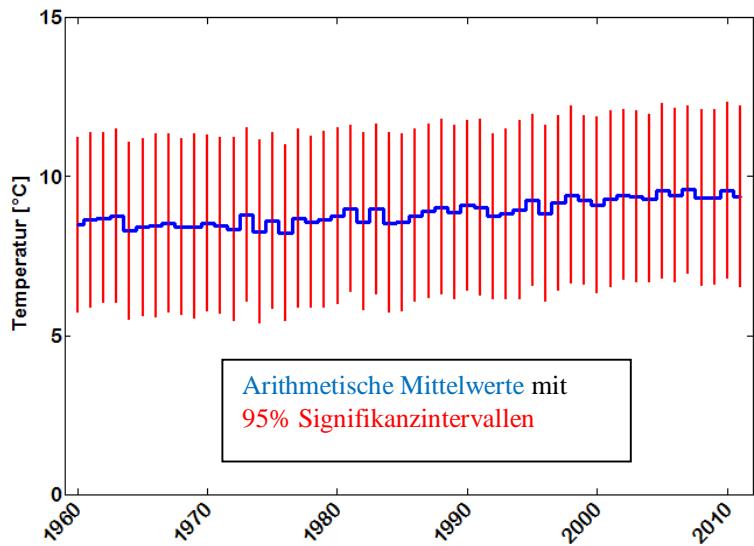


Abb. 16 : Globale Jahresmittelwerte \pm 95% Konfidenzintervallen der NCDC Landtemperaturenreihe von 1960 bis 2011

Die Angabe einer globalen Mitteltemperatur bzw. der Veränderung einer globalen Mittelwertanomalie (z. B. um 2°C gegenüber einem definierten Zeitpunkt) ist daher unter Beachtung statistischer Gesetzmäßigkeiten, ohne Angabe von Konfidenzintervallen als sinnlos zu betrachten.

*) PD Dr. habil Dr. Eckhard Schulze< eckhard.schulze@gmx.org >

Quellen:

- zu Tab. 1 <http://fzuber.bplaced.net/NOAA-GHCN-Stations-E.pdf>
- zu Tab. 2 [Laure M. Montandon et al. Earth Interactions Volume 15 \(2011\) Paper No. 6](http://www.dwd.de/bbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU21/klimadaten/german/download_gebietsmittel_temp,templateId=raw,property=publicationFile.xls)
- zu Abb.1 http://cdiac.ornl.gov/trends/temp/hansen/graphics/gl_land.gif
- zu Abb.2 http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/
- zu Abb.3 <http://www.osdpd.noaa.gov/ml/mspps/surftprd.html>
- zu Abb.4 <http://imk-msa.fzk.de/Wettervorhersage/images/Huette.jpg>
- zu Abb. 5 bis 10 avacon.com/cms/ContentFiles/Internet/Downloads/Netze_SN_unterbrVerbrauchseinr_Tagesmitteltemp_2012.xls
- zu Abb.11 http://www.dwd.de/bbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU21/klimadaten/german/download_gebietsmittel_temp,templateId=raw,property=publicationFile.xls
- zu Abb.12 u. 13 http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCabsLand.csv bzw.
http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCCanomLand.csv
- zu Abb.14 a u.b http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCabsOcean.csv bzw.
http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCCanomOcean.csv
- zu Abb.15 a u. b http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCabs.csv bzw. http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCCanom.csv