



# **Von der Messung zur Klimaprognose:**

## **Die Grenzen Mathematischer Modellbildung**

**Dipl.-Phys. Thomas Severiens  
Institut für Mathematik**



# Wettervorhersagen

- Ziel der Wettervorhersage ist die Prognose eines Zustandes der Atmosphäre zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort.
- Voraussetzung: Das Wetter lässt sich als physikalisches Ereignis durch entsprechend deterministische Naturgesetze beschreiben.



# Die Prognose von gestern für heute



*Quelle:  
www.daserste.de*



# Problemstellung

*Problem*

- Wir wollen den Zustand der Atmosphäre vorhersagen.
- Wir kennen die physikalischen Prinzipien.
- Wir kennen den Zustand der Atmosphäre jetzt – an einzelnen Punkten!

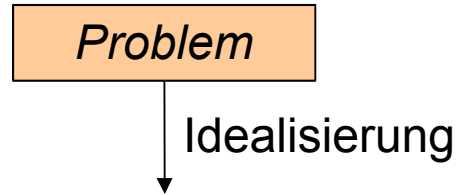


# Problemstellung

- Erfassung des aktuellen Zustandes der Atmosphäre:
  - Satelliten (IR- und VIS-Fotos)
  - Messungen am Boden
  - Messungen mit Ballonen
  - Messungen mit Flugzeugen und Schiffen
- Problem: Nur wenige Messungen über den Ozeanen und nur sehr wenige Messungen in großer Höhe



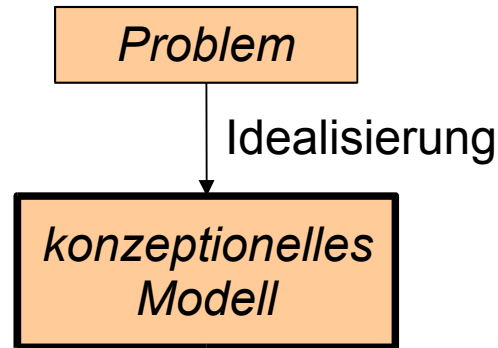
# Annahme



- Annahme: Unsere Messdaten genügen für eine Vorhersage des Wetters in den kommenden 14 Tagen.



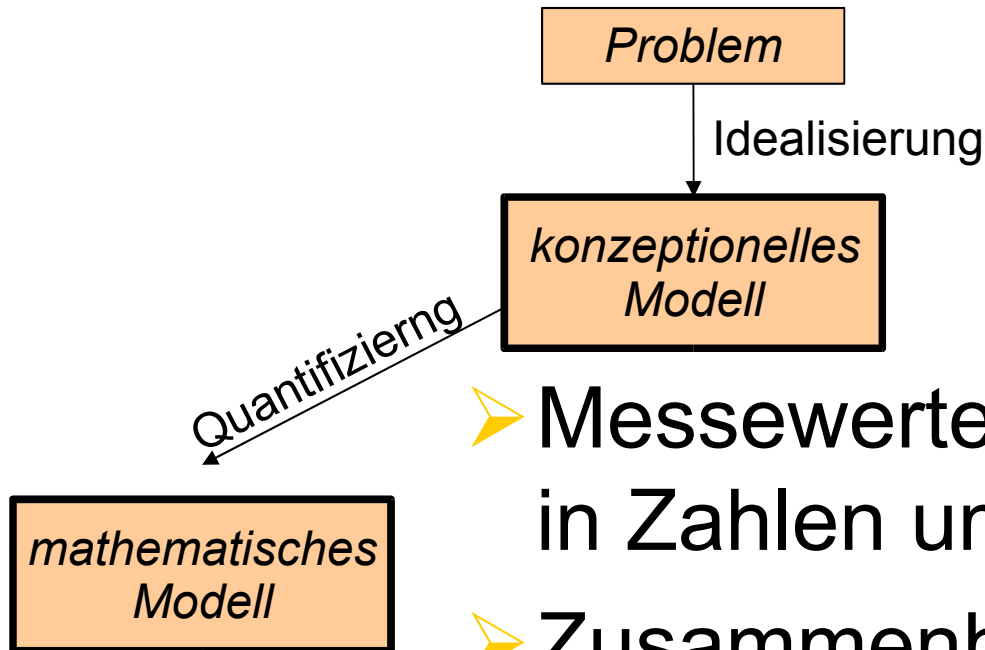
# Idealisierung



- Lokale Strömungen (die klein gegenüber dem Messraster sind (100km) haben keinen Einfluss auf die Entwicklung des Wetters.
- Relevante Parameter sind:
  - Temperatur
  - Luftdruck
  - Windrichtung und –geschwindigkeit
  - Luftfeuchtigkeit und Niederschlag



# Mathematisierung

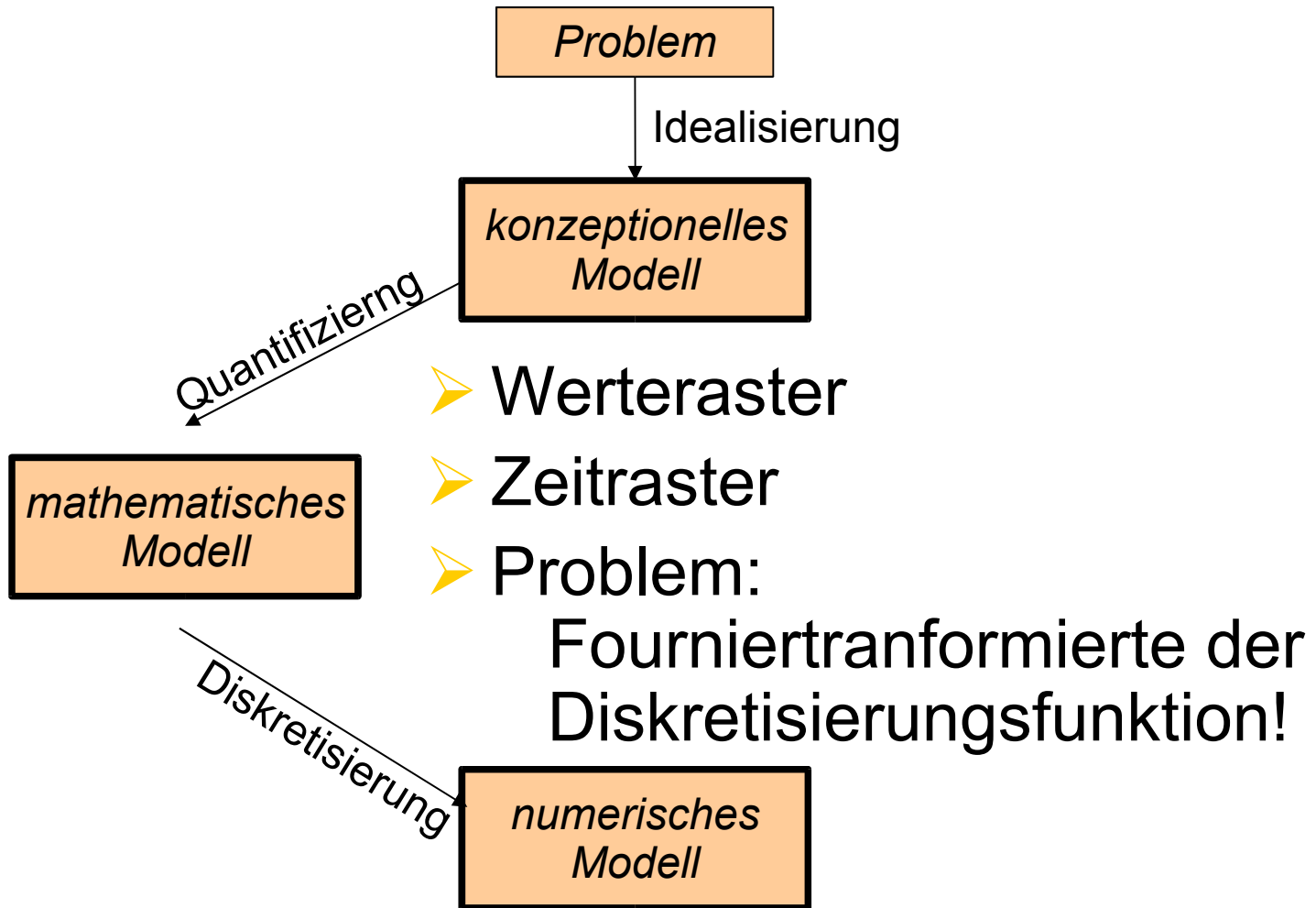


- Messewerte lassen sich in Zahlen umsetzen
- Zusammenhänge in mathematische Gleichungen



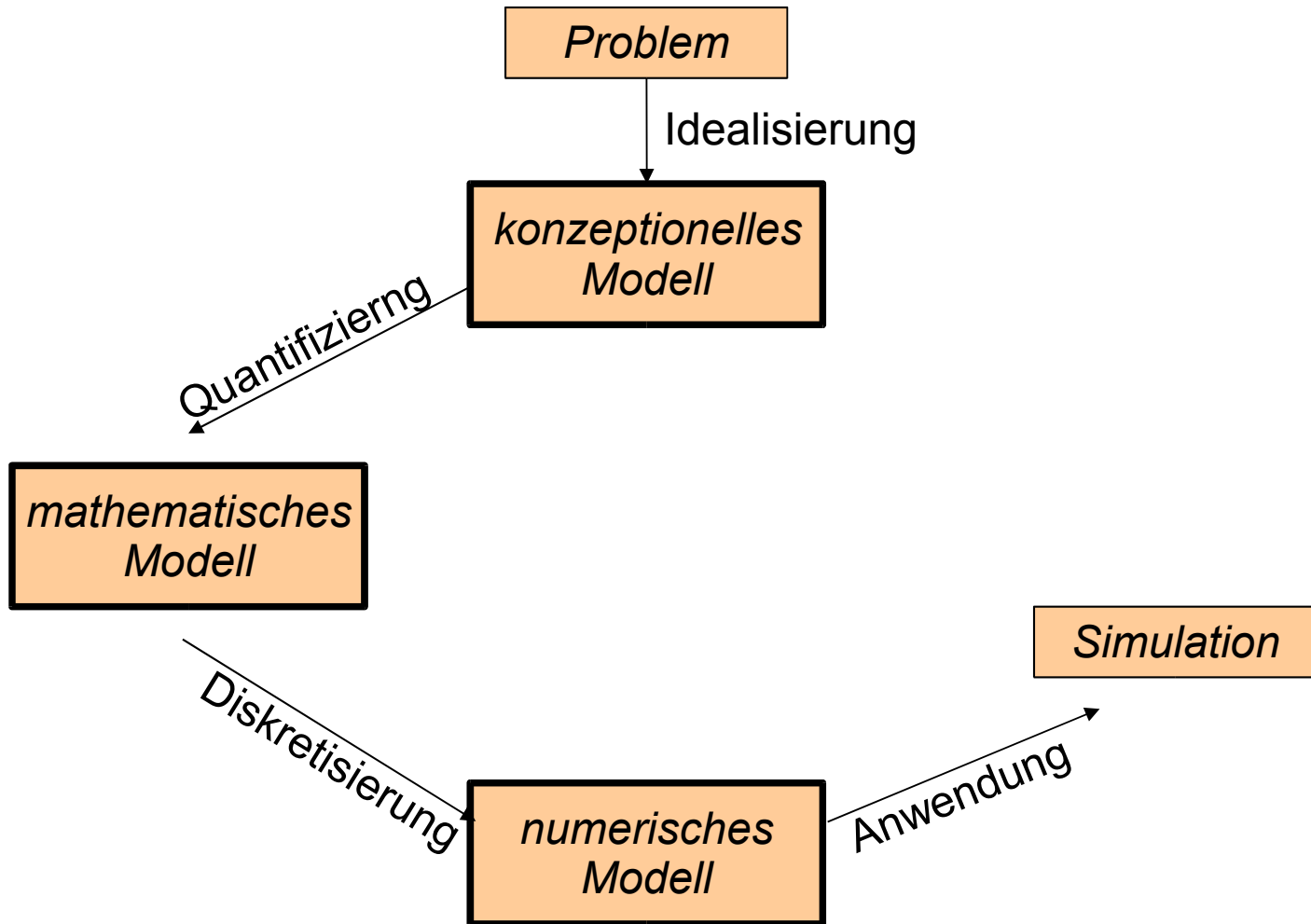


# Diskretisierung



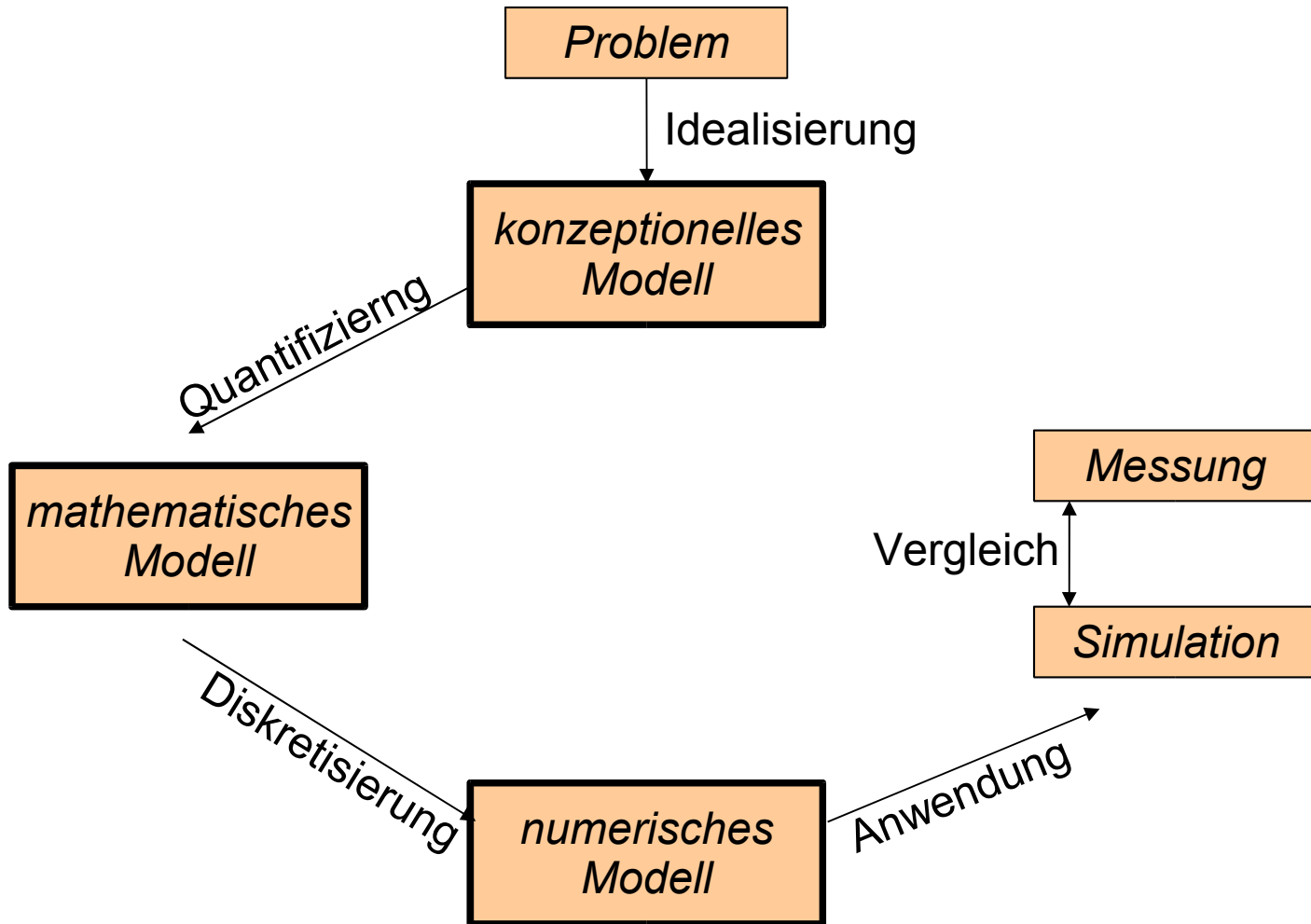


# Simulation



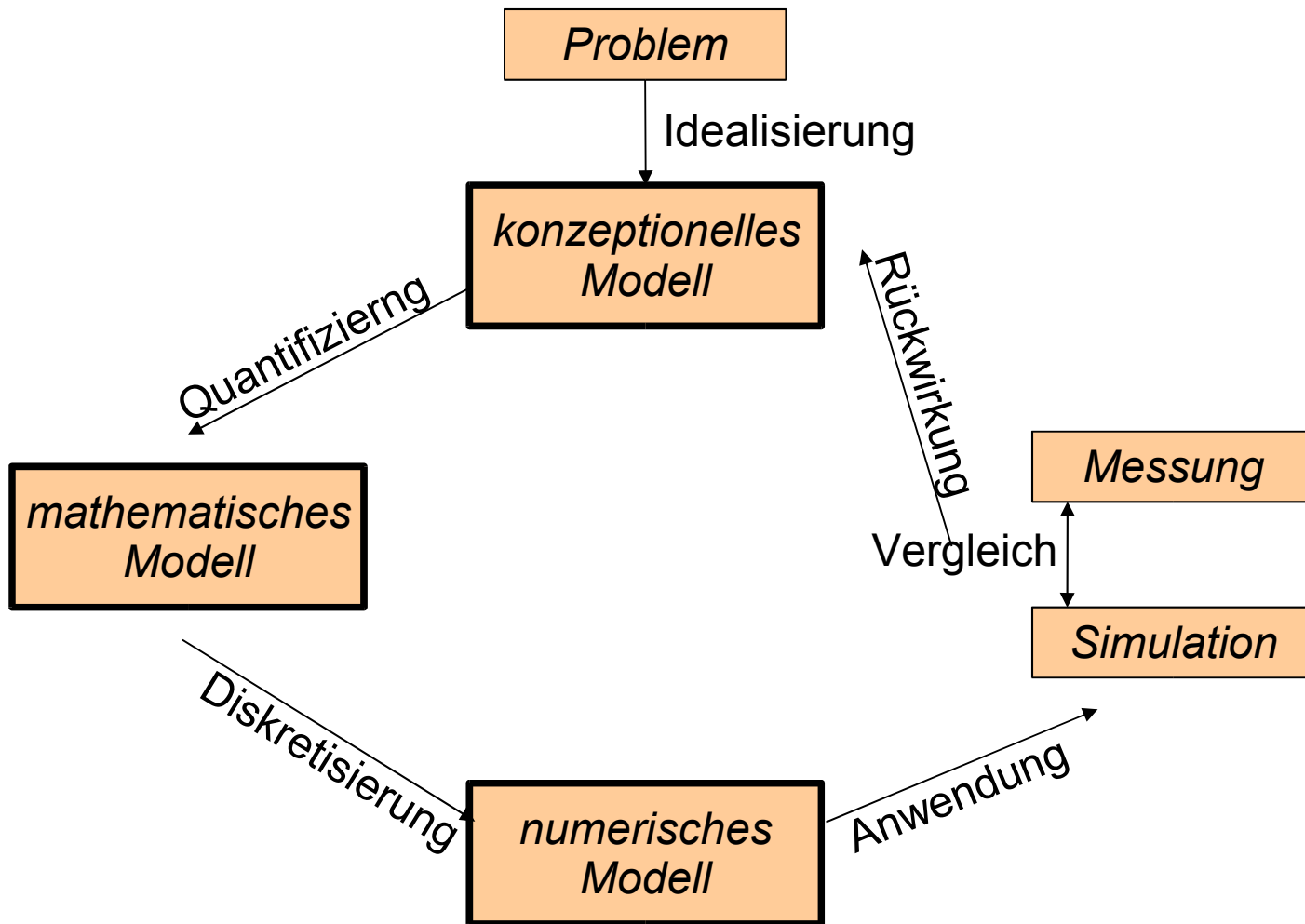


# Messung und Vergleich mit der Simulation





# Konzept der Modellbildung





# Konzept der Wettervorhersage

- Der Vergleich von Simulation und Messung liefert Ansätze für eine Weiterentwicklung des Modells.
- Alternative Modellierungen möglich und auch implementiert, die verschiedene Aspekte des Wetters vorhersagen.
- Formeln sind nichtlineare, partielle Differentialgleichungen, die für leicht verschiedene Startwerte sehr verschiedene Ergebnisse liefern.
- Vorhersage für 5 bis 7 Tage möglich, mehr nicht.



# Euler Backward Forecast

- Ein sehr simpler Ansatz (für eine flache Erdscheibe):

$$A^* = C^{(v)} - \beta D^{(v)} + \gamma \nabla_x G^{(v)}, \quad (1.1)$$

$$B^* = D^{(v)} - \beta C^{(v)} + \gamma \nabla_y G^{(v)}, \quad (1.2)$$

$$\Phi^* = G^{(v)} - \gamma H(\nabla_x C^{(v)} + \nabla_y D^{(v)}), \quad (1.3)$$

$$A^{(v+1)} = C^{(v)} - \beta B^* + \gamma \nabla_x \Phi^*, \quad (1.4)$$

$$B^{(v+1)} = D^{(v)} - \beta A^* + \gamma \nabla_y \Phi^*, \quad (1.5)$$

$$\Phi^{(v+1)} = \Phi = G^{(v)} - \gamma H(\nabla_x A^* + \nabla_y B^*), \quad (1.6)$$



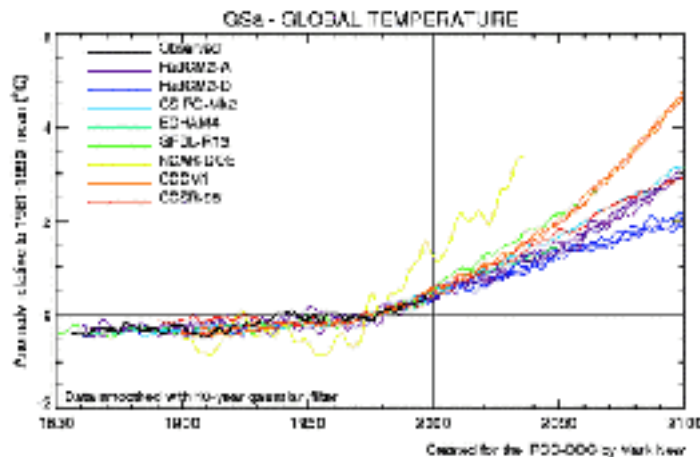
# Von der Wettervorhersage zur Klimaprognose?

- Vorhersagezeitraum: 100 Jahre statt 7 Tage!
- Kein Vergleich von Simulation und Messung möglich
  - Keine Rückwirkung auf die Modellannahmen möglich!
  - Trick: Man entwickelt das Modell mit historischen Daten und vergleicht dann.
    - Problem: Es gibt nur wenige zuverlässige und lückenlose Zeitreihen mit quantifizierten Angaben.

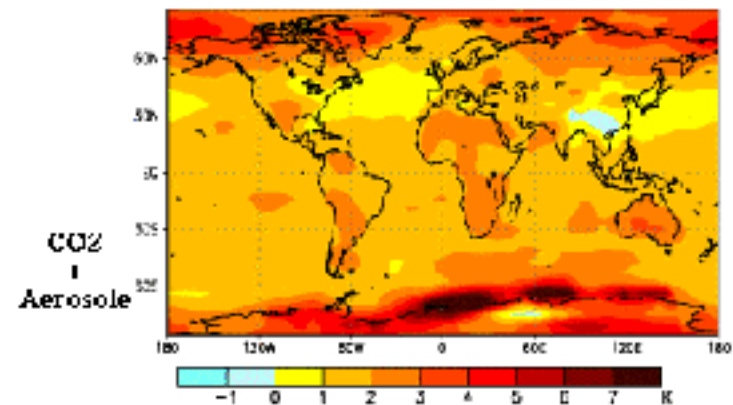
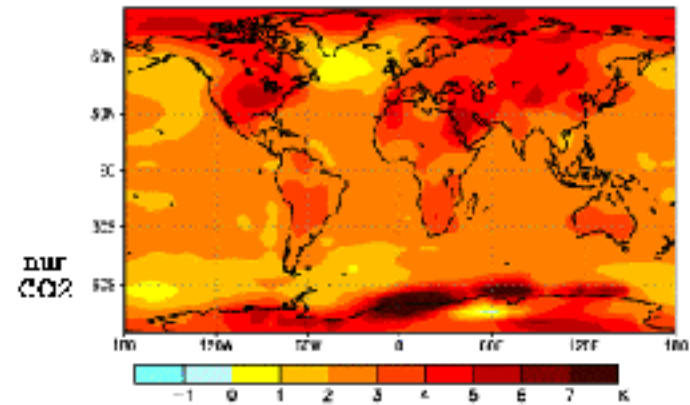


# Ziele der Klimaprognose

- Aufzeigen von Trends
- Abschätzung der Relevanz einzelner Parameter



Veränderung der globalen Mitteltemperatur 1880-1889 zu 2010-2019







➤ Bildnachweis:

- Erstes Deutsches Fernsehen: Folie 3
- Wikipedia: Folie 5
- Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Folie 15

Die Abbildungen unterliegen teilweise der GPL, dürfen also nicht in kommerziellen Medien nachgenutzt werden. Diese Folien dürfen unter Angabe der Quelle zu nicht kommerziellen Zwecken nachgenutzt werden.

Dieses Lehrmaterial nutzt nicht die Schranke des Paragraphen 52a UrhG.