

Statistische Modelle und Datenanalyse in der Klimaforschung: Fakten, Folgenabschätzung, Wirkung von Maßnahmen

Prof Dr. Helmut Küchenhoff

Statistisches Beratungslabor
Institut für Statistik
LMU München

28.11.2019

Sueddeutsche vom 27.11.2019



Tausende Todesfälle und Milliarden­schäden in der Landwirtschaft laut Bundesregierung direkt auf Erderwärmung zurückzuführen. Der globale Treibhausgas-Ausstoß erreicht einen neuen Höchstwert.

- ➊ Daten zum Klimawandel
- ➋ Klimamodelle
- ➌ Folgenabschätzung
- ➍ Wirkung von Gegenmaßnahmen

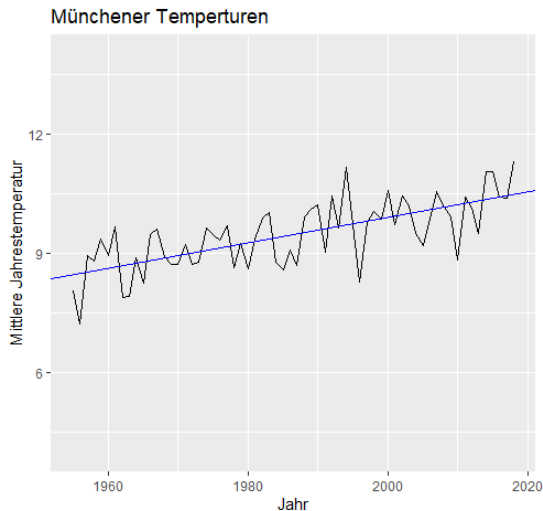
Gibt es einen Klimawandel ?

Grant Foster and Stefan Rahmstorf 2011 Environ. Res. Lett.6 044022

Einfaches Trendmodell:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon_t$$
$$\epsilon_t \sim \text{ARIMA}(1, 1, 0)$$

Trendrechner



Auch hier Anstieg (linearer Trend) nachweisbar

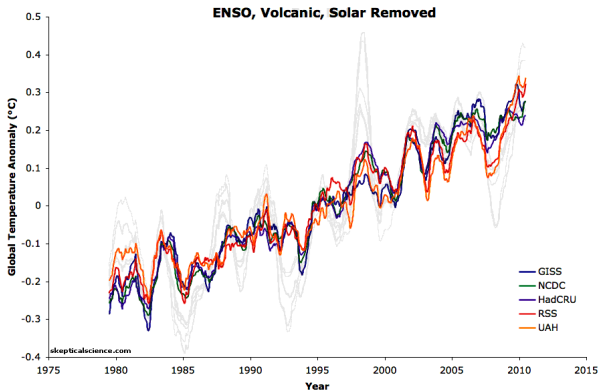
1. Schritt: Herausrechnen anderer möglicher Effekte

Modell:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_4 \cdot x_4 + \epsilon_t$$
$$\epsilon_t \sim \text{ARIMA}(1, 1, 0)$$

x_2, x_3, x_4 : Confounder (Kontrollvariablen): Sonnenaktivität, El Niño Southern Oscillation (ENSO) und vulkanische Aktivität

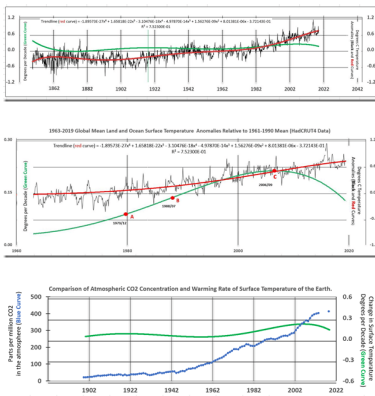
Grant Foster and Stefan Rahmstorf (2011)



Probleme: Weitere Confounder, Linearität, verzögerte Wirkungen usw.

Andere Analyse

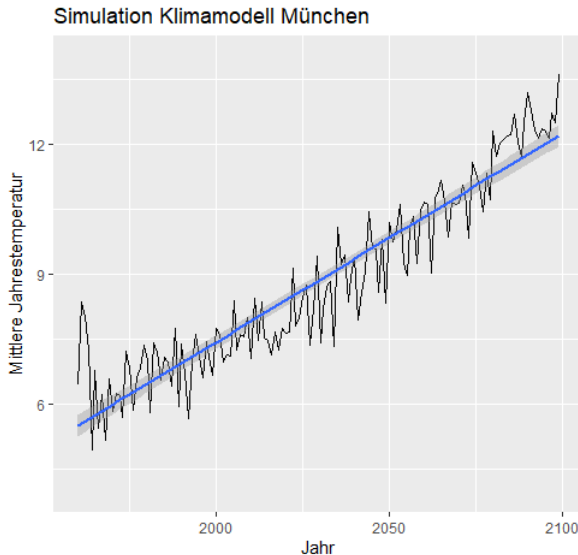
<https://wattsupwiththat.com/2019/11/14/170-years-of-earth-surface-temperature-data-show-no-evidence-of-significant-warming/>



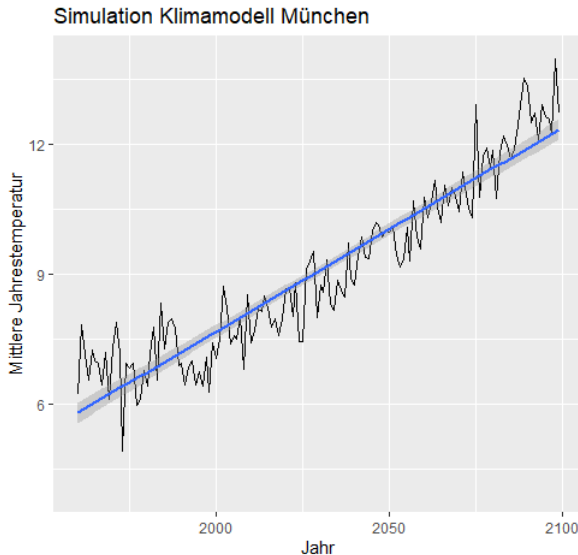
Probleme: Polynomial Regression, Instabilität an den Rändern, keine Konfidenzintervalle, Autokorrelation nicht berücksichtigt

- Klimamodelle basieren auf den bekannten physikalischen Gesetzen und auf Beobachtungen.
- man unterscheidet regionale (RCM) und globale Klimamodelle (GCM)
- Beispiel: The ClimEx Project: A 50-Member Ensemble of Climate Change Projections at 12-km Resolution over Europe and Northeastern North America with the Canadian Regional Climate Model (CRCM5) (climex-project.org).

Klimamodell–Ensemble für München



Klimamodell–Ensemble für München

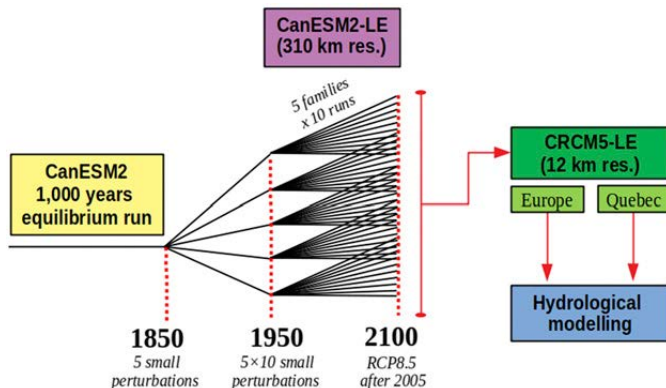


Vorteile und Probleme

- Klimamodelle sind in der Lage, wichtige Aspekte des gegenwärtigen Klimas zu reproduzieren.
- Wettervorhersagemodelle, die oft die Ausgangsbasis für ein Klimamodell liefern, werden erfolgreich für Wetterprognosen und saisonale Vorhersagen eingesetzt.
- Die weltweit von verschiedenen Forschergruppen entwickelten Klimamodelle stimmen in ihren grundlegenden Ergebnissen im Wesentlichen überein.
- Erfolgreiche Nachmodellierungen über wenige Jahrzehnte des jüngst vergangenen Klimas sind keine Garantie dafür, dass auf diese Weise auch die relevanten Prozesse erfasst werden, die die sehr langfristigen Klimaänderungen bestimmen.
- Teilweise relativ hohe systematische Abweichungen von Messungen

Statistische Aspekte

- Prognosen und Prognosefehlerabschätzung
- Variabilität zwischen Modellen und zwischen Replikationen von Modellen



- Validierung und Bias-Korrektur
- Methoden des Bayesianischen Model-Averaging
- Metaanalysen
- Prognosen mit verschiedenen Klimamodellen

Khan, F und Pilz, J.: Statistical Methodology for Evaluating Process-Based Climate Models

book: Climate Change and Global Warming, Publisher: IntechOpen

<https://www.intechopen.com>

Kausalität: Bradford Hill Kriterien

- 1 Strength: Effektstärke
- 2 Consistency: Reproduzierbarkeit
- 3 Specificity: Keine andere Erklärung sinnvoll
- 4 Temporality: Effekt nach Auslöser
- 5 Biological gradient: Dosis – Wirkungs – Beziehung
- 6 Plausibility: Erklärung und Theorie
- 7 Coherence: Daten aus verschiedenen Quellen passen zusammen
- 8 Analogy: Ähnliche Eingriffe führen zu ähnlichen Effekten

Daten sind in erheblicher Fülle vorhanden und verfügbar

Deutscher Wetterdienst:

https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html

NCAR: <https://ncar.ucar.edu>

IPCC: www.ipcc-data.org

Weltbank:

<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/download-data>

Folgen des Klimawandels ?

Meldung vom 24.11.: Wetterchaos in Frankreich und Italien
Bei Unwettern und Überschwemmungen sind in Südfrankreich mindestens zwei Menschen ums Leben gekommen. In Norditalien stürzte ein Autobahnviadukt ein – verletzt wurde dabei niemand.



Berechnungen zu Effekten und zusätzlichen Fällen

Beispiel aus der Epidemiologie:

Relatives Risiko auf Grund einer Intervention (Hitze)	1.1
Anzahl der beobachteten Fälle an Tag mit Hitze	1100
Modell liefert Fälle ohne Hitze	$1100/1.1 = 1000$
Zusätzliche Fälle	100
Wahrscheinlichkeit von einem Fall, hitze-induziert zu sein	$100/1100 = 0.09$

Analoge Rechnung zu Wetterereignissen:

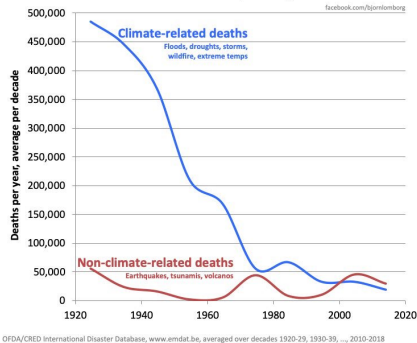
Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses ohne Klimawandel	0.01
Risiko nach Klimawandel	0.015
Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis auf den Klimawandel zurückzuführen ist:	0.33

Viele Annahmen (insbesondere zur Kausalität) sind erforderlich !

Gesundheitliche Folgen (Lancet,2019)

- Health and heat
 - Vulnerability to extremes of heat
 - Exposure of vulnerable populations to heatwaves
 - Change in labour capacity
- Health and extreme weather events
 - Wildfires
 - Flood and drought
 - Lethality of weather-related disasters
 - Wildfires
- Climate-sensitive infectious diseases
- Food security and undernutrition

Global Deaths from Climate and non-Climate Catastrophes, 1920-2018



Siehe auch <https://www.gapminder.org> (Rosling)

Gasparini (2019)

1. Schritt : Schätzung der Dosis–Wirkungs–beziehung

$$\log [E (Y_t)] = \alpha + f (x_t; \boldsymbol{\theta}) + s(t; \beta) + \sum_{p=1}^P h_p (z_{pt}; \gamma_p)$$

$f(x_t)$: Effekt der Exposition

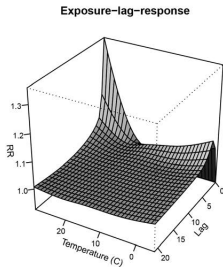
$s(t, \beta)$: Trend (Effekt der zeitvariierenden Confounder)

$h_p(z_{pt}; \gamma_p)$: andere Confounder

Verschiedene Varianten möglich

Beispiel: London

A

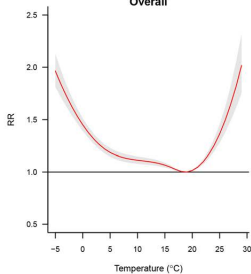


B

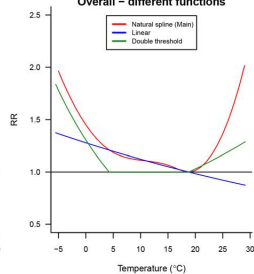
London

1990–2012

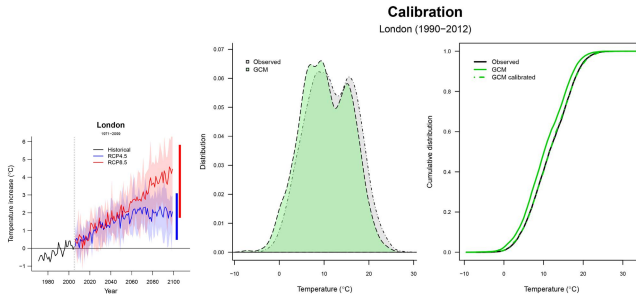
Overall



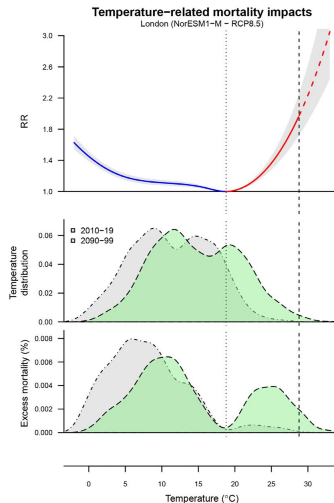
Overall – different functions



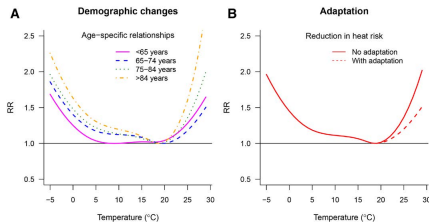
Klimaszenarien auswählen, dokumentieren und anpassen (Bias-Korrektur, Downscaling)



Extrapolation und Berechnung



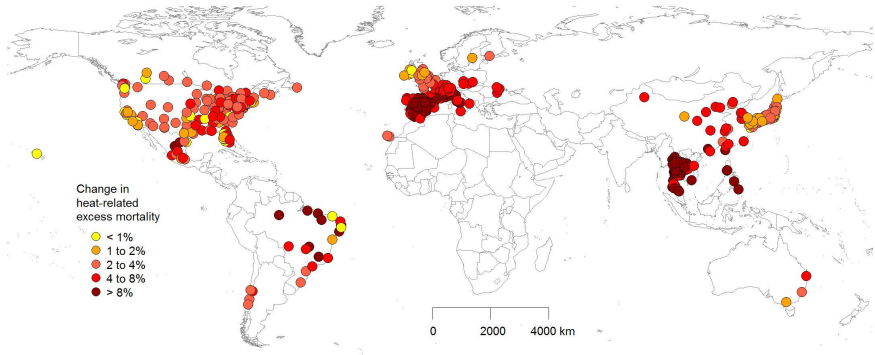
Änderung der Bevölkerungsstruktur und Anpassungsmaßnahmen



Unsicherheitsanalyse mit Simulationsmethoden

Ergebnisse Gasparini (2015)

Figure S4: Maps of location-specific changes in temperature-related excess mortality. The map shows the projected change in heat-related (top), cold-related (middle), and net (bottom) excess mortality in 2090-99 compared to 2010-19 under RCP8.5 in the 451 location.

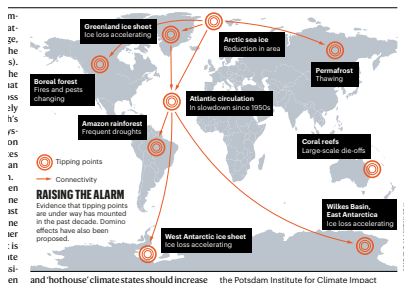


Allgemeine Einschätzung der Risiken

- The known unknowns
- The unknown unknowns

Artikel: Climate tipping points – too risky to bet against.

Timothy M. Lenton, Johan Rockström, Owen Gaffney, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen und Hans Joachim Schellnhuber.
Nature comment 28.11.2019.



Monitoring Bericht der Bundesregierung zum Klimawandel (2019)
Schoenthaler.pptx

Massnahmen Umweltzone

Bewertung der Auswirkung der Einführung der Umweltzone
Natürliches Experiment: Einführung der Umweltzone in München zur
Feinstaubreduktion

Daten: Stündliche Exposition Feinstaub in München
Modellierung:

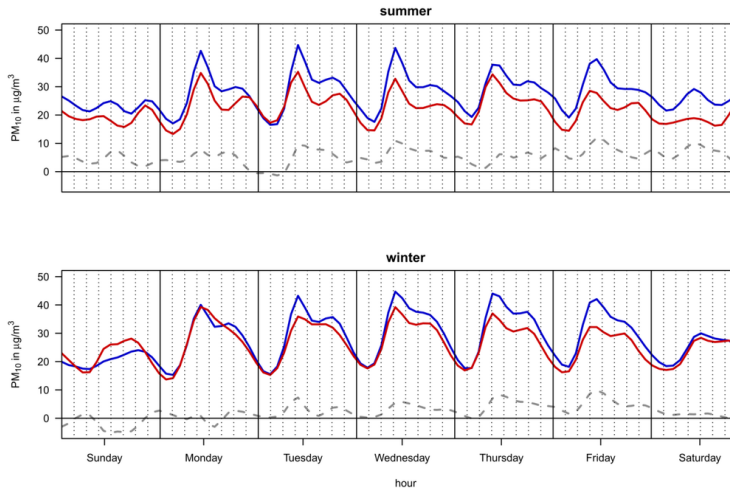
$$\begin{aligned}\log(PM_{10x}) = & \beta_0 + \beta_1 \log(PM_{10ref}) + \beta_{SM} \cdot I_{SM} + \beta_W \cdot I_W + \beta_{WM} \cdot I_{WM} + \\ & f_S(\text{hour}) \cdot I_S + f_{SM}(\text{hour}) \cdot I_{SM} + f_W(\text{hour}) \cdot I_W + \\ & f_{WM}(\text{hour}) \cdot I_{WM} + f_{vird}(\text{winddirection}) + \beta_2(\text{public holiday}) + \varepsilon\end{aligned}$$

PM_{10} : PM10 Konzentration an Messstation

I_S, I_W : Indikatorfunktionen Sommer, Winter

I_{WM}, I_{SM} : Indikatorfunktionen Sommer, Winter mit Massnahme (M)

Ergebnis Prinzregentenstrasse



- Ähnlicher Ergebnisse in Berlin bezüglich Feinstaub
- Praktisch keine Wirkung auf NO_x
- Wirkung auch der weiteren Stufen der Umweltzone

Diskussion um Stickoxide:

- Leopoldina Experten-Gremium
<https://www.leopoldina.org/politikberatung/arbeitsgruppen/grenzwerte-der-luftverschmutzung/>
- Langfristige Wirkung der Umstellung der Autoflotte
- Kurzfristige wirksame Maßnahmen nicht in München

- Wissenschaft spielt eine wichtige Rolle
- Wichtig sind interdisziplinäre Beratungsgremien, wie IPPC, Leopoldina etc.
- Einmischung auch unter fachlichen Gesichtspunkten

Einige wichtige Aspekte

- Ökonomische Anreize mit adäquaten Preisen unter Vermeidung der Externalisierung.
Nordhaus (Nobelpreis 2018), To Slow or Not to Slow: The Economics of The Greenhouse Effect The Economic Journal, Volume 101, Issue 407, **1 July 1991**, Pages 920?937,
- Wichtig ist die Infrastruktur
- Lebensstile können sich ändern

- ❶ Consulting: Wie denkt Deutschland über die Energiewende? Eine Analyse geographischer Unterschiede in den Einstellungen zu erneuerbaren Energie (Ingo Wolf, Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung (IASS), Potsdam)
- ❷ Masterarbeit oder Consulting: Entwicklung des Auftretens von Großwetterlagen in Europa unter Einfluss des Klimawandels
Projektpartner: Magdalena Mittermeier (Department für Geographie, LMU)