

Leitthema: Klima und Wetter, langfristige Trends und kurzzeitige Fluktuationen

Physikalische Übung zu: statistische Verteilungen, Mittelwerte, Fluktuationen, Wahrscheinlichkeiten und Signifikanz

Fragen:

- **wie unterscheiden sich Klima und Wetter?**
- **wie kann ein Klimawandel signifikant verifiziert werden?**
- **warum ‘spüren’ wir den Klimawandel nicht bzw. woran sollte ihn im Prinzip jeder, der alt genug ist, erkennen?**

Diese Fragen werden an Hand systematischer und lückenloser Temperaturmessungen in der Schweiz über einen Zeitraum von 136 Jahren diskutiert

Referenz: Christoph Schär et al. ‘The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves’, Letters to Nature, December 2003; doi:10.1038/nature02300. Published online 11 January 2004.

1. Messdaten (verglichen mit angepassten Normalverteilungen)

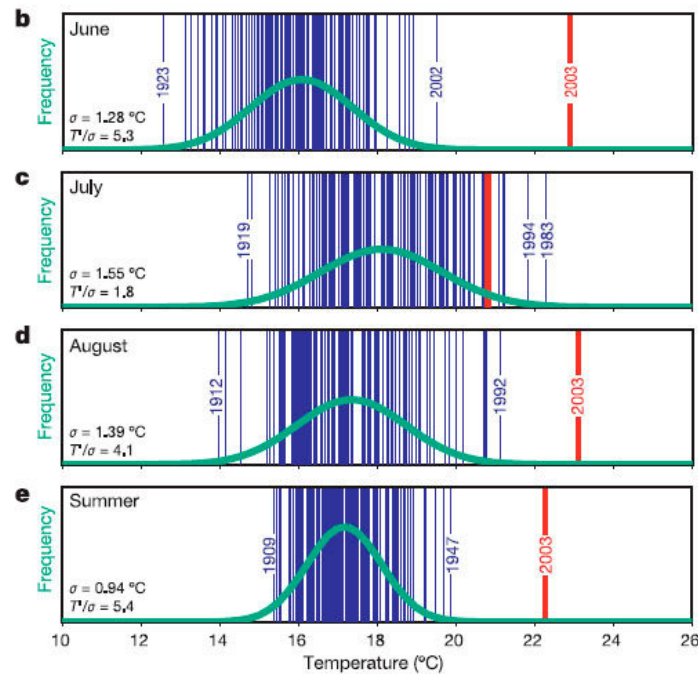
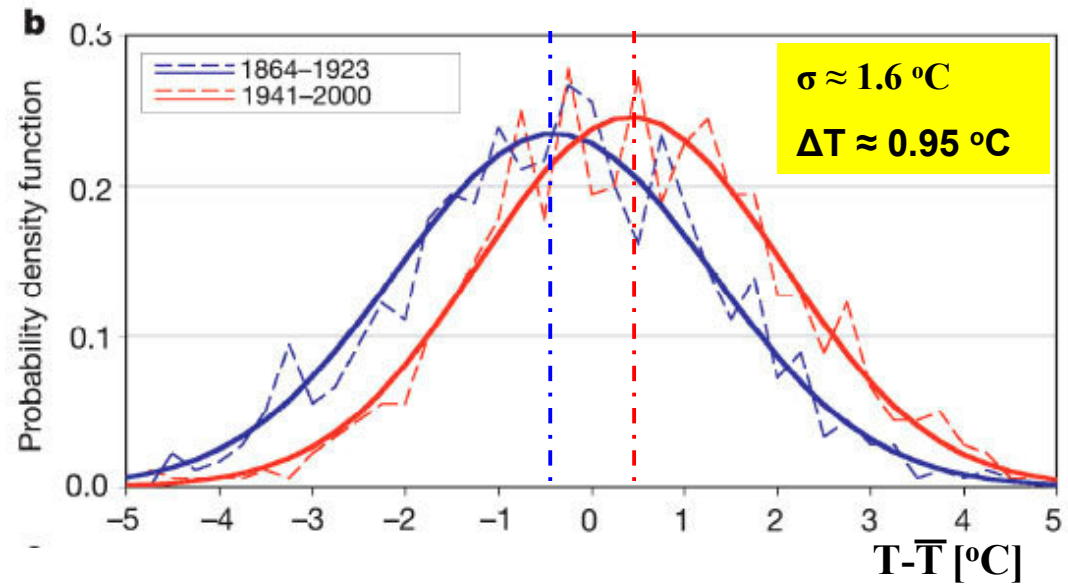


Abb. 1a: Mittlere Monatstemperaturen an 4 ausgewählten Orten in der Schweiz von 1864 -2000



H

Abb. 1b: Häufigkeitsverteilung der Abweichungen der mittleren Monatstemperaturen von ihrem langfristigen Mittelwert der Jahre 1864-2000 für 2 Perioden von je 60 Jahren.

- die mittlerem Monatstemperaturen schwanken recht stark und sie sehen weitgehend ‘zufällig’ aus. Ihre Verteilung lässt sich näherungsweise mit Normalverteilungen beschreiben mit Breiten von ca. $\sigma = 1.5 \text{ °C}$. Einzelne Jahre wie der Sommer 2003 sind allerdings ‘Ausreisser’.
- um Trends zu untersuchen werden die Verteilungen ‘standardisiert’ indem nur noch die Temperaturabweichungen vom Monatsmittelwert über die gesamten 136 Jahre gezeigt wird (Abb. rechts oben).

Die monatlichen Abweichungen werden in der rechten Abbildung getrennt gezeigt für 2 Zeitperioden von jeweils 60 Jahren wobei die Perioden 77 Jahre auseinanderliegen!
Hat sich das Klima in diesem Zeitraum verändert?

Ergebnisse:

- die Temperaturabweichungen werden für beide Perioden recht gut durch Normalverteilungen beschrieben^{*)}. Jede Verteilung enthält dabei $12 \cdot 60 = 720$ Messwerte.
- Die Mittelwerte beider Verteilungen sind: $\bar{T} = \pm 0.475 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Die Breiten beider Verteilungen sind $\sigma = 1.6 \text{ } ^\circ\text{C}$

Befund: die mittleren Monatstemperaturen haben sich im Schnitt über die 77 Jahre, die zwischen den beiden Zeitperioden liegen um $\Delta T = 0.95 \text{ } ^\circ\text{C}$ erhöht. Das ist weniger als die mittlere Schwankung von Jahr zu Jahr ($1.6 \text{ } ^\circ\text{C}$).

- die Schwankungen von Jahr zu Jahr nennt man das **Wetter**, darauf sind wir empfindlich, daran erinnern wir uns
- eine **Klima**änderung nennt man die Änderung der mittleren Temperaturen über einen langen Zeitabschnitt von ca. 50 Jahren --- dafür haben wir keine gute Sensorik und nur alte Leute können sich überhaupt über **Klima**änderungen Gedanken machen, die auf eigenen Erfahrungen beruhen.

^{*)} Zum Wetter tragen viele klein unabhängige Faktoren bei, es ist daher nicht verwunderlich, dass die Temperaturen Gaussverteilt sind. \rightarrow statistischer Grenzwertsatz

Fragen:

- hat sich das Klima in der Schweiz über die 136 Jahre signifikant geändert?
- wie hat sich zwischen den beiden Perioden die Wahrscheinlichkeit geändert, dass die Monats-temperatur um mehr als 4 °C zu tief (kalt) war bzw. um mehr als 4 °C zu hoch (heiß) war? Das heißt: hat sich die Häufigkeit von Extremereignissen stark geändert? Daran könnten sich alte Leute vermutlich eher erinnern

Antwort 1: wir gehen von der empirisch bestätigten Normalverteilung aus.

Dann ist der Fehler des Mittelwerts gegeben durch $\sigma_{\bar{T}} = 1.6 \text{ °C} / \sqrt{N}$, wobei N die Zahl der Messwerte ist: $N=720$. Also: $\sigma_{\bar{T}} = 0.06 \text{ °C}$

Da der Mittelwert beider Jahresperioden denselben Fehler hat, ist der Fehler auf die Temperaturerhöhung ΔT um den Faktor $\sqrt{2}$ größer.

Klimawandel?

$$\Delta T = (0.95 \pm 0.09) \text{ °C}$$

dies ist sehr signifikant und nicht mit Null kompatibel

In der Schweiz hat in den letzten 136 Jahren zweifellos ein Klimawandel stattgefunden!

(Das sagt natürlich noch nichts über die Ursachen).

Antwort 2: hierzu berechnet man am besten die Zahl der Standardabweichungen, die einer Differenz von 4 °C entsprechen: $N_{SD} = (4-0.475)/1.6 = 2.2$ für die ältere Periode

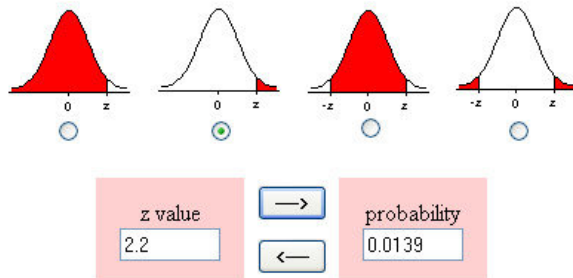
$$N_{SD} = (4+0.475)/1.6 = 2.8 \text{ für die jüngere Periode}$$

Nun müssen wir die Wahrscheinlichkeit berechnen, dass für eine Gaussverteilung mit $\mu = 0$ und $\sigma = 1$ der Wert größer als 2.2 bzw. 2.8 ist. Das liefern z.B. ein Statistikrechner oder Wolfram Alpha ganz einfach.

Statistikrechner online

Standard normal Student's t Chi-squared Binomial Random digits NNT calculator

SurfStat *standard normal calculator*

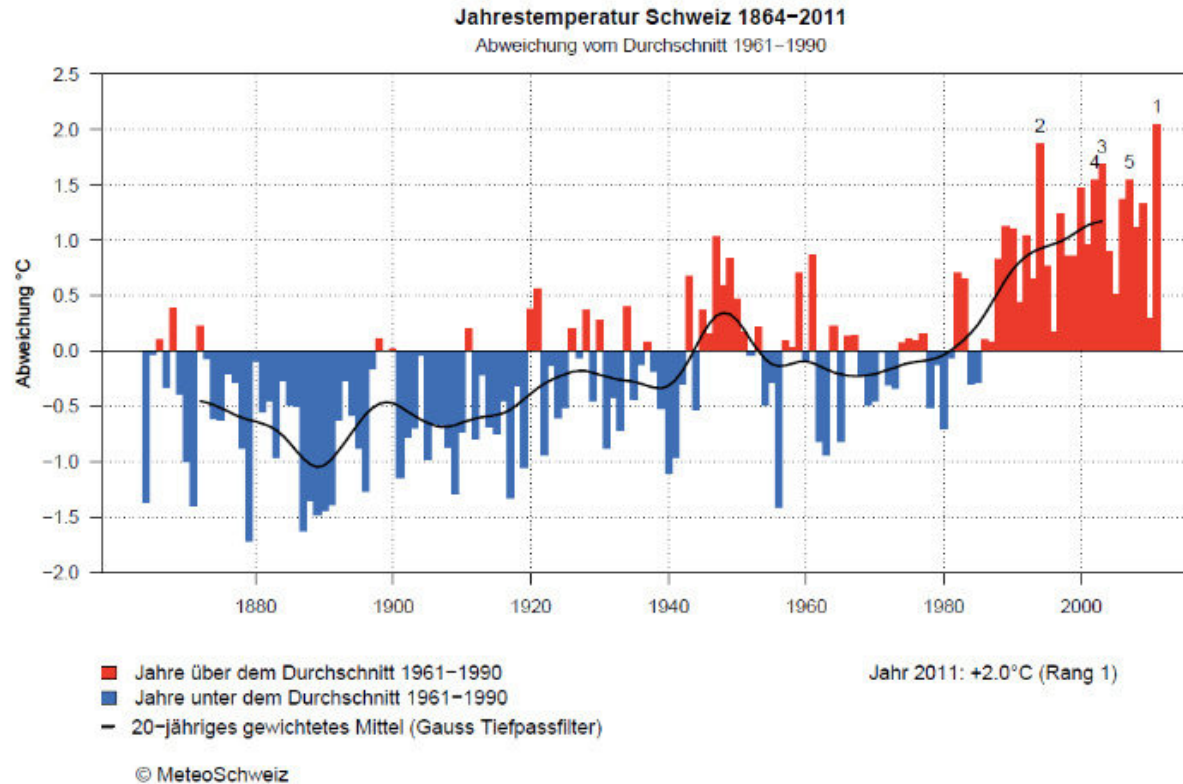


• Von der ersten zur zweiten Periode hat sich die Wahrscheinlichkeit kalter Monate (>4 °C unter Mittelwert) von 1.4 % auf 0.26% verringert also um einen Faktor 5! Im selben Zeitraum wurden heiße Monate um den gleichen Faktor 5 häufiger! Das ist wirklich happig!

- Erinnerung F.E.: in meiner Jugend am Bodensee – nahe Schweizer Grenze – konnten wir praktisch jedes Jahr auf dem See Schlittschuhfahren. Meine Enkel können das, wenns hoch kommt, noch jedes 5. Jahr
→ ich habe den Klimawandel erlebt!

Ein Klimawandel, der mit einer auf den ersten Blick sehr kleinen Temperaturerhöhung einhergeht hat massive Auswirkungen auf Extremwetter. Dabei ändert sich nur dessen Häufigkeit – aus einem Ereignis allein lässt sich gar nichts schließen.

Folgende Abbildung von MeteoDat, die den Zeitraum bis 2013 umfasst kann man im Internet finden:



Diese Abbildung zeigt, dass die Zahl der heißen Jahre in der Schweiz ab etwa 1960 rasant zunahm. Um das zu sehen, braucht man keine statistische Analyse.

Hinweise zur aktuellen Diskussion über den globalen Klimawandel und dessen Ursachen

Unter den Wissenschaftlern, die sich ernsthaft mit dem Klima und dessen Entwicklung befassen, und in referierten Zeitschriften publizieren, gibt es Konsens, dass ein globaler Klimawandel stattfindet, der überwiegend ‘antropogene’ Ursachen hat, also vom Menschen verursacht wird. Als Hauptursache wurde die hohe Emission von CO₂ identifiziert, das eine mittlere Verweildauer von ca. 100 Jahren in der Atmosphäre hat.

Die bisher gemessene Temperaturerhöhung im Industriezeitalter liegt bei etwa 0.8 °C bei der mittleren globalen Temperatur auf der Erdoberfläche.

Klimamodelle, die auf diesen Voraussetzungen beruhen, sagen eine starke Zunahme von Extremwetter nicht nur in Bezug auf die Temperatur sondern auch beim Niederschlag, bei Wirbelstürmen etc. voraus. Auch hierfür gibt es überzeugende Daten. Ein Beispiel sehen sie unten.

Wirtschaftlicher Schaden		CMI.			
<small>Quelle: Münchner Rück</small>					
Dekade	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999
Anzahl großer Wetterkatastrophen	13	16	29	44	74
Volkswirtschaftlicher Schaden* in Mrd. US\$	41,8	54,8	82,8	130,5	439,1

Tabelle: Zahl der grossen Wetterkatastrophen bei der Rückversicherungen massiv einspringen mussten. (die Versicherer beschäftigen ganze Abteilungen von Klimaforschern). Klimawandel hat auch massive wirtschaftliche Folgen.