

1.6 Was charakterisiert die aktuelle, vom Menschen verursachte Erderwärmung?

JOSÉ L. LOZÁN (STAND 3.2017)

Was charakterisiert die aktuelle, vom Menschen verursachte Erderwärmung? Die aktuelle Erderwärmung ist durch einen schnellen Anstieg der Lufttemperatur über der Erdoberfläche charakterisiert. Im Mittel nahm die globale Lufttemperatur von 0,08 °C/Jahrzehnt in den 1970er Jahren auf 0,60°C/Jahrzehnt in den 2000er Jahren zu. Mit Ausnahme des Jahres 1998 wurden alle 10 Höchstwerte nach 2000 beobachtet. 2016 war das dritte Jahr hintereinander, in dem die globale mittlere Jahrestemperatur gebrochen wurde. Das Jahr 2014 war das erste Jahr nach 1990, in dem ein Temperaturrekord in Abwesenheit von »El-Niño«-Bedingungen aufgestellt wurde. 2015 und 2016 machte die Erwärmung einen »Sprung«, möglicherweise als Folge eines sehr langen und starken »El-Niño«-Ereignisses. Die globale mittlere Jahrestemperatur über den Landgebieten lag 1,33 °C (2015) und 1,44 °C (2016) und über dem Meer 0,74 °C (2015) und 0,75 °C (2016) über dem langfristigen Mittelwert 1901-2000. Das war gegenüber 2014 ein Anstieg um 0,42°C (2016) über dem Land und 0,12 °C (2016) über dem Meer. Das stellt einen ungewöhnlich starken Anstieg dar, da die bisherigen Temperaturrekorde mit Zunahmen von nur 0,01 bis 0,04 °C gebrochen wurden.

What characterizes the current global warming caused by man? The current global warming is characterized by a rapid increase in air temperature on the earth's surface. The global mean temperature has increased by 0.08 °C/decade in the 1970s to 0.60 °C/decade in the 2000s. With the exception of 1998, the 10 highest annual average values were observed after the year 2000. 2016 was the third year consecutive with a new global mean temperature record. 2014 was the first year after 1990 in which a temperature record in the absence of El Niño conditions was broken. In 2015 and 2016 warming »jumped« as a result of a very long and strong »El Niño«-event. The global mean annual temperature on the ground was 1.33 °C (2015) and 1.44 °C (2016) above the long-term average from 1901-2000 and over the sea 0.74 °C (2015) and 0.75 (2016). Compared to the temperature record of 2014 this was a rise of 0.42 °C (2016) over land and 0.12 °C (2016) above the sea. This was an unusually high increase, then temperature records had been broken until now by an increase of only 0.01 to 0.04 °C.

Die Temperatur ist wahrscheinlich die einflussreichste aller Klimavariablen. Seit Beginn der globalen Temperaturaufzeichnungen etwa im Jahr 1880 nimmt die Lufttemperatur in Oberflächennähe unter Schwankungen zu. 2016 lag die Lufttemperatur über dem Land um 1,44 °C (2014 1,02 °C) und über der Ozeanoberfläche im Mittel um 0,75 °C (2014 0,63 °C) über dem langfristigen Mittelwert (1901-2000). Diese Erhöhung von 2016 gegenüber 2014 von 0,42 °C und 0,12 °C stellt einen ungewöhnlich starken Anstieg dar. 2016 und auch 2015 standen jedoch teilweise unter dem Einfluss eines starken »El-Niño«-Ereignisses.

Regional gibt es deutliche Unterschiede. In den Gebirgsregionen ist die Erwärmung doppelt so stark. Viele Pflanzen und Tiere dieser Regionen sind von dem dort herrschenden Mikroklima extrem abhängig. In der Arktis kann die mittlere Erwärmung 4 °C und mehr betragen. In Deutschland liegt die mittlere Erwärmung deutlich über dem globalen Mittelwert; sie erreichte 2014 den Rekordwert von 2,03 °C über dem Mittelwert von 1901 bis 2000 (s. unten »Erwärmung in Deutschland«).

In diesem Artikel werden als Datenquelle für die Schätzwerte der global gemittelten oberflächennahen Lufttemperatur für Landgebiete und Ozeane sowie Hemisphären und Jahreszeiten die NOAA-Daten (*National Oceanic and Atmospheric Administration, USA*) benutzt, die seit 1880 verfügbar sind. Es ist aber zu erwähnen, dass es darüber hinaus zwei weitere wichtige Datenquellen gibt: *Climatic Research Unit (CRU)*, *University of East Anglia*, Norwich, UK, seit 1850, und

Goddard Institute for Space Studies (GISS), NASA, USA, seit 1880. Diese drei Datensätze sind gleichwertig. Da man in der Regel mit den Abweichungen von einem langfristigen Mittelwert, den sog. Anomalien, arbeitet, sind die kleinen vorhandenen Unterschiede vernachlässigbar.

Im vorliegenden Kapitel soll die Erderwärmung global und nach Gebieten beschrieben werden.

Globale Erwärmung

Dank der weltweit gesammelten Wetterdaten können wir die globale Klimaentwicklung seit etwa 150 Jahren recht zuverlässig beurteilen. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass die jährliche mittlere globale Lufttemperatur in Bodennähe seit Anfang des 20. Jhs. ansteigt. Die Erwärmung erreichte in den 1940er Jahren den ersten Höhepunkt (*Abb. 1.6-2*). Nach einer Phase ohne Erwärmung steigt die Kurve seit den 1970er Jahren wieder, und zwar verstärkt, an. Die höchsten Erwärmungsbeträge werden in Gebirgsregionen und im Breitengürtel ab 70° N über den Kontinenten im Winter und Frühjahr beobachtet (s. *Abb. 1.6-5*). 1998 erreichte die globale Erwärmung als Folge eines sehr starken El-Niño den höchsten Wert für das 20. Jahrhundert: 0,63 °C über dem Mittelwert 1901-2000. 2015-2016 erlebten wir erneut ein sehr starkes El-Niño-Ereignis, und die globale Erwärmung (Land & Ozean) lag bei 0,90 °C im Jahr 2015 und 0,94 °C im Jahr 2016 über dem Mittelwert 1901-2000. Der bestehende Rekord aus dem Jahre 2014 wurde um 0,16 bzw. 0,20 °C übertrof-

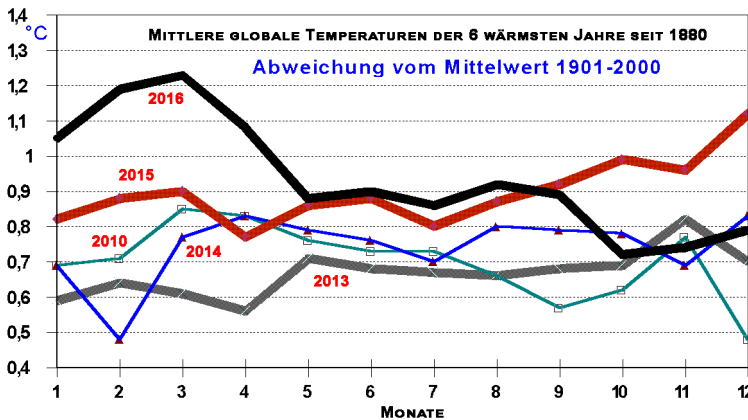


Abb.1.6-1: Abweichung der mittleren globalen Monatstemperatur (Land & Meer) vom langfristigen Mittelwert von 1901 bis 2000. Dargestellt werden die fünf wärmsten Jahre 2016, 2015, 2014, 2010 und 2013 seit Beginn der Wetteraufzeichnung im Jahre 1880. Datenquelle: www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global.

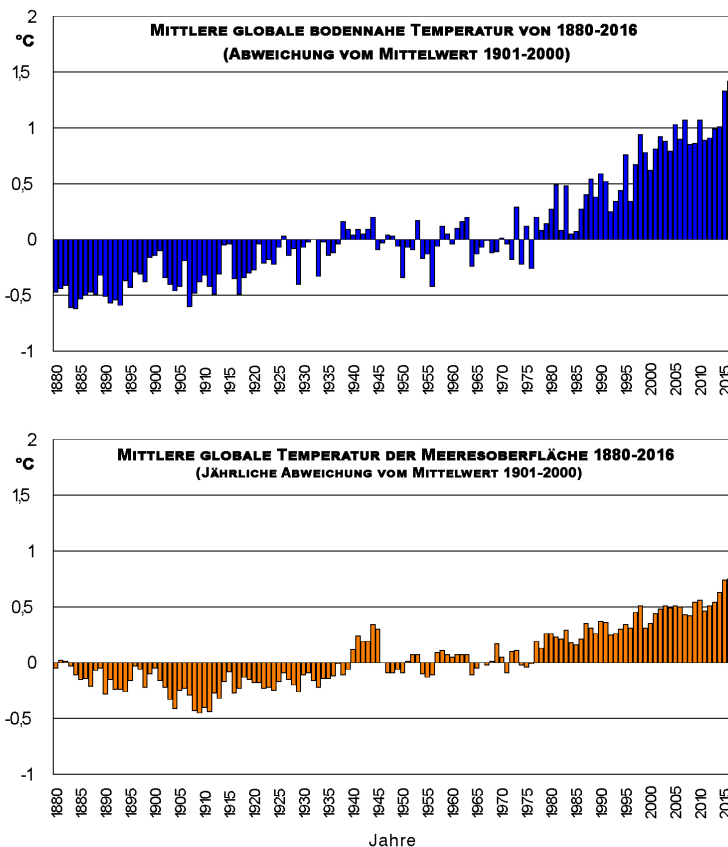


Abb.1.6-2: Entwicklung der mittleren globalen Jahrestemperatur über den Landgebieten (oben) und an der Meeresoberfläche (unten) von 1880 bis 2016 als Anomalie (Abweichung) vom langfristigen Mittelwert von 1901 bis 2000. Datenquelle: www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global.

fen. Die Ursachen für diesen »Sprung« sind nicht ganz eindeutig erklärbar. Eine wichtige Rolle spielte die Stärke und Dauer des El Niño-Ereignisses, das seit Frühjahr-2015 bis Anfang Sommer-2016 andauerte. Während des El-Niño erwärmt sich das Oberflächenwasser im äquatorialen Pazifik, und dabei wird ein Teil der Wärme auch an die darüber liegende Luft abgegeben. Wie *Abb. 1.6-1* zeigt, waren die Jahre 2015 und 2016 mit Abstand wärmer als die Jahre 2014, 2010 und 2013, die die wärmsten Jahre vor 2015 waren (*Tab. 1.6-1*). Aufgrund der bereits vorliegenden Daten wird 2016 als das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in die Geschichte eingehen.

Vergleich der Erwärmung der Meeres- und Landoberfläche

Global ist die Erwärmung der Meeresoberfläche wegen der effektiven Durchmischung des Wassers und seiner größeren Wärmekapazität geringer als die der Landfläche. Die erwärmten Schichten erreichen im Meer bis jetzt meist nur einige 100 m Tiefe. Da die mittlere Ozeantiefe 3.800 m beträgt, werden die Erwärmung der Meere und damit auch die Ausdehnung des Meerwassers Jahrhunderte andauern, sogar wenn sich die Erwärmung der Atmosphäre nicht fortsetzen würde. Die heutige Ausdehnung des Meerwassers ist daher nur ein Bruchteil der gesamten schon projizierten Ausdehnung.

Seit den 1950er Jahren nimmt die mittlere globale Temperatur des Ozeans an der Oberfläche zu und sie lag 2015 um $0,74^{\circ}\text{C}$ und 2016 um $0,75^{\circ}\text{C}$ über dem langfristigen Mittelwert von 1901-2000. Im Jahr

2014 betrug die Anomalie 0,63 °C. Diese waren die drei wärmsten Jahre. An der 4. und 5. Stelle liegen die Werte für 2010 mit 0,56 °C und für 2013 mit 0,54 °C. Wenn wir diese fünf Jahre betrachten, stieg 2015 und 2016 die Erwärmung der Meere »sprunghaft« an (Abb. 1.6-2).

Die mittlere globale bodennahe Lufttemperatur war im Jahr 2015 ebenfalls sehr hoch und betrug 1,33 °C und 2016 sogar 1,44 °C über dem langfristigen Mittelwert. An der 3. und 4. Stelle liegen die Werte der Jahre 2007 und 2010 mit 1,08 °C und 1,07 °C über dem Durchschnitt des 20. Jahrhunderts. Die Werte der Jahre 2015 und 2016 mit einer Erhöhung von über 0,3 °C gegenüber 2007 und 2008 wurden bis jetzt seit Beginn der Messungen in 1880 nicht beobachtet. Diese ungewöhnliche »sprunghafte« Temperaturerhöhung wird als Folge des sehr langen und starken »El-Niño«-Ereignisses 2015-2016 diskutiert. Temperatur-Rekorde wurden bis jetzt durch Zunahmen von nur 0,01 bis 0,04 °C gebrochen.

Bemerkenswert sind die Unterschiede in den Temperaturschwankungen während des Jahres. Da an Land nur eine dünne Schicht erwärmt wird, sind dort die Schwankungen zwischen den Monatstemperaturen erheblich. Beispielsweise betrug an Land die mittlere Anomalie 0,74 °C im Oktober 2016 und 2,39 °C im März 2016, das ist eine Differenz von 1,65. In den Ozeanen wurde dagegen im Laufe des Jahres 2016 ein maximaler Unterschied der Temperaturanomalie von 0,23 °C (0,85 °C im Januar und 0,62 °C im Dezember) beobachtet.

Vergleich der Erwärmung in der südlichen und nördlichen Erdhälfte

Die Oberfläche der südlichen Erdhälfte besteht zu 19% aus Land, aber zu 81% aus Meer, die der nördlichen Erdhalbkugel zu 39% bzw. 61%. Die damit zusammenhängenden wichtigen Gründe für die stärkere Erwärmung über Land in der nördlichen Erdhalbkugel sind die schnelle Aufheizung (v.a. der Wälder und anderen Vegetationsflächen) sowie der Eis- und Schnee-Albedo-Effekt, der wegen der großen Landmassen in den höheren Breiten der Nordhalbkugel deutlich stärker zur Geltung kommt als auf der Südhalbkugel. In den letzten Jahrzehnten bleibt der Schnee immer kürzere Zeit liegen und die Gletscher sind kleiner geworden; insgesamt hat sich die Eisbedeckung in der Nordhemisphäre

stärker reduziert und damit auch der Albedo-Effekt.

Die fünf wärmsten Jahre über den **Kontinenten** in der Nord- und Südhemisphäre bis jetzt sind:

In der Nordhemisphäre:

2016: 1,56 °C - 2015: 1,43 °C - 2007: 1,22 °C
2010: 1,17 °C und 2005: 1,09 °C.

In der Südhemisphäre:

2015: 1,04 °C - 2016: 1,03 °C - 2005: 0,96 °C
2009: 0,94 °C und 2013: 0,93 °C.

Diese Anomalien gegenüber dem Mittelwert 1901-2000 zeigen, dass die Erwärmung in der Nordhemisphäre deutlich höher als in der Südhemisphäre ist (Abb. 1.6-3).

Im **Meer** sind die entsprechenden Unterschiede etwas geringer. Die Abweichungen der fünf höchsten Jahresmittelwerte vom langfristigen Mittelwert 1901-2000 sind:

In der Nordhemisphäre:

2015: 0,88 °C - 2016: 0,85 °C - 2014: 0,75 °C
2010: 0,60 °C und 2005: 0,59 °C.

In der Südhemisphäre:

2016: 0,69 °C - 2015: 0,64 °C - 2014: 0,56 °C
2009: 0,54 °C und 2010: 0,53 °C.

Vergleich der Erwärmung zwischen Mai-September (»Sommer«) und November-März (»Winter«)

Wie Abb. 1.6-4 zeigt, ist die Erwärmung von November bis März höher als von Mai bis September. Gezeigt wird die Erwärmung von 1880 bis 2016 über den Kontinenten in der Nordhalbkugel. Wie daraus ersichtlich, findet man im »Winter« nach 1994 zwölf Werte, die mehr als 1,0 °C wärmer als der langfristige Mittelwert sind. Im »Sommer« findet man in dieser Zeit nur fünf Jahre mit solchen Werten. Wie oben beschrieben, muss die Schwächung des Albedo-Effekts aufgrund der Verringerung der hellen Fläche im Winter von Bedeutung sein.

Geographische Verteilung der Erwärmung

Aufgrund der hier dargestellten Kurven darf man nicht zu der Schlussfolgerung kommen, dass die Temperaturänderung räumlich homogen ist. Es gibt Regionen mit starker und mit geringer Erwärmung. Beispielsweise

Tab. 1.6-1: Die 10 wärmsten Jahre (Land & Meer) seit 1880 und ihre Abweichungen vom Mittelwert 1901-2000. Mit Ausnahme von 1998 liegen alle nach 2000.

1: 2016 2: 2015 3: 2014 4: 2010 5: 2013 6: 2005 7: 1998 8: 2009 9: 2012 10: 2007
0,93 °C 0,90 °C 0,74 °C 0,70 °C 0,66 °C 0,65 °C 0,63 °C 0,63 °C 0,62 °C 0,61 °C

Die Jahre 2003, 2006 und 2007 sind mit einer Anomalie von ca. 0,61 °C etwa gleich warm gewesen.

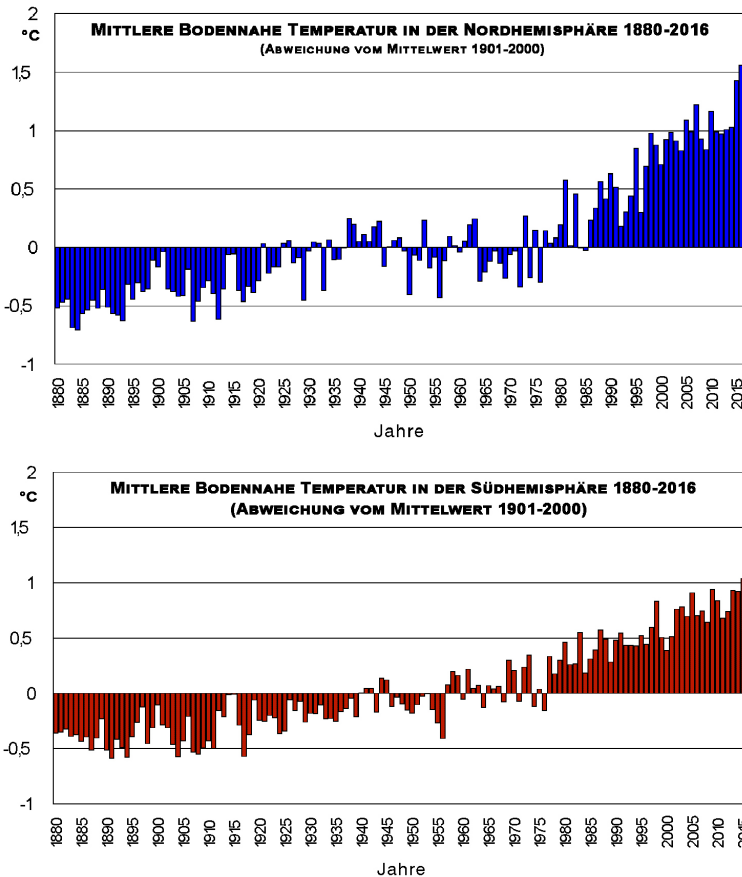


Abb. 1.6-3: Vergleich der mittleren bodennahen Jahrestemperatur in der Nord- (oben) und Südhemisphäre (unten) von 1880 bis 2016. Datenquelle: www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/Northern_Southern_Hemisphere_Land_Temperature_Anomalies.

wurden im April 2015 sehr hohe Werte (teilweise Rekordwerte) in Teilen des Golfs von Alaska sowie des nordöstlichen und äquatorialen Pazifik gemessen. Auch im nördlichen Zentralrussland zeigten die Thermometer im April 2015 Werte von 5 °C über dem langfristigen Durchschnitt. Sehr geringe Erwärmung zeigen seit Langem Teile des Nordwestatlantiks zwischen Kanada und Großbritannien (Abb. 1.6-5).

Erwärmung in Deutschland

In Abb. 1.6-7 wird die mittlere jährliche bodennahe Temperatur weltweit der in Deutschland gegenübergestellt. Dargestellt wird die Abweichung der Jahresmittelwerte vom jeweiligen langfristigen Mittelwert 1901-2000. Als erstes erkennt man, dass die untere Graphik für die weltweite Temperaturverteilung besser geglättet ist als die obere. Das liegt zum einen daran, dass die Anzahl der Werte weltweit größer ist als die in Deutschland allein. Ferner gleichen sich die Werte aus Regionen mit starken und geringen Extremen weltweit aus. Aus beiden Graphiken ist ersichtlich, dass die Erwärmung in Deutschland deutlich stärker ist als global. Der Mittelwert der Jahrestemperatur zwischen 1901 und 2000 betrug 8,266 °C. 15 Jahre in Deutschland (1934, 1989, 1990, 1992, 1994,

1999, 2000, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, 2011, 2014, 2015 und 2016) weisen Werte auf, die >1° höher sind als der langfristige Mittelwert von 8,266 °C. Die Zahl dieser Werte pro Jahrzehnt nimmt zu. So wurden sie zweimal in den 1980er, viermal in den 1990er und fünfmal in den 2000er Jahren beobachtet. Das wärmste Jahr war 2014 mit einer mittleren Temperatur von 10,3 °C. Das ist 2,03 °C über dem langfristigen Mittelwert. Global über den Kontinenten waren nur die Jahre 2005, 2007, 2010, 2014 und 2015 sowie 2016 >1° wärmer als der Mittelwert 1901-2000 (DWD-Daten, siehe Kaspar et al. 2013).

In Abb. 1.6-6 werden die zehn wärmsten Jahre in Deutschland gezeigt. Mit Ausnahme von 1934, 1994 und 1999 liegen alle diese Jahre nach 2000.

Schlussbetrachtung

In diesem Kapitel wird gezeigt, dass die globale Erwärmung (Land & Meer) zur Zeit etwa 1 °C über dem Durchschnitt des 20. Jahrhunderts liegt. Betrachtet man sie nur über dem Land, dann ist die Erwärmung mit 1,33 °C im Jahr 2015 und 1,50 °C bis September 2016 über dem o.g. Referenzwert erheblich höher. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die Erwärmung im Jahr 2015 und bis Mitte 2016 unter dem Einfluss des starken El-Niño-Ereignisses steht.

Bei der in diesem Kapitel beschriebenen Erderwärmung handelt es sich um die mittlere Entwicklung. Es gibt daher Regionen mit einer geringeren und mit einer hö-

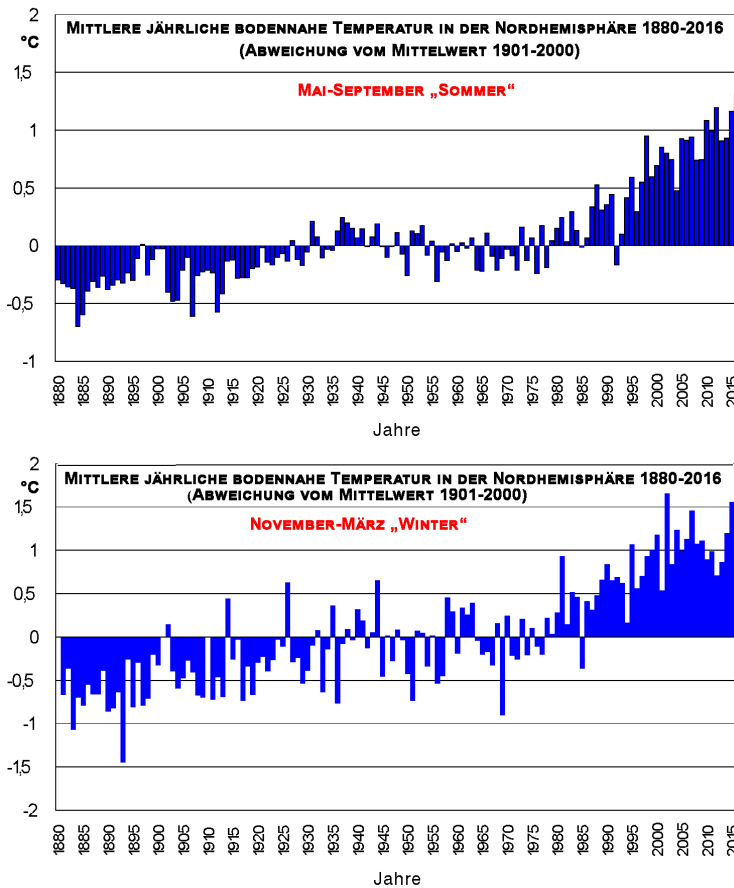


Abb. 1.6-4: Vergleich der mittleren bodennahen Temperatur zwischen »Sommer« (oben) und »Winter« (unten) in der Nordhemisphäre. Datenquelle: [www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/ Northern Hemisphere Land Temperature Anomalies](http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/Northern%20Hemisphere%20Land%20Temperature%20Anomalies).

Mittlere globale jährliche Erwärmung 2007-2016 (Abweichung vom Mittelwert 1901-2000)

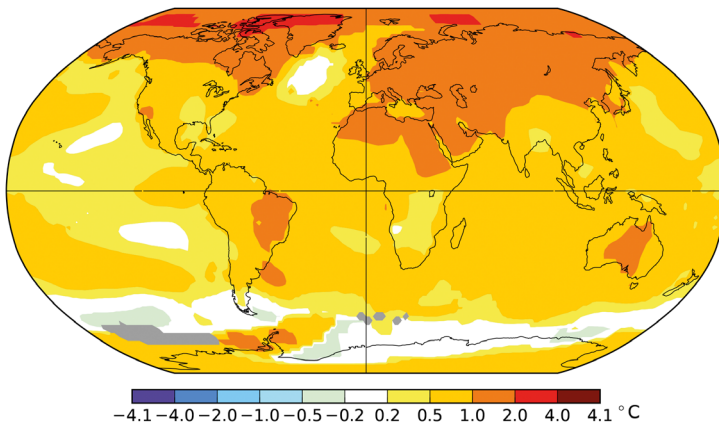


Abb. 1.6-5a: Verteilung der Abweichung der Jahresmitteltemperatur (Land & Meer) der Jahre 2007-2016 vom dem langfristigen Mittelwert 1901-2000 (nach NASA GISS). Land: GISS analysis, Ocean: ERSST_v4. Graue Fläche=Missing Data. Die Graphik deckt mit Hilfe von Dateninterpolation auch die hohen Breiten ab, da dort nur wenige Messungen vorliegen, die meist aus Satelliten-Beobachtungen stammen.

heren Erwärmung. Besonders besorgniserregend für die Biodiversität sind die Regionen mit einer Erwärmung von weit über 2° C. Hierzu gehören z.B. die Gebietsregionen mit ihren vielen Mikroklimata. Hier leben hochspezialisierte Pflanzen und Tiere, die auf diese lokalen Umweltbedingungen angewiesen sind und nur wenige Ausweichmöglichkeiten haben. Noch höher ist die Erwärmung in der arktischen Region nördlich von 60° N. Stark betroffen sind Alaska und Westkanada. Hier liegt die Erwärmung teilweise über 4 °C über dem langfristigen Mittelwert. Riesige Flächen von Nadelwäldern wurden in Alaska und auch in den westlichen USA durch Insekten, bes. durch Borkenkäfer, vernichtet, die sich unter den für sie günstigen Witterungsverhältnissen als eine Plage vermehrt haben (s. Kap. 3.14 - KRENGEL & SEIDEL).

Literatur

- BECKER, E. (2015): July 2015 El Niño update: Bruce Lee? www.climate.gov/news-features/blogs/ens0/july-2015-el-ni%C3%B1o-update-bruce-lee.
- HUPFER, P., F.-M. CHMIELEWSKI & H. PETHE (Hrsg.) (2005): Witterung und Klima: Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 11. Auflage. Vieweg & Teubner Verlag, 554 S.
- IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- KASPAR, F., G. MÜLLER-WESTERMEIER, E. PENDA, H. MÄCHEL et al. (2013): Monitoring of climate change in Germany – data, products and services of Germany's National Climate Data Centre, Adv. Sci. Res., 10, 99-106, doi:10.5194/asr-10-99-2013, 2013.
- NOAA (2016): www.ncdc.noaa.gov/sotc/summary-info/global/201506.

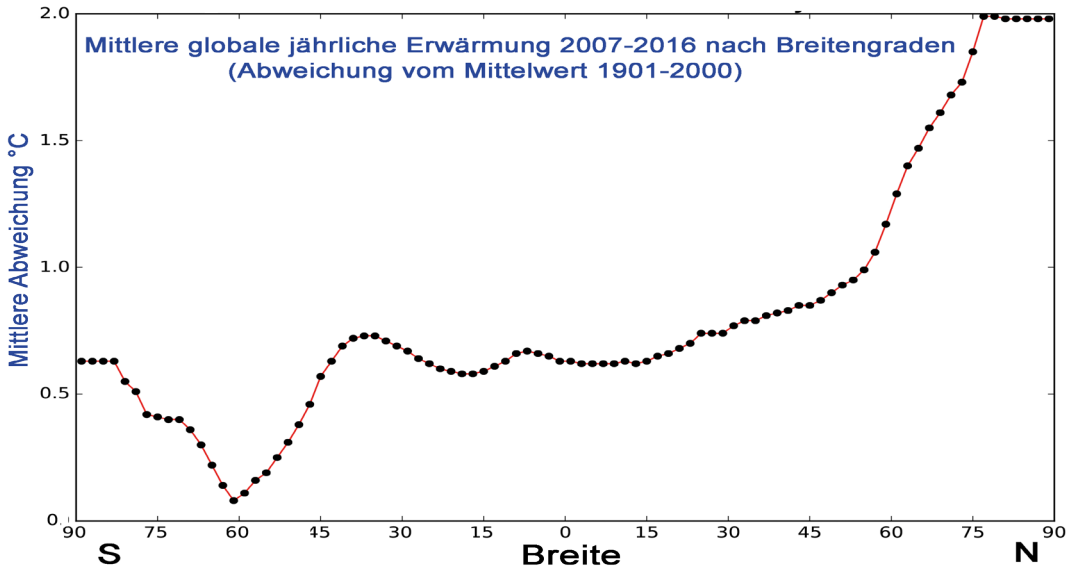


Abb. 1.6-5b: Abweichung der Jahresmitteltemperatur (Land & Meer) der Jahre 2007-2016 vom dem langfristigen Mittelwert 1901-2000 in Abhängigkeit von der geographischen Breite (nach NASA_GISS). Die Graphik zeigt die deutlich stärkere Erwärmung ab ca. 60°N.

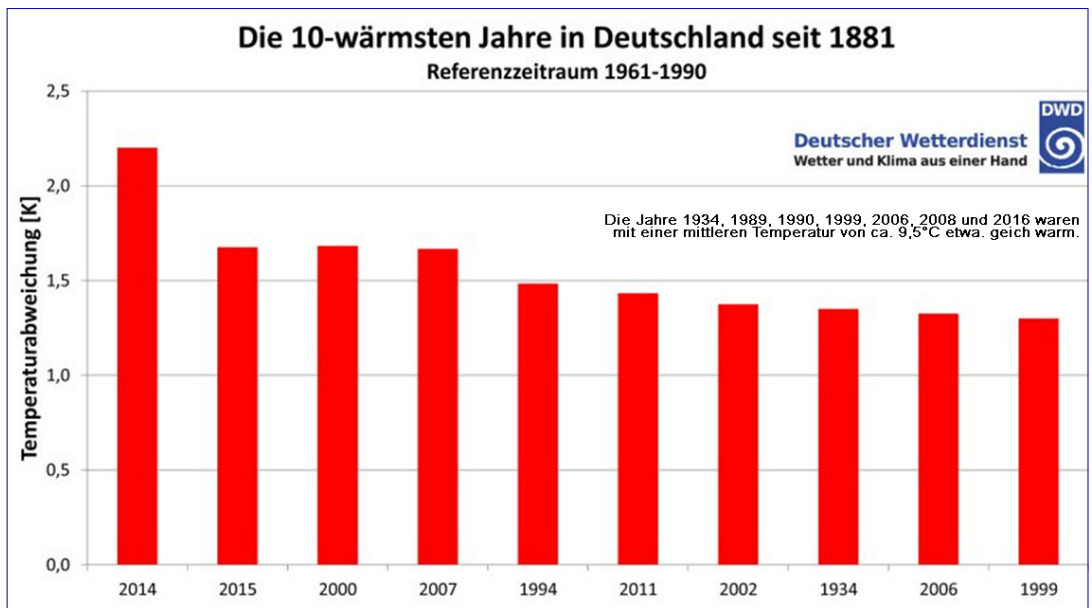


Abb. 1.6-6: Die zehn wärmsten Jahre Deutschlands - dargestellt wird die Abweichung der Jahresmittelwerte vom jeweiligen langfristigen Mittelwert 1961-1990 (Quelle: Deutscher Wetterdienst - ergänzt).

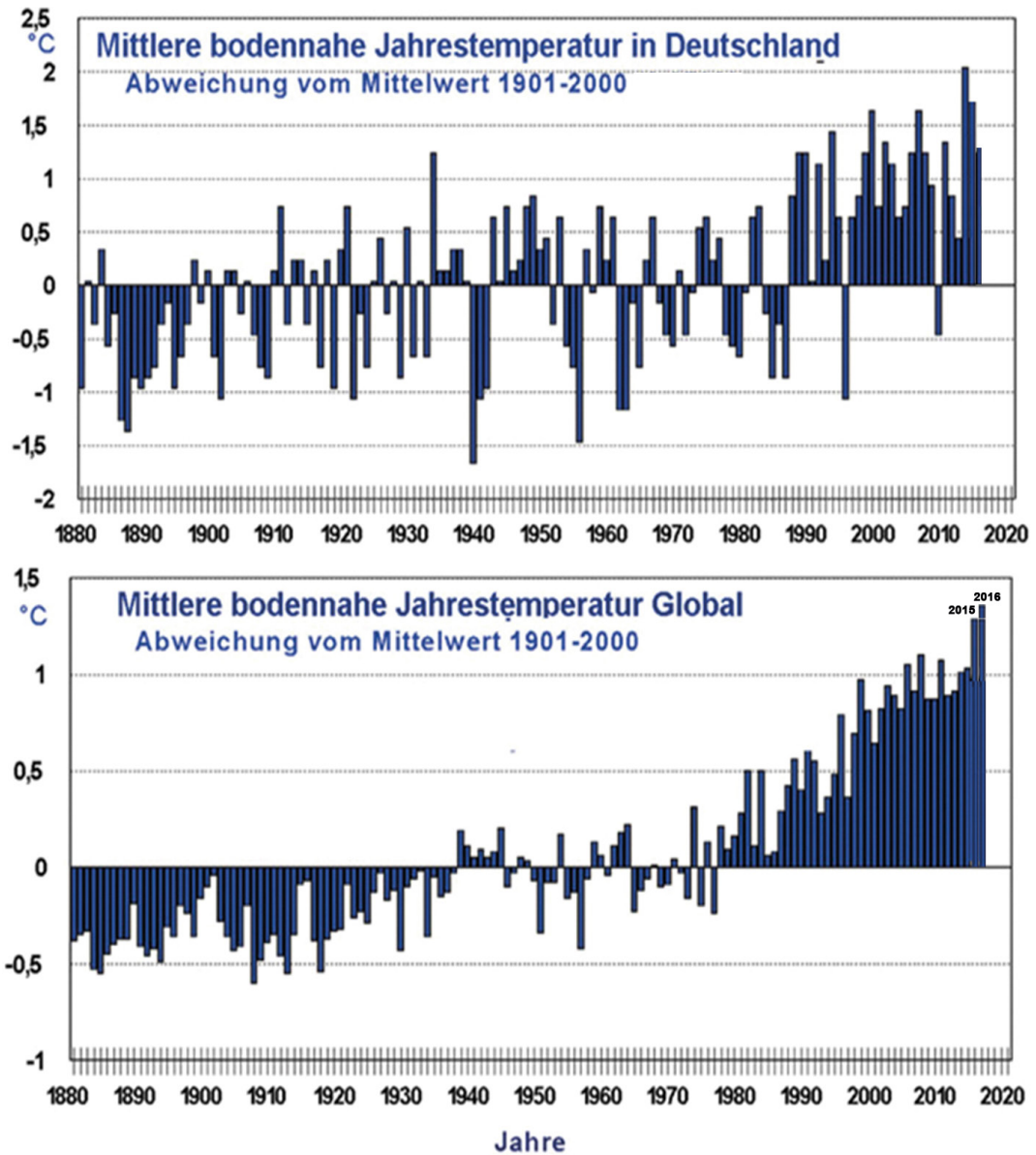


Abb. 1.6-7: Vergleich der mittleren bodennahen Jahrestemperatur über Deutschland und global von 1880 bis 2016. Daten: DWD & NOAA.

Kontakt:

Dr. José L. Lozán - Wissenschaftliche Auswertungen - Universität Hamburg - lozan@uni-hamburg.de

Lozán, J. L. (2016): Was charakterisiert die aktuelle, vom Menschen verursachte Erderwärmung? In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Biodiversität. pp. 51-56. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.08.