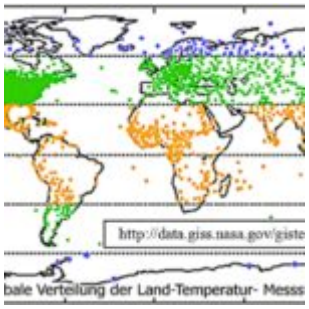
Wie kann man eine mittlere Globaltemperatur ermitteln? Was die Statistik verlangt und erlaubt



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 nebenstehend) 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.

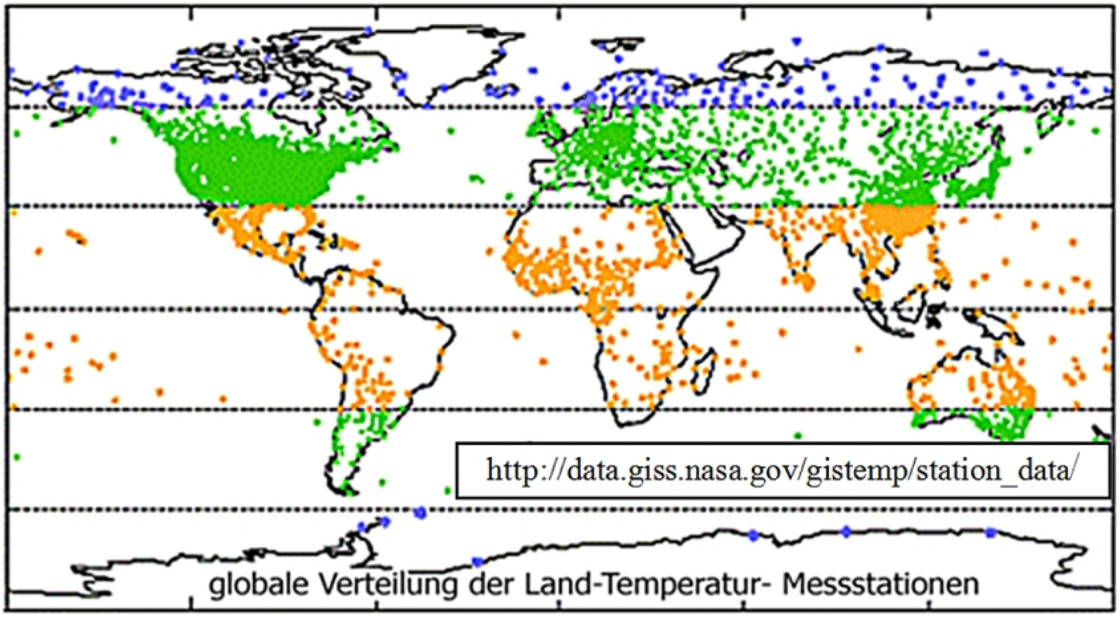


Abb. 2

Es existieren weltweit ca. 39.000 meteorologische Stationen, die neben der Registrierung anderen Wetterdaten die bodennahen (2m) Lufttemperatur messen. Wie **Abb. 2** zu entnehmen, sind diese Stationen sind 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.

So wurden von der **NOAA** (**N**ational **O**ceanic and **A**tmospheric **A**dministration, USA) z. B. für den 2. März 2012 die folgenden ”Momentaufnahmen” (**Abb. 3**)veröffentlicht:

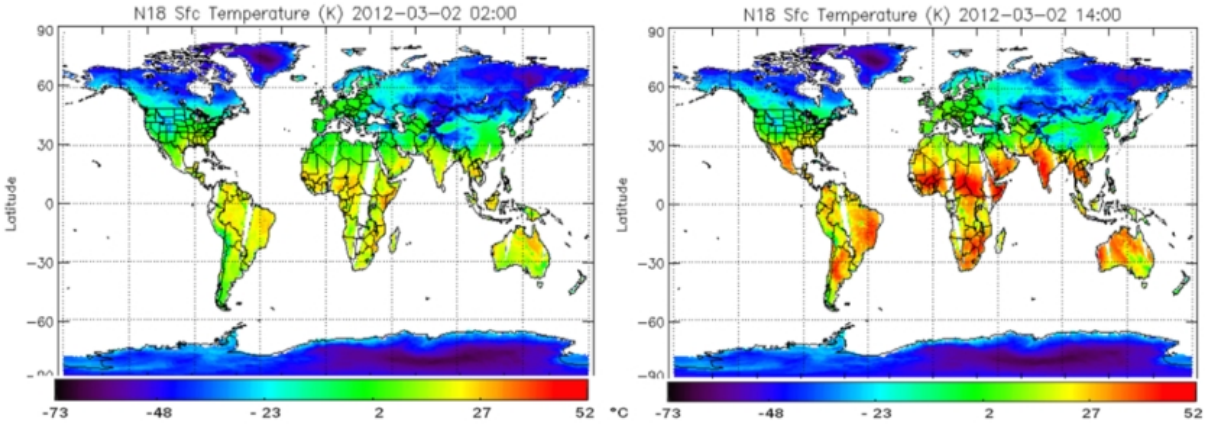


Abb. 3

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**).

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.

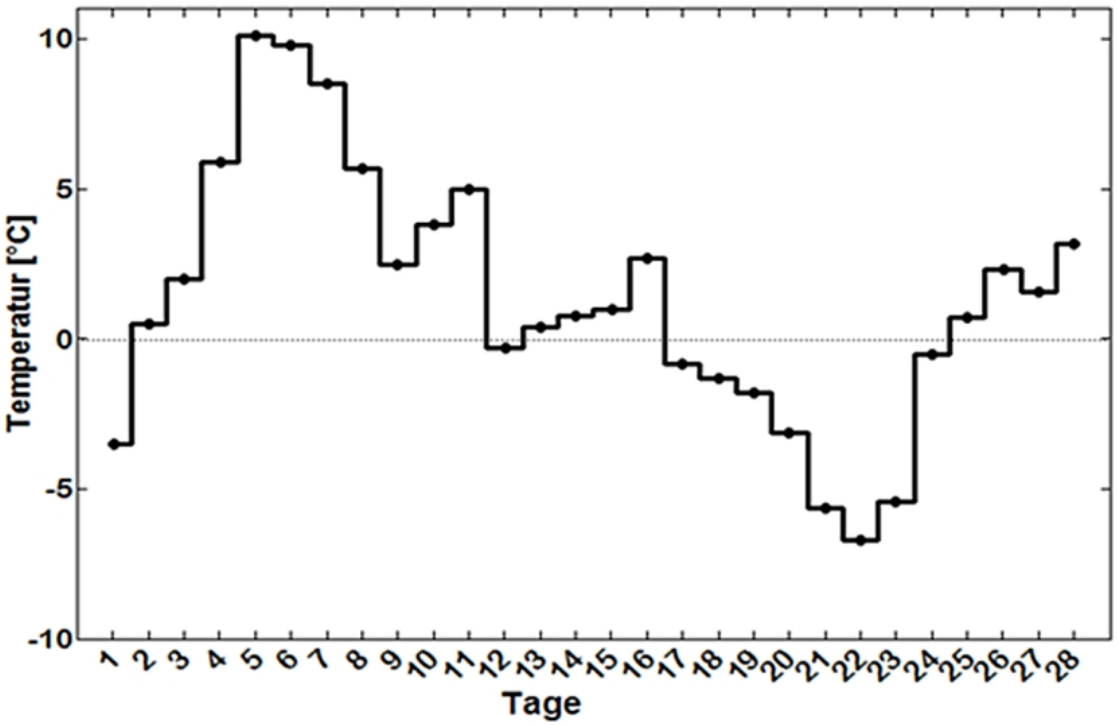


Abb. 5 zeigt die Tagesmittelwerte der Station Braunschweig Völkenrode des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für Februar 2011 dargestellt. Wenn daraus ein Monatsmittelwert gebildet werden soll, muss man aus statistischer Sicht erst einmal untersuchen, welche Art der Mittelwertbildung für diese **Grundgesamtheit**, 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:

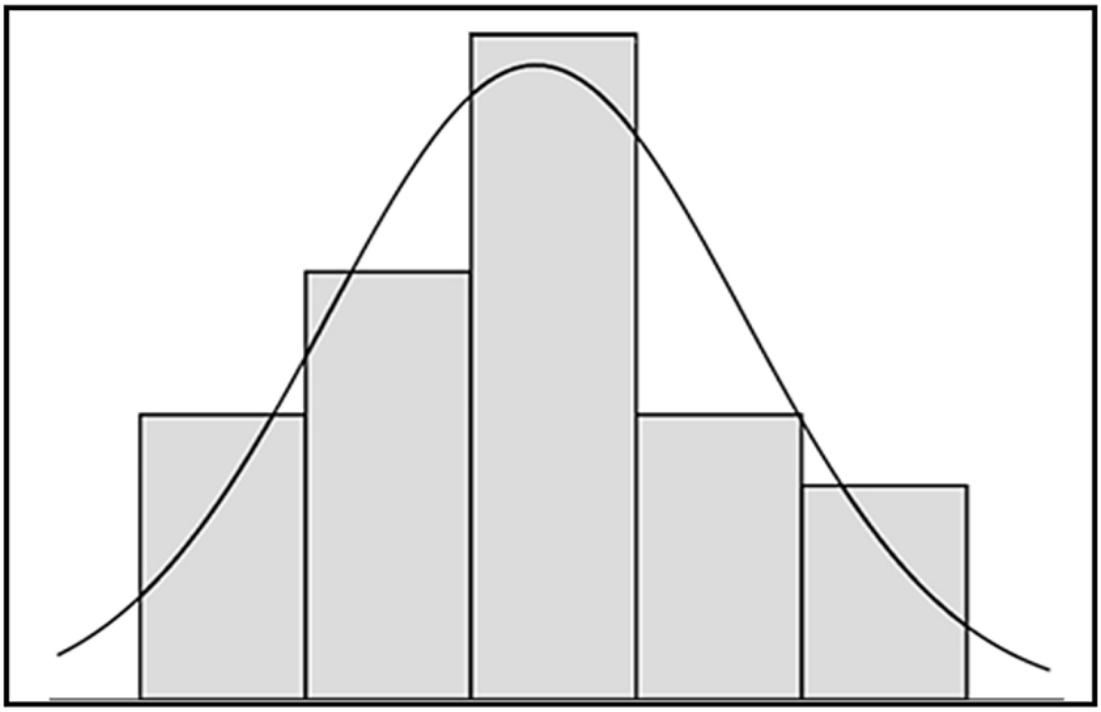


Abb. 6

Wenn die Flächen der Klassen annähernd die Fläche unter der Kurve, die einer

Normalverteilung nach Gauss entspricht, ausfüllen, kann die Grundgesamtheit als normalverteilt betrachtet werden (Abb.6). Dies zu entscheiden gibt es statistische Testverfahren, die in der Wissenschaft routinemäßig am Beginn einer statistischen Auswertung stehen. Für die gezeigten Tagesmittelwerte ist die Bildung eines arithmetischen Mittels demnach zulässig. Hätte der Test das Vorliegen einer normalverteilten Grundgesamtheit abgelehnt, wäre der Median zur Beschreibung der Monatsmitteltemperatur sinnvoll (erlaubt) und ein besserer Repräsentant für den Monatsmittelwert. Aus der aufsteigend angeordneten Einzelwerten wird der Wert bei der halben Anzahl ausgewählt und als Median bezeichnet.

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 **arithmetische Mittel** herum, während die Oktoberwerte unsymmetrisch mit einer Tendenz zu höheren Temperaturen um das das **arithmetische Mittel** verteilt sind.

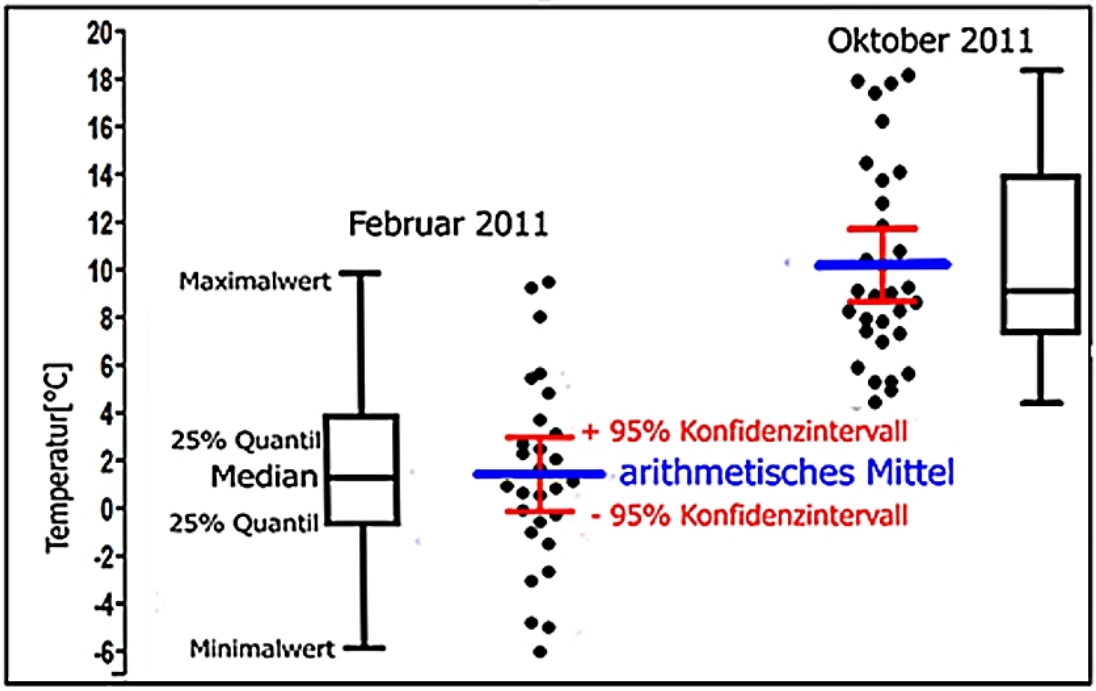


Abb. 7

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 gleich groß 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.

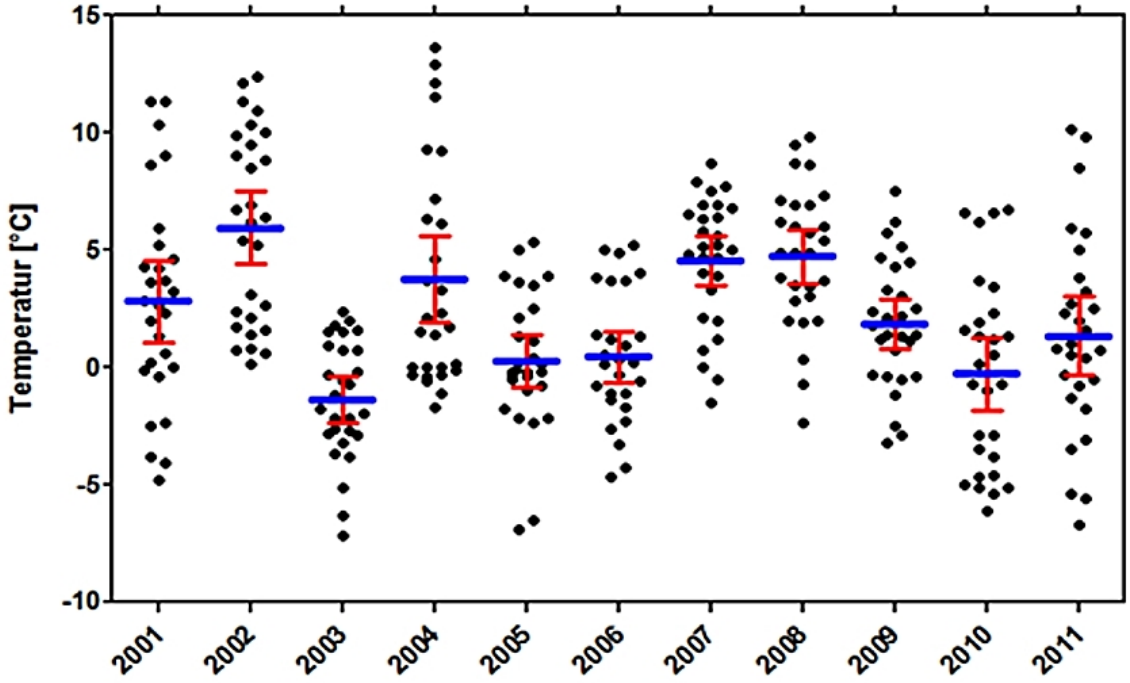


Abb. 8

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.

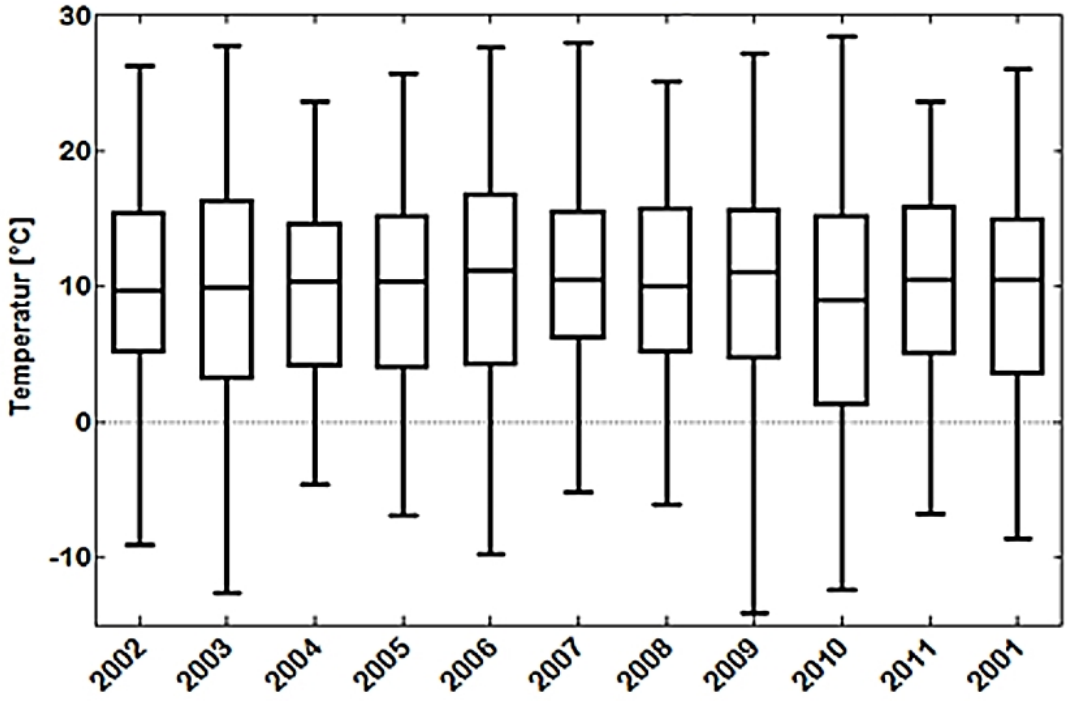


Abb. 9

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

In der Praxis weren 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.

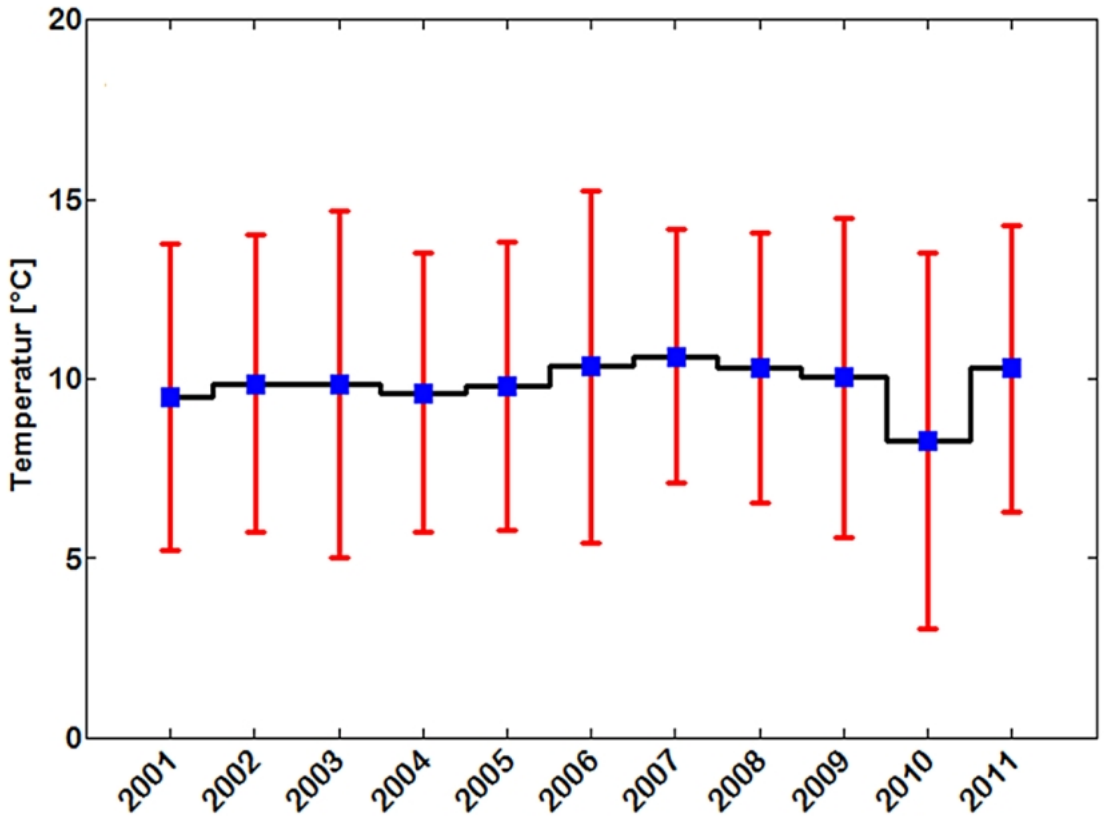


Abb. 10

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.

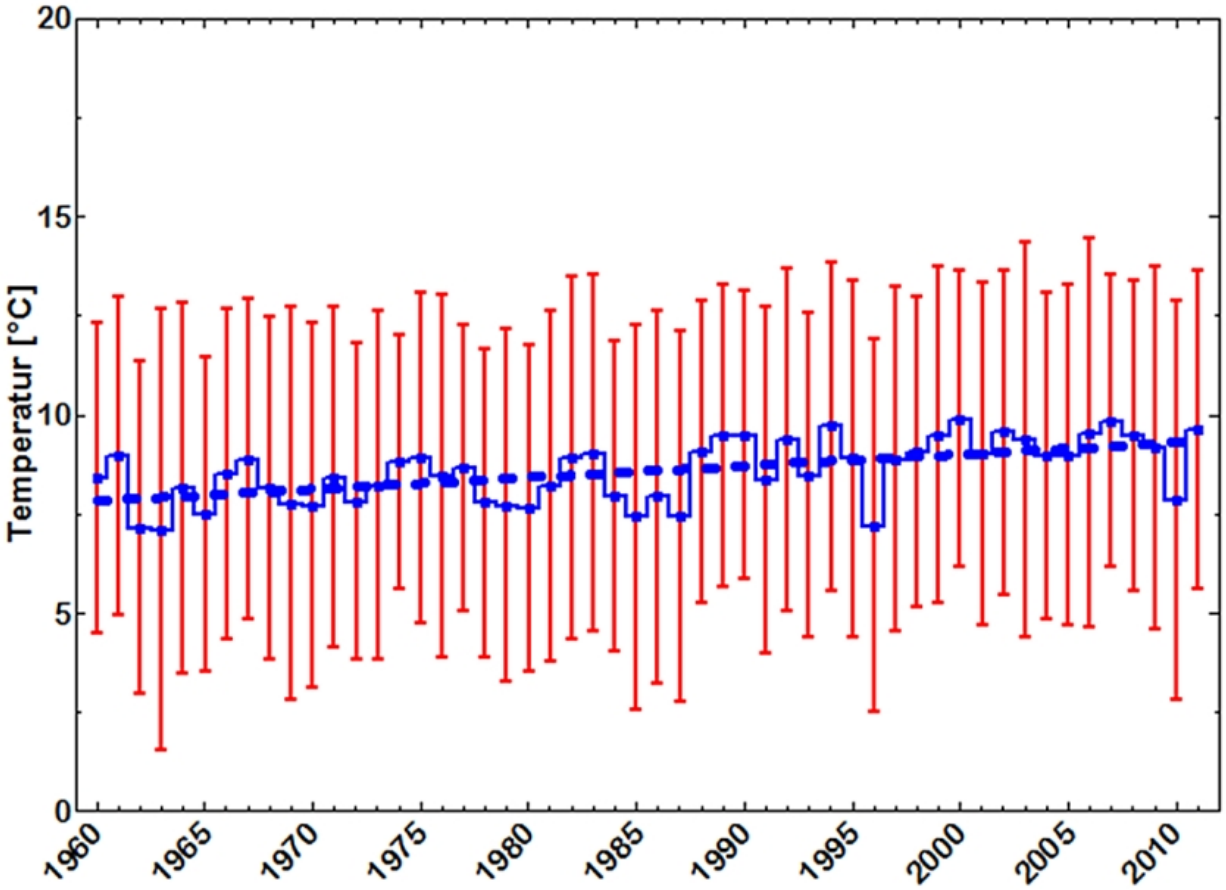


Abb. 11

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**).

Dennoch läßt sich ein Trend berechnen, der durch eine **Steigung** von 0,03 ± 0,006 °C/Jahr der **Regressionsgeraden** charakterisiert wird, für die mit einem **Bestimmtheitsmaß** von **R2** = 0,33 eine beträchtliche Unsicherheit besteht.

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

Tab. 1

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 hervorging, 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 Clmatic Data Center
HadCRUT3	Climatic Research Unit of the University of East Anglia

UAH MSU University of Alabama Huntville
Microwave Sounding Units
RSS MSU Remote Sensing Systems
Microwave Sounding Units

Laure M. Montandon et 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.

GE class	Percentage of land area	Percentage of stations			
	World	GHCNv.2	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

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

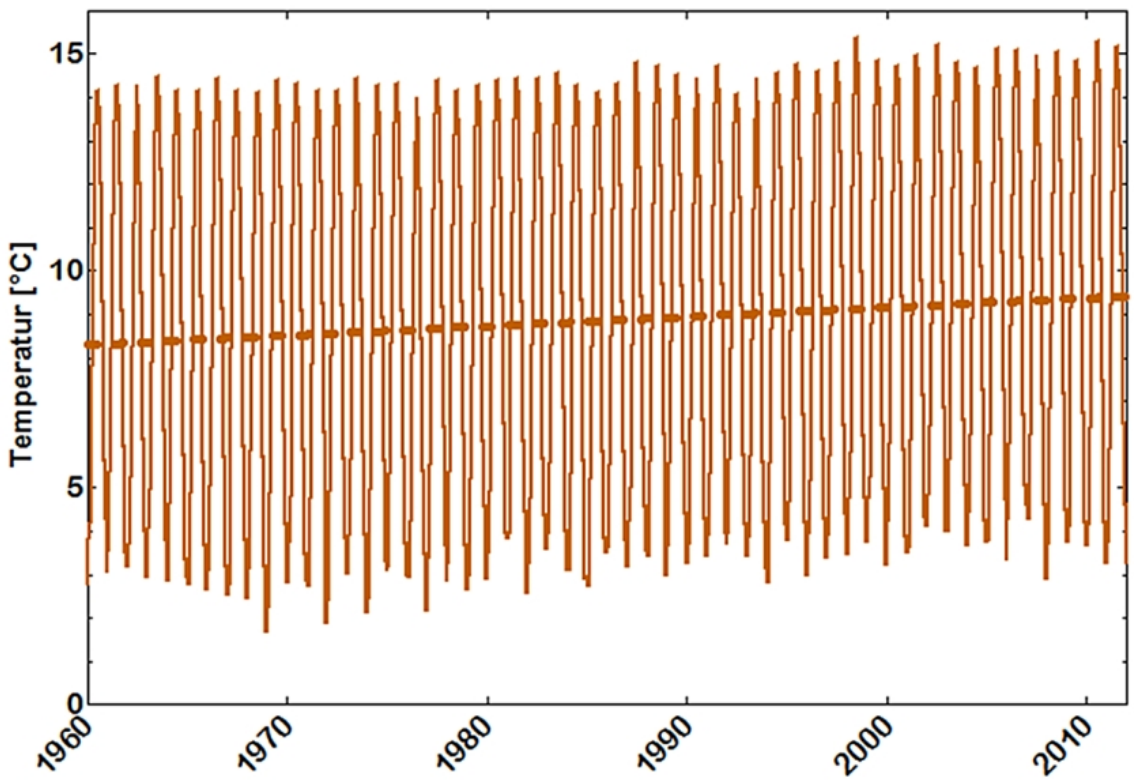
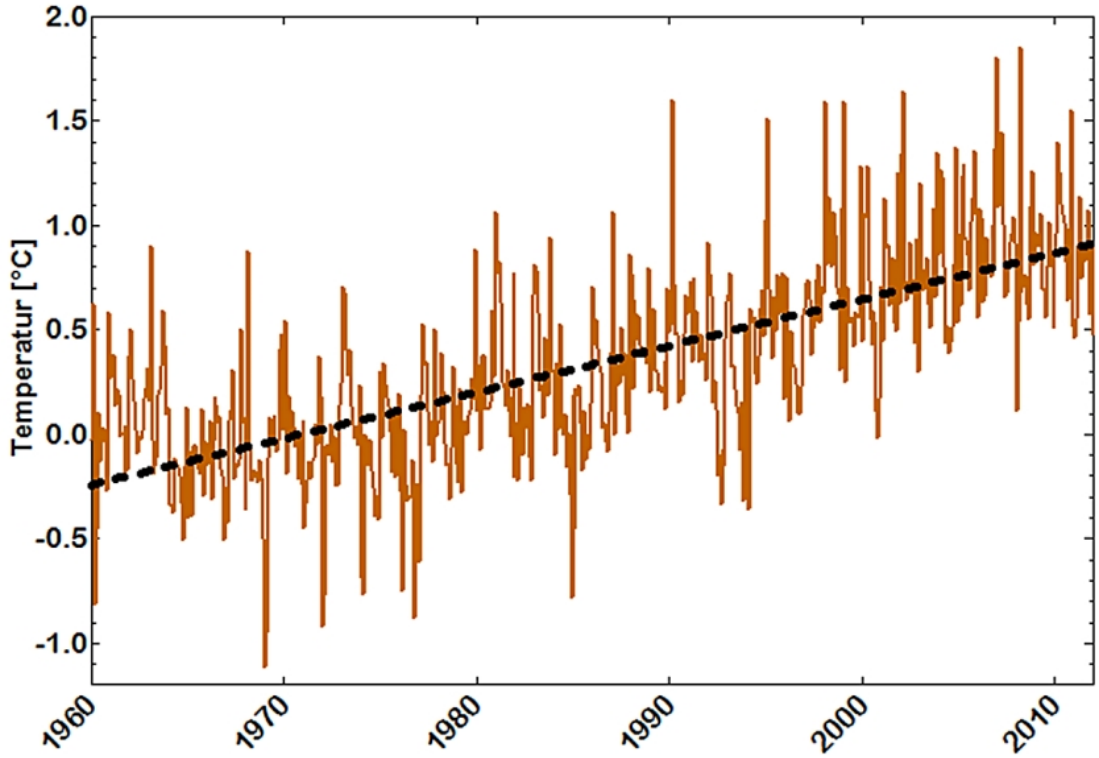


Abb. 12 stellt die Zeitreihe der globalen **monatlichen Mitteltemperaturen** dar, wie sie vom **NCDC** (National Climate Data Center) bereitgestellt wird. Es sei darauf hingewiesen, dass keine Streuungsmaße mitgeteilt werden und daher auch nicht eingezeichnet sind.

Die die Regressionsgerade weist eine Steigung von **0,022** mit einem **Konfidenzintervall** von **± 0,01 °C/Jahr** auf und hat ein äusserst geringes Bestimmtheitsmaß von **R2** = 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-Monatsmittemittel** 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 **R2 = 0,5 nur ein scheinbar größeres Bestimmtheitsmass** für die Regressionsgerade.

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

Da die Erdoberfläche nur zu angenähert einem knappen Drittel (29 %) aus Land, zu gut zwei Ditteln (71%) aber aus Ozeanen besteht, erscheint es sinnvoll, deren Temperaturen zur Berechnung einer Global-Mitteltemperatur einzubeziehen. Früher wurde dazu eine Wasserprobe mit einem Schöpfeimer (Pütz oder Bucket) genommen und die Temperatur des Wassers darin gemessen. Deren Schöpftiefe 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** (**S**ea **S**urface **T**emperatures) bezeichnet.

In **Abb. 14** sind die **NCDC** Zeitreihen für die **SST Monatsmittel-Temperaturen und Anomalien** abgebildet:

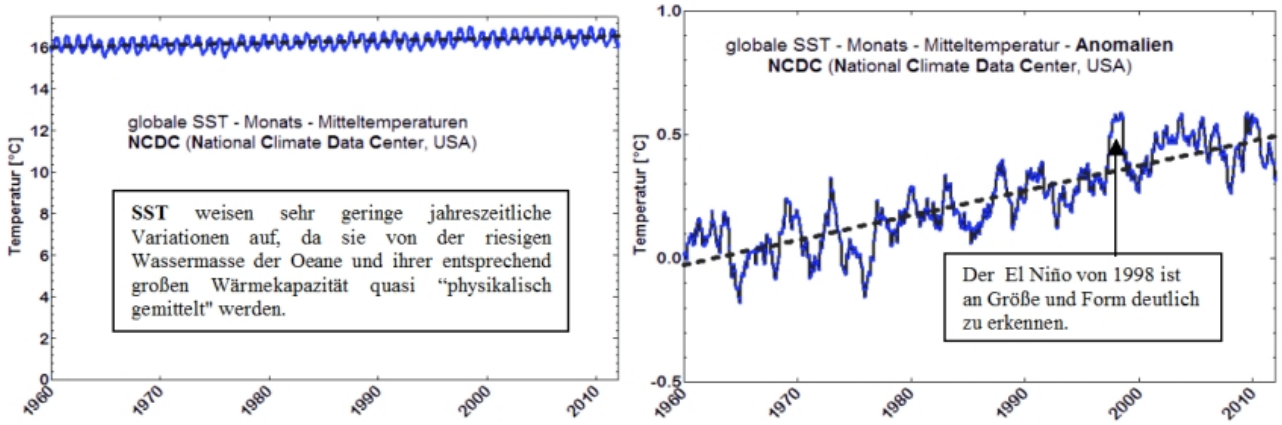


Abb. 14

Die Steigungen der Regressionsgeraden sind mit 0,009 ± 0,001 und 0,01 ± 0,0002 nahezu identisch. Für die Anomalien ergibt sich ein **R2** = 0,7, das aber auf dem Hintergrund fehlender Fehlerfortpflanzung kritisch zu betrachten ist.

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

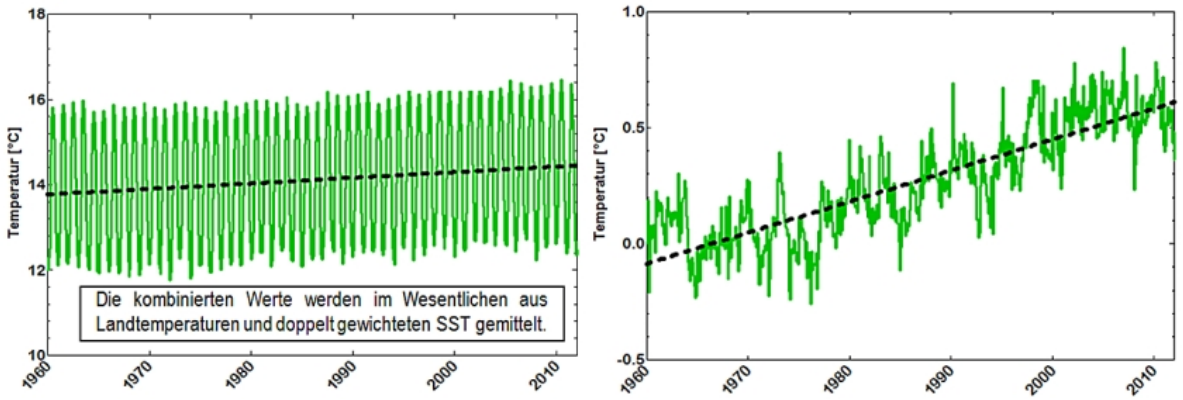


Abb. 15

Die Steigungen der Regressionsgeraden fallen mit **0,013 ± 0,004** bzw. **0,013 ± 0,0004** auch hier praktisch gleich aus. Das **Bestimmtheitsmaß** ist mit **R2** = **0,7** für die **Mittelwert-Anomalien** größer als für die Mitteltemperaturen mit **R2** = **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**.

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

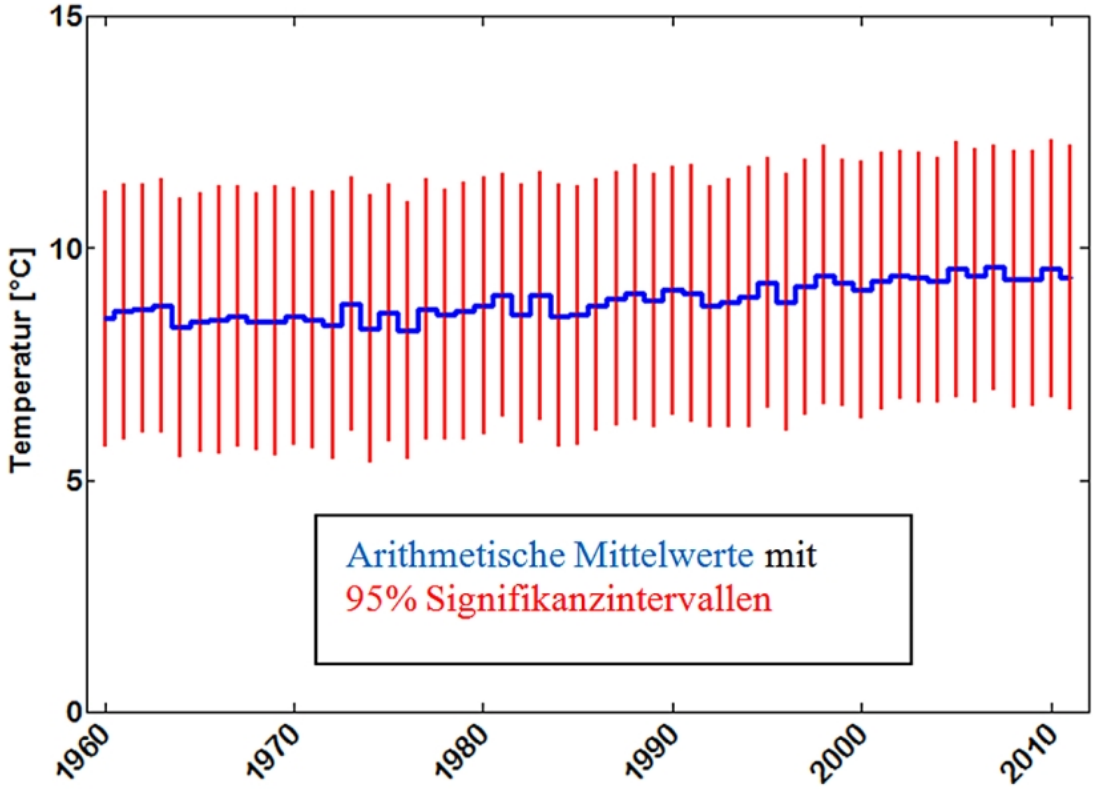


Abb. 16

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.*

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 Konfindenzintervallen als sinnlos zu betrachten.

Autor: 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

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/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU21/klimadaten/german/download__gebietsmittel__temp,templateId=raw,property=publicationFile.xls/download_gebietsmittel_temp.xls

zu Abb.12 u. 13
http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCabsLand.csv
bzw. http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCanomLand.csv

zu Abb.14 a u.b
http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCabsOcean.csv
bzw. http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCanomOcean.csv

zu Abb.15 a u. b http://junksciencearchive.com/MSU_Temps/NCDCabs.csv

bzw. http://junksciencearchive.com/MSU Temps/NCDCanom.csv

Der gesamte Text kann als pdf im Anhang herunter geladen werden

Related Files

- schulze_temperatur_statistik_-pdf