

Klimavariabilität und Extremereignisse

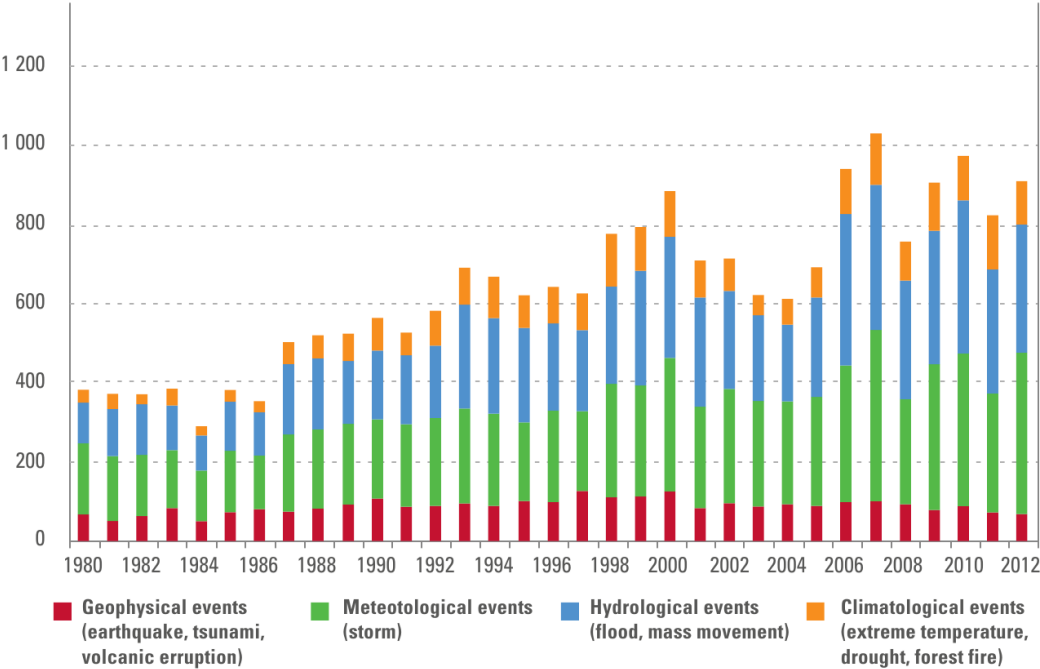
P. Hoffmann



Contents

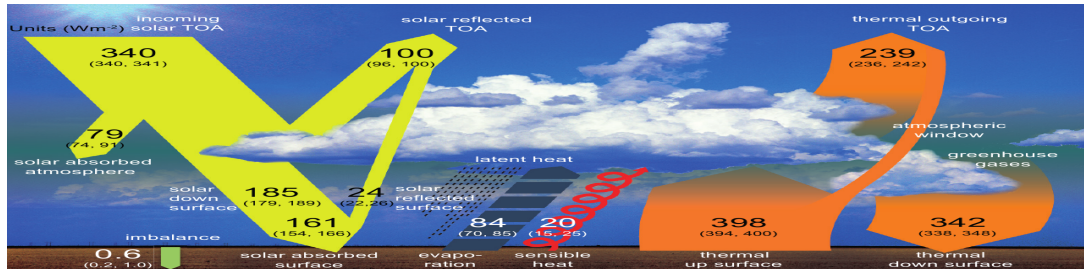
| | |
|--|-----------|
| 1 Klimadiagnostik | 4 |
| 1.1 Strahlungshaushalt | 5 |
| 1.2 Atmosphärische Zirkulation | 15 |
| 1.3 Lokale Klimaänderungen | 22 |
| 2 Extremereignisse | 24 |
| 2.1 Großskalig | 25 |
| 2.2 Kleinskalig | 31 |
| 3 Modellketten | 33 |
| 3.1 Wettervorhersage | 34 |
| 3.2 Klimaprojektion | 38 |
| 4 nahe Zukunft | 39 |

Anzahl weltweiter Naturkatastrophen



Münchner Rück

1. Klimadiagnostik

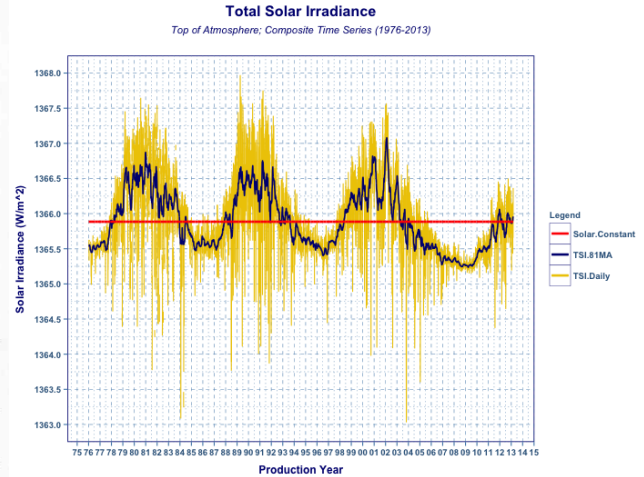
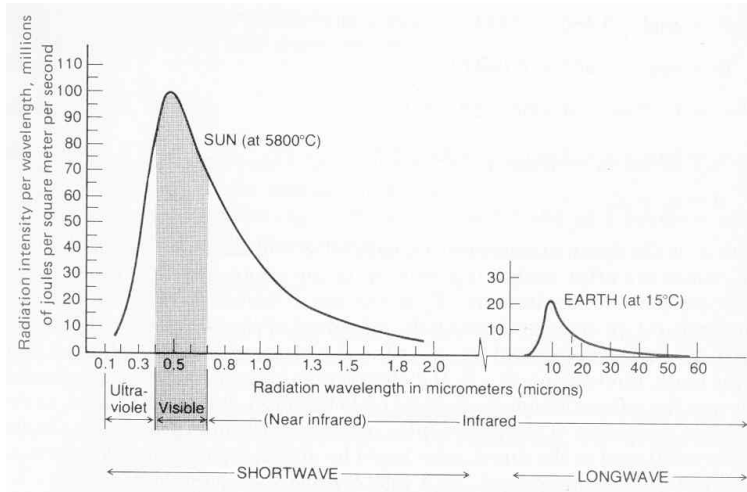


IPCC, AR5

| Extra-terrestrisch | Strahlungshaushalt | atm. Zirkulation | Ozean |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| solare Aktivität | CO ₂ Konzentration | Passatwind, Monsune | Meeresoberflächentemp. |
| Erdbahnparameter | Wasserdampf | Innertropische Konvergenzzone | Salzgehalt |
| | Wolken | Planetare Wellen | Meereis |
| | Aerosole | Jetstreams | Meeresspiegel |
| | Albedo | Polarwirbel | |
| | Temperatur | Extremerreignisse | |
| | | ENSO | |
| | Klimafeedbacks | | |

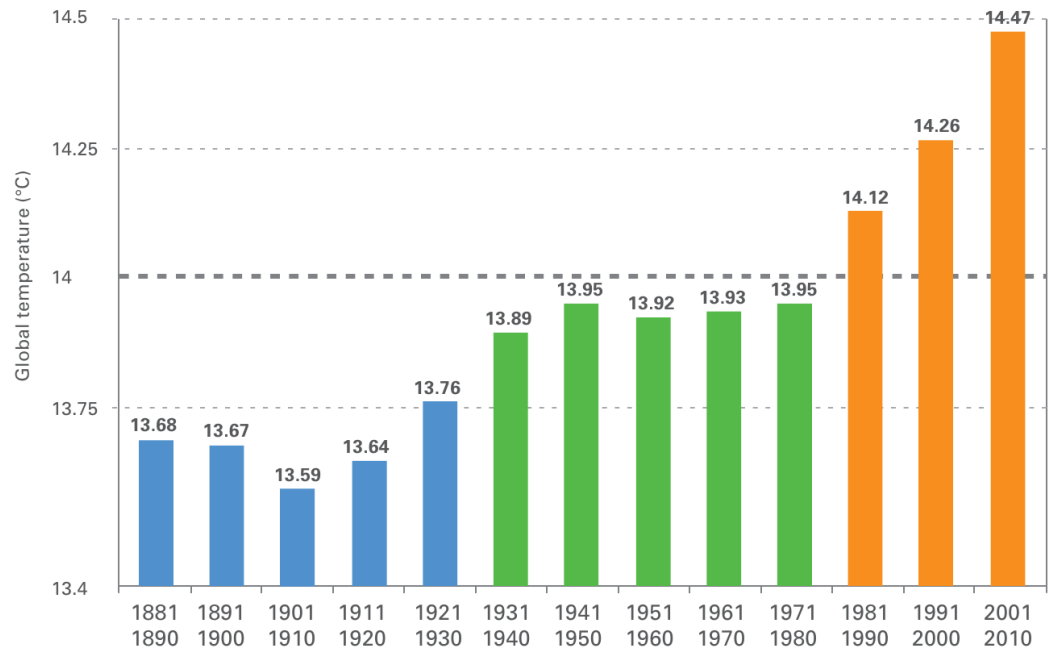
1.1. Strahlungshaushalt

Variation der Solarkonstante



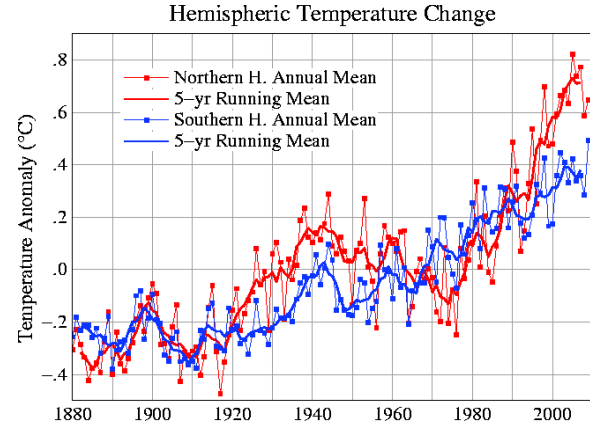
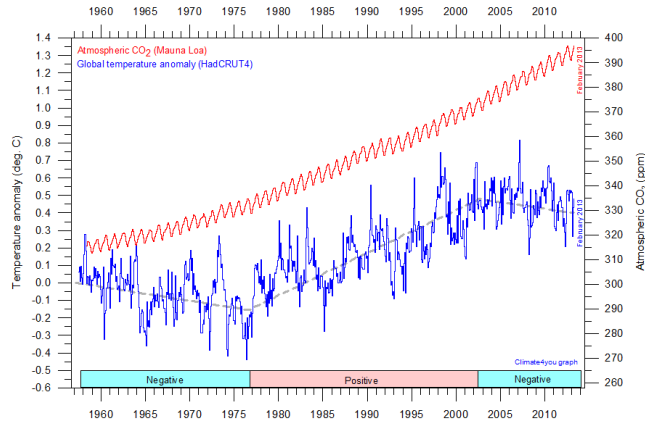
<http://bxhorn.com>

Oberflächentemperatur



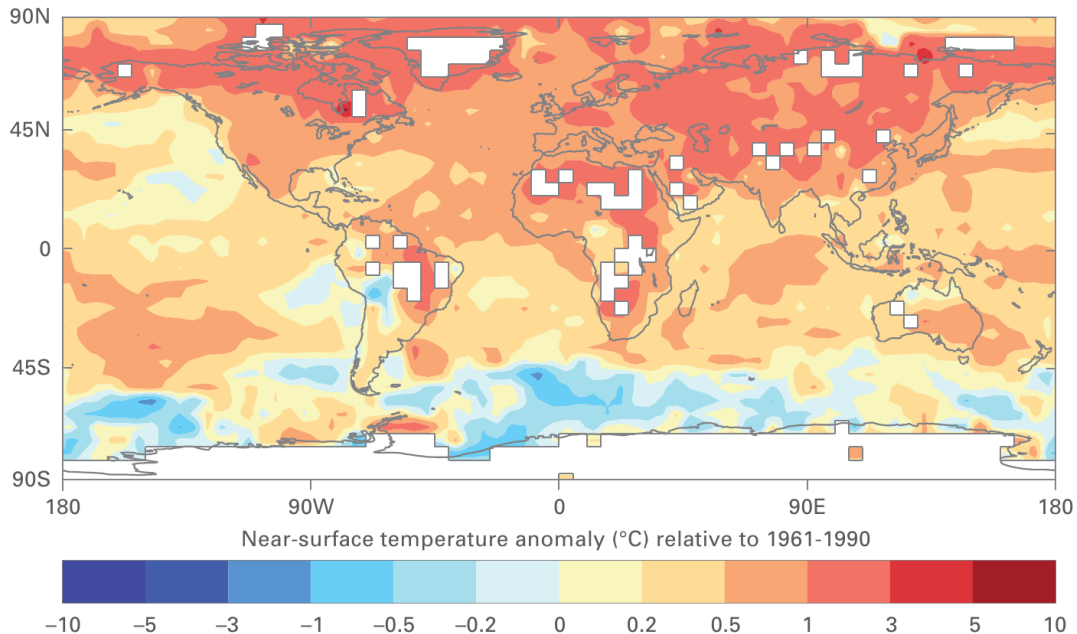
WMO 2012

CO₂ Konzentration & Temperatur



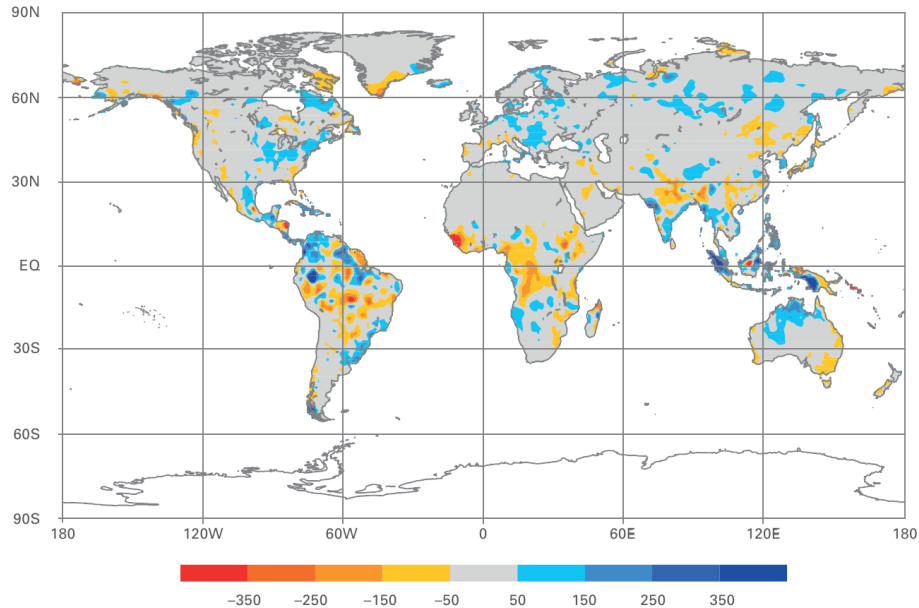
- ⇒ komplexe Rückkopplungsmech. zwischen Strahlungsantrieb und globaler Erwärmung
- ⇒ stärkstes Änderungssignal über den Kontinenten der Nordhemisphäre (rot)

Temperaturänderung (K): 2001-2010



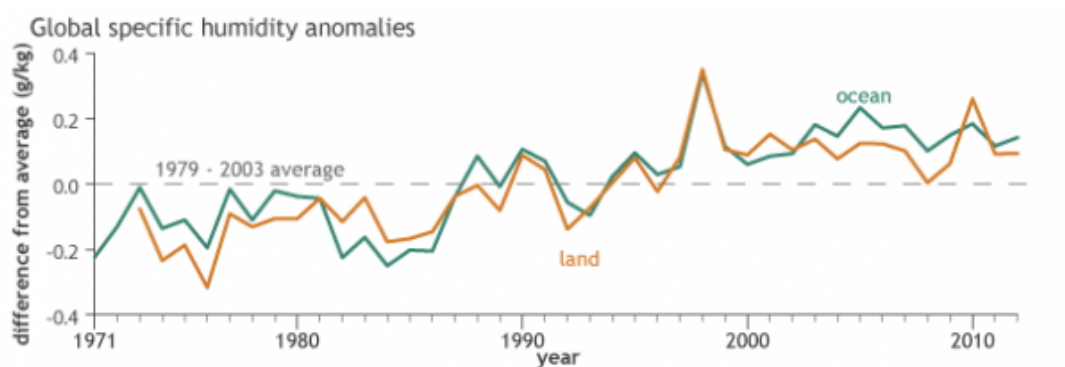
WMO 2012

Niederschlagänderung (mm): 2001-2010



bzgl. 1951-2000

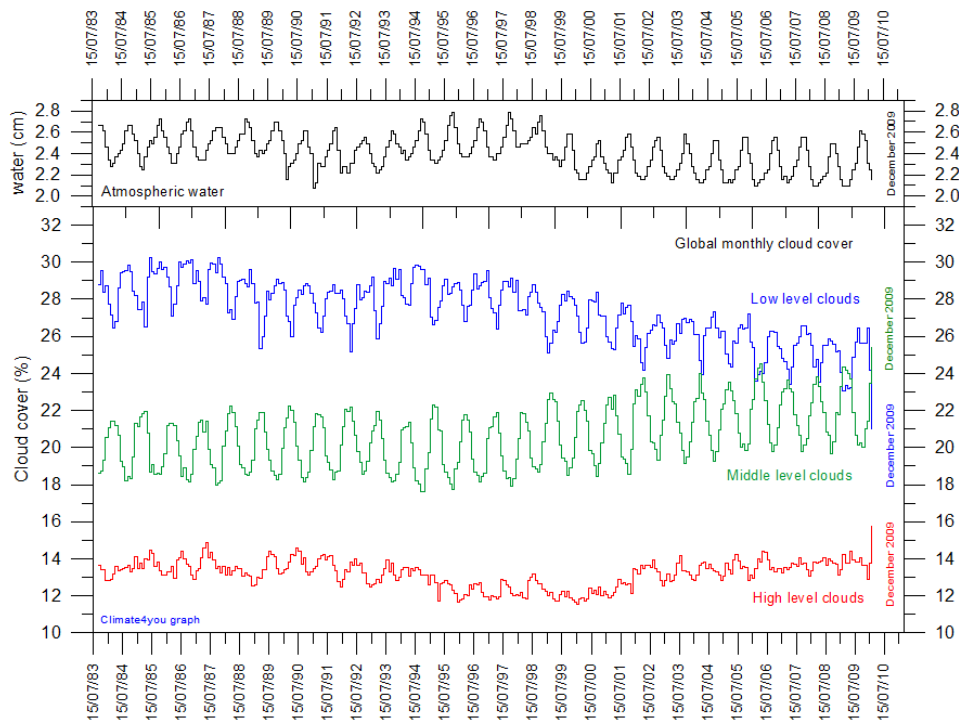
Feuchte (relative/spezifisch)



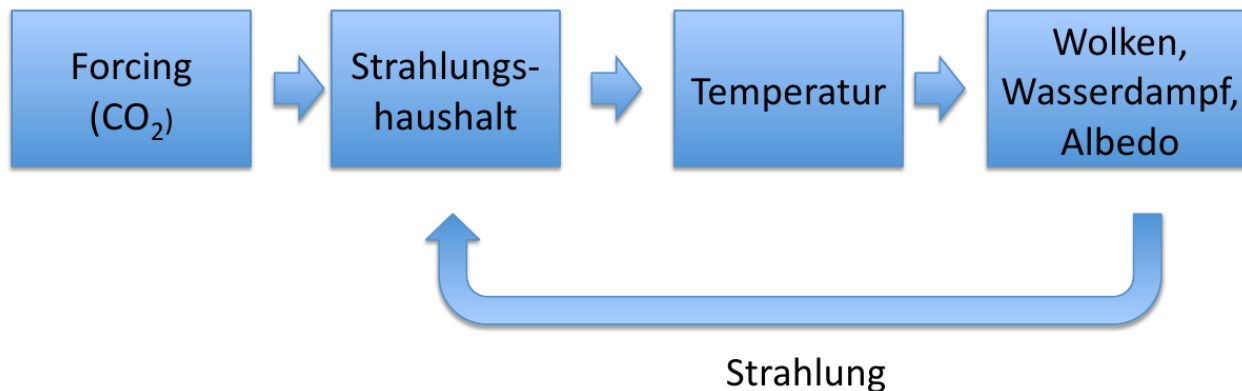
Willet et al. 2013

| | | |
|---------------|------------------|--------------|
| p=1000hPa | | |
| | T=20°C | T=22°C |
| q=10.0g/kg | 68.5% | 60.4% |
| q=10.2g/kg | 69.6% | 61.6% |
| spez. Feuchte | relative Feuchte | |

Wolkenbedeckung



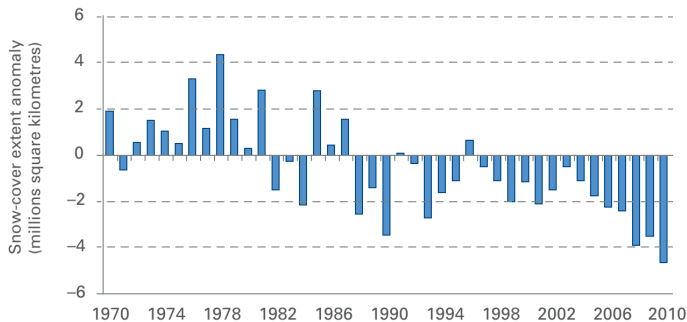
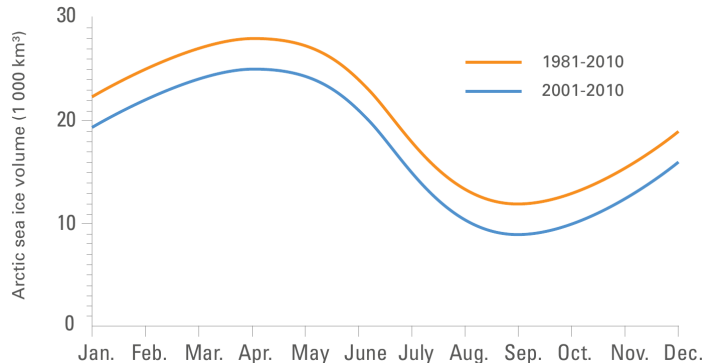
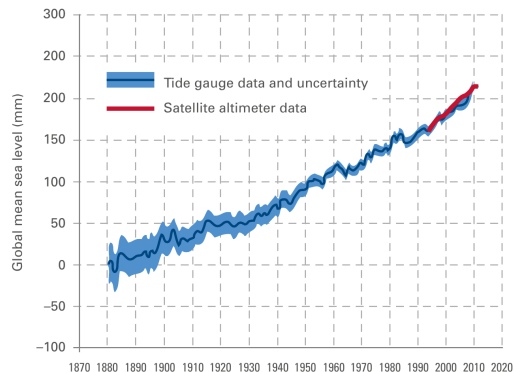
Klima-Wolken-Feedback



Ph. Kühne

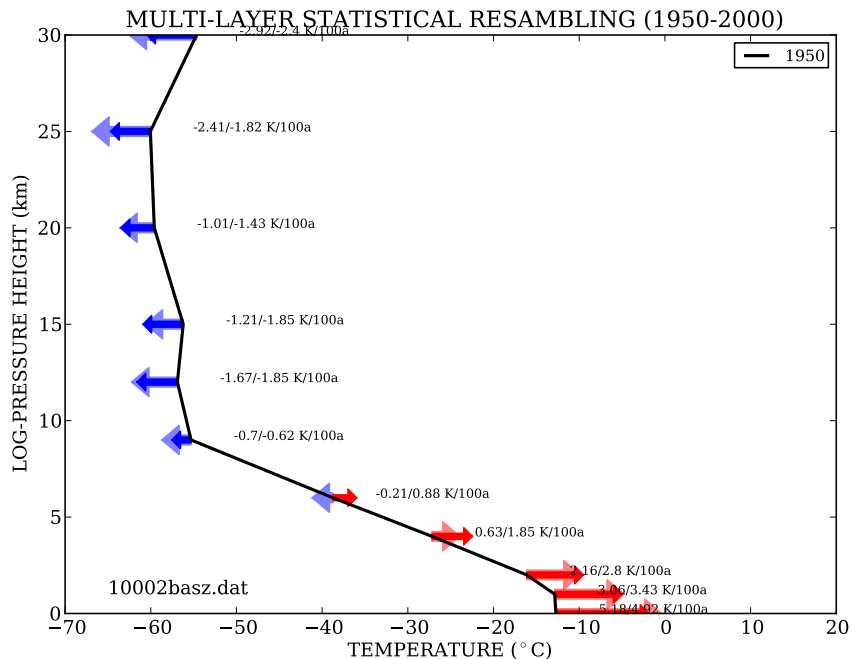
- ⇒ Wolken sind die größte Unsicherheit im Klimasystem
- ⇒ Sensitivitätsstudien mit Klimamodellen

Meeresspiegel, arkt. Meereis & Schneebedeckung



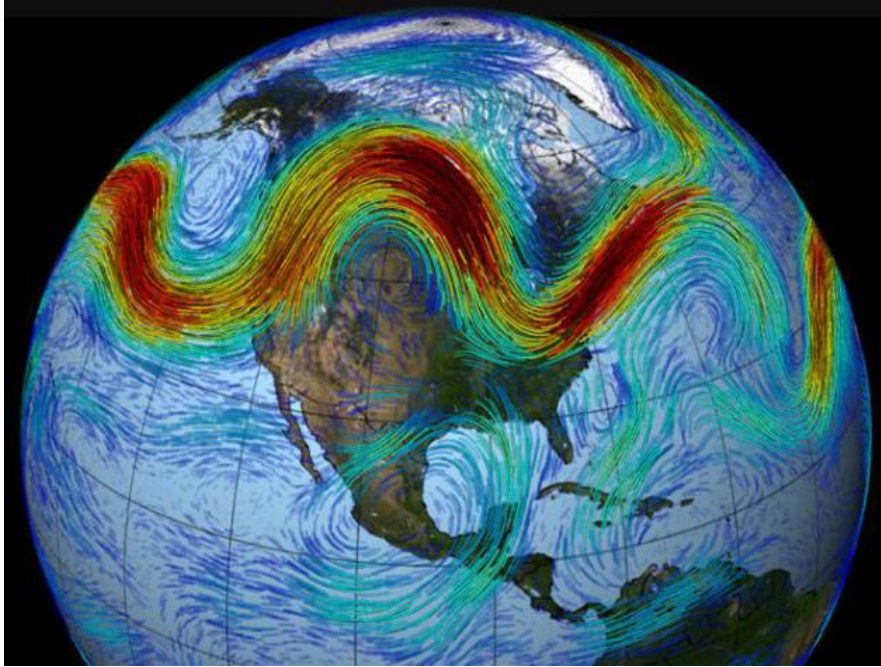
WMO 2012

Troposphäre/Stratosphäre:



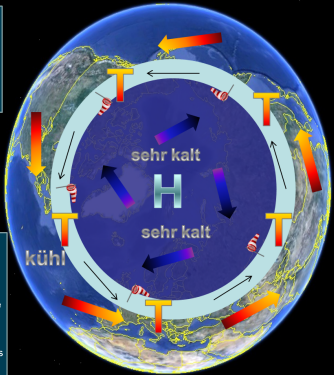
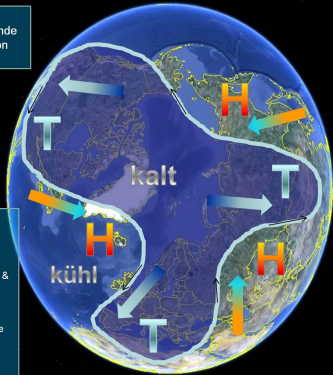
1.2. Atmosphärische Zirkulation

Planetare Wellen



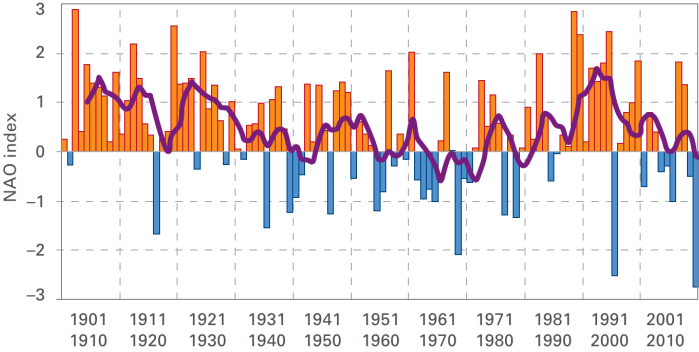
NASA

Polarwirbel (obere Troposphäre ca. 9km)

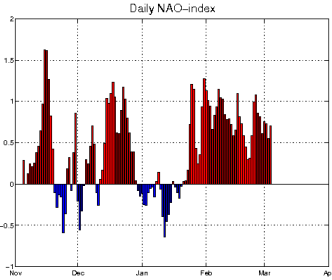
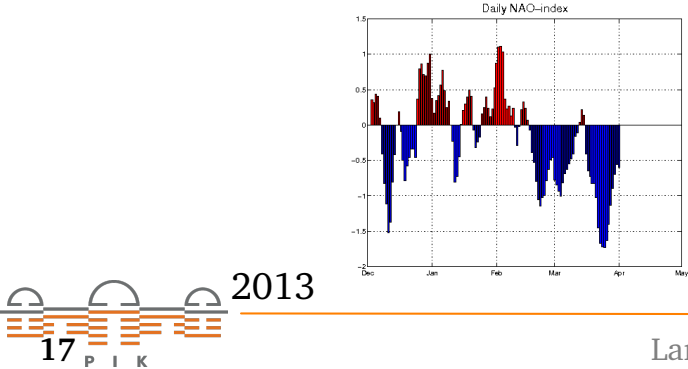
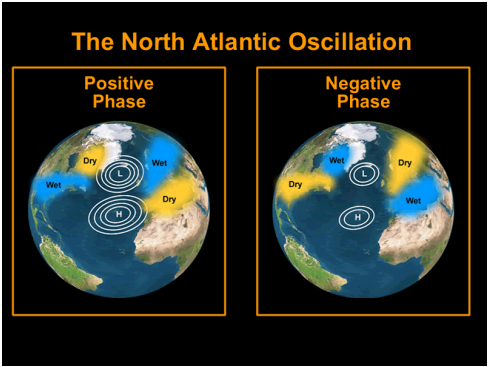
| starker Polarwirbel | schwacher Polarwirbel |
|---|--|
| <p>Winterzirkulation in der oberen Troposphäre (300 hPa / 9 km): Starker Polarjet</p> <ul style="list-style-type: none"> -> starker Polarjet -> starke zonale Winde -> zonale Zirkulation -> AO / NAO positiv -> große Temperaturgegensätze -> hohe Sturmgefahr  <p>Legende</p> <ul style="list-style-type: none"> → starker Polarjet & Richtung → sehr kalte Ostwinde → milde Westwinde H thermisches polares Kaltehoch T dynamisches Tief am Polarjet <p>google earth</p> | <p>Dominierende Winterzirkulation der kommenden Jahrzehnte I:</p> <ul style="list-style-type: none"> -> schwacher Polarjet -> schwache zonale Winde -> meridionale Zirkulation -> AO / NAO negativ  <p>Legende</p> <ul style="list-style-type: none"> Rossbywelle über Europa → schwacher Polarjet & Richtung → kalte Nordwinde → rel. milde Südwinde H blockierendes, dynamisches Hoch im Höhenrücken T dynamisches Tief im Hohenrücken <p>google earth</p> |
| zonale Zirkulation | meridionale Zirkulation |
| starke Temperaturgegensätze | schwache Temperaturgegensätze |
| NAO ⁺ | NAO ⁻ |

<http://wetter-observer.de>

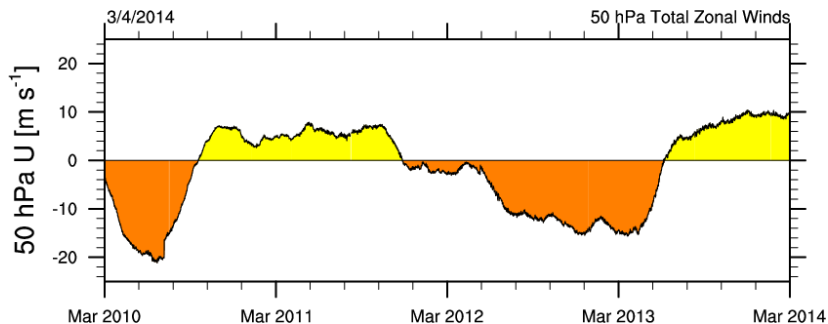
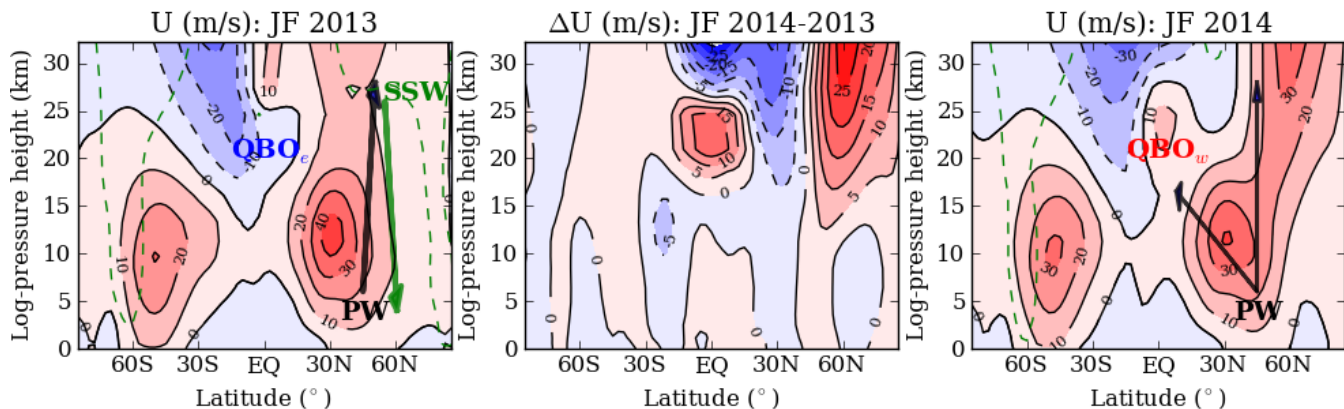
Nord Atlantische Oszillation (NAO)



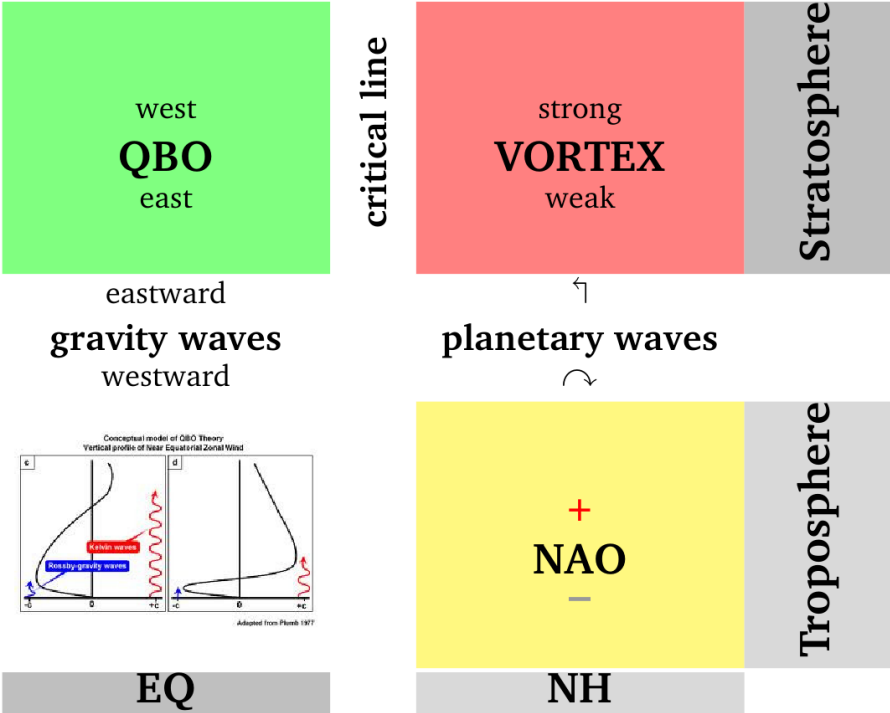
WMO



Zonalwind (Jets) & Quasi-Zweijährige Schwingung

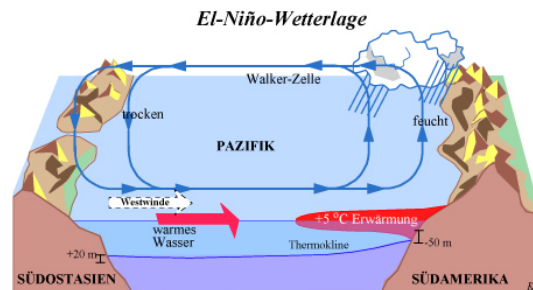
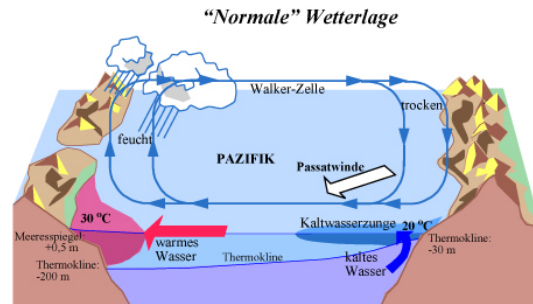
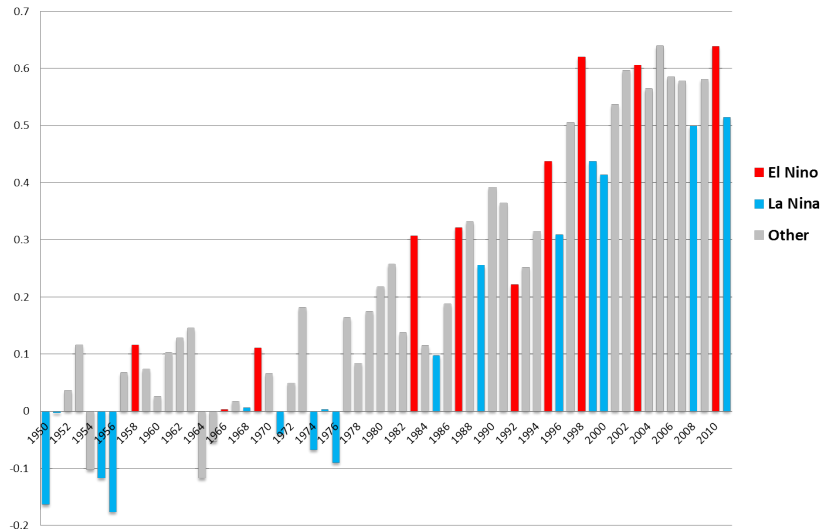


Kopplungsmechanismus im Winter

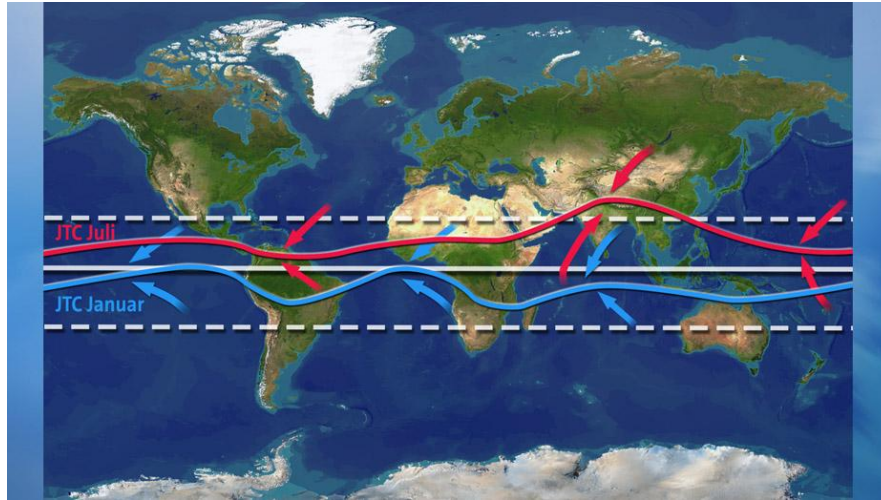


El-Niño & Temperaturanomalien

Annual Global Temperature Anomalies
1950 - 2011



Innertropische Konvergenzzone (ITC) & Monsun

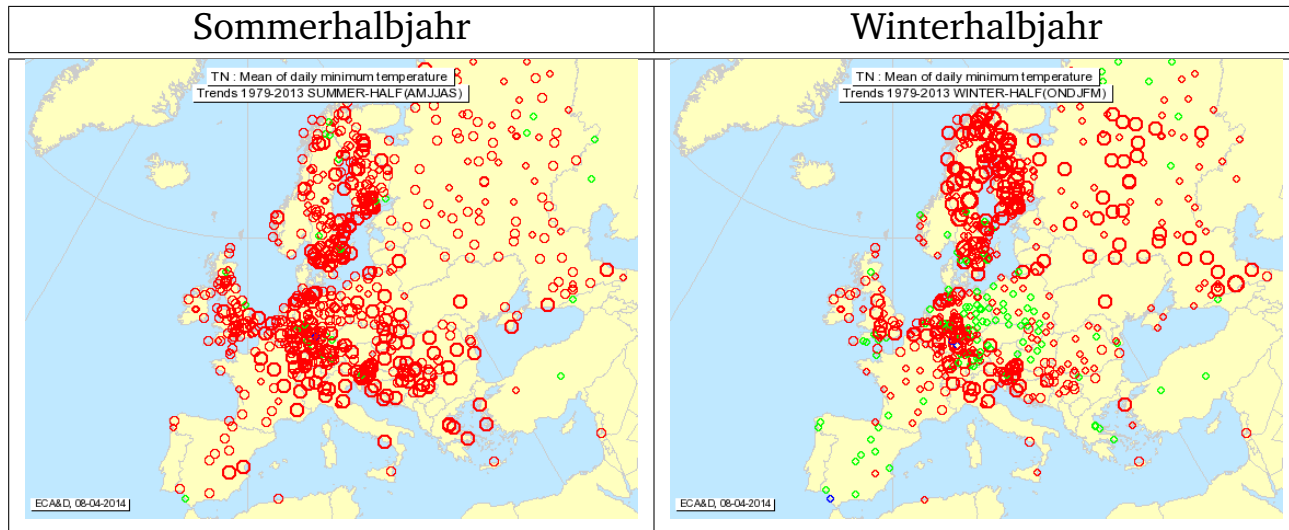


<http://wetter.tagesschau.de>



1.3. Lokale Klimaänderungen

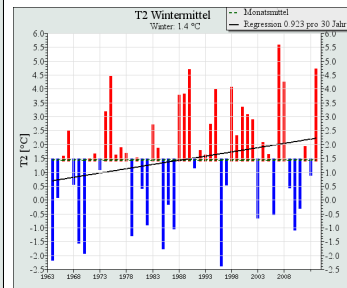
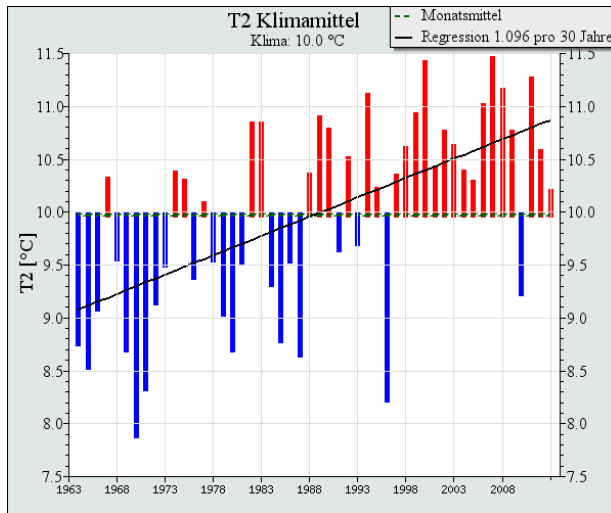
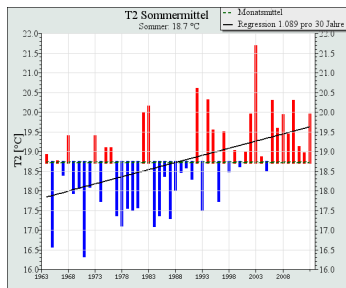
Europa:



KNMI

⇒ wiederkehrende Kälteeinbrüche in Osteuropa führen zu unsicheren Trend-
aussagen

Deutschland (Leipzig):



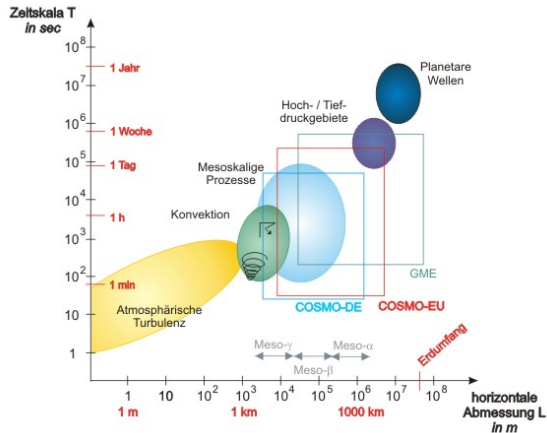
Leipziger Institut für Meteorologie

⇒ stärkere Erwärmung im Sommer als im Winter!

⇒ Winter unterliegt starken Schwankungen von Jahr zu Jahr

2. Extremereignisse

Skalen atmos. Prozesse



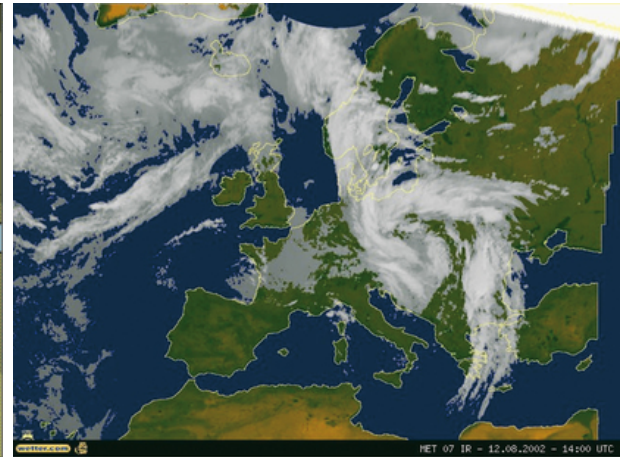
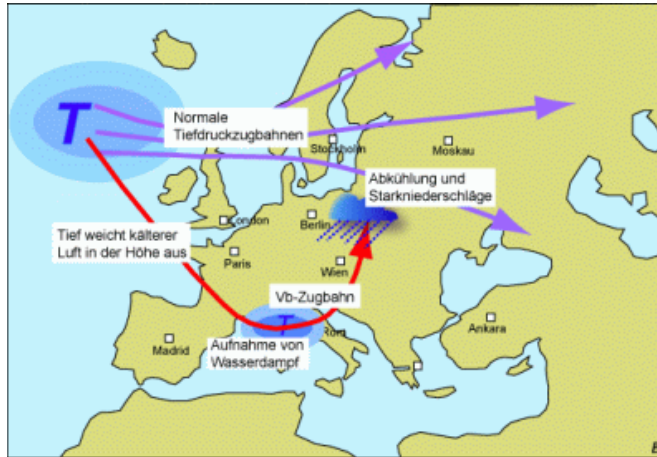
Niederschlagsrekorde

| Intervall | Niederschlag | Datum | Ort (Land) |
|-----------|--------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 min | 38 mm | 26.11.1970 | Barot (Guadeloupe) |
| 3 min | 63 mm | 29.11.1911 | Porto Bello (Panama) |
| 8 min | 126 mm | 25.05.1920 | Füssen (Deutschland) |
| 20 min | 206 mm | 07.07.1889 | Curtea-de-Arges (Rumänien) |
| 1 Std. | 401 mm | 03.07.1975 | Shangdi (China) |
| 6 Std. | 840 mm | 01.08.1975 | Muduocaidang (China) |
| 12 Std. | 1 144 mm | 08.01.1966 | Fort Foc (La Reunion) |
| 24 Std. | 1 825 mm | 08.01.1966 | Fort Foc (La Reunion) |
| 2 Tage | 2 467 mm | 9. bis 10.01.1958 | Aurere (La Reunion) |
| 3 Tage | 3 929 mm | 24. bis 26.02.2007 | Commerson (La Reunion) |
| 10 Tage | 6 028 mm | 18. bis 27.01.1980 | Commerson (La Reunion) |
| 31 Tage | 9 300 mm | 01. bis 31.07.1861 | Cherrapunji (Indien) |
| 12 Monate | 26 461 mm | August 1860 bis Juli 1861 | Cherrapunji (Indien) |

lokal: Starkregen & urbane Sturzfluten

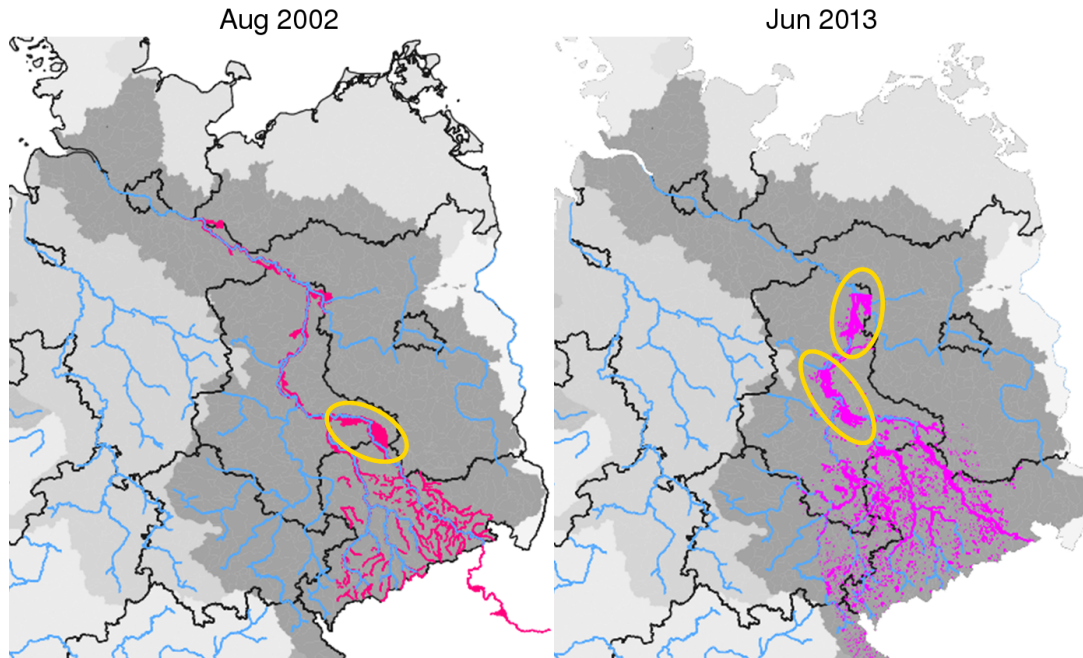
regional: Überschwemmungen (Bsp. August 2002)

Starkniederschläge (Vb-Wetterlagen)



- ⇒ Großwetterlage “Trog Mittel- bzw. Westeuropa” im Früh- und Spätsommer können oftmals mit Dauerregen im Flusseinzugsgebiet der Elbe, Oder und Donau verbunden sein

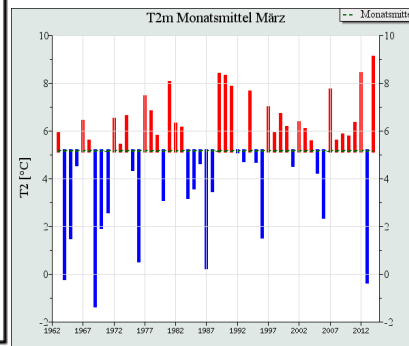
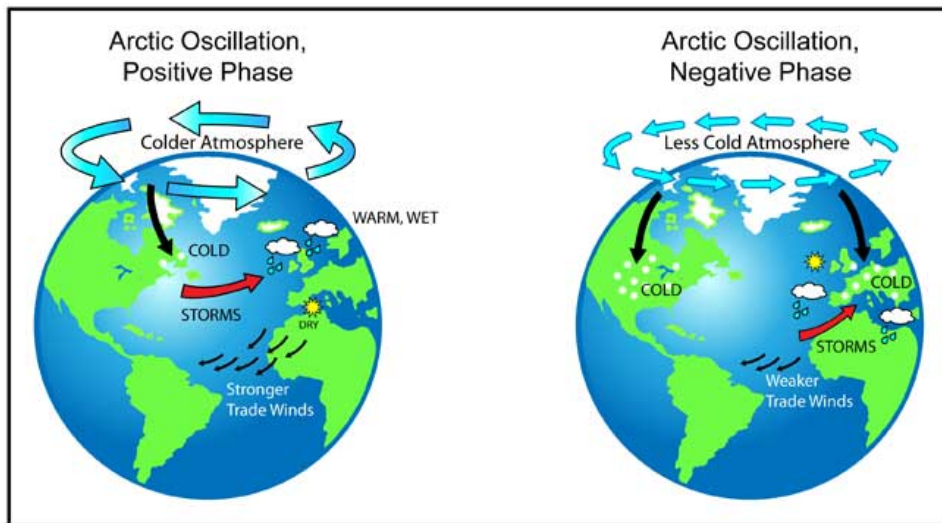
Vb-Wetterlagen & Flutkatastrophen (Aug. 2002 & Juni 2013)



Conrath et al. 2013

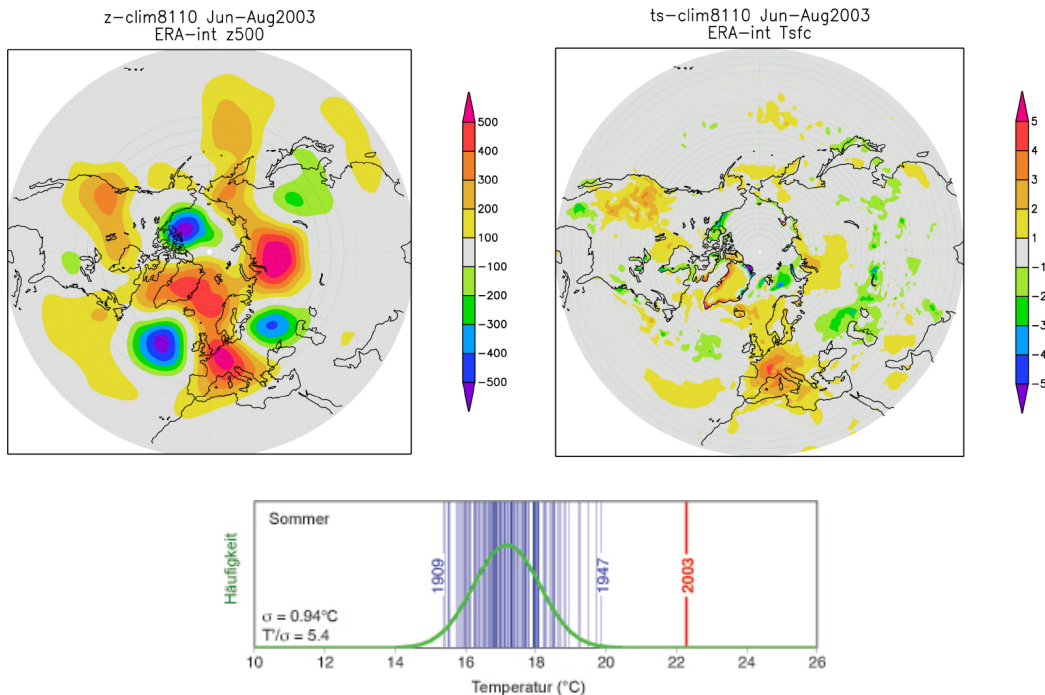
2014

2013



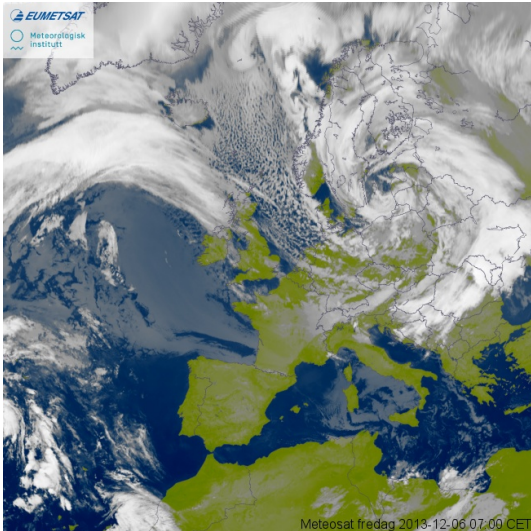
⇒ März 2013 (0°C) & März 2014 (9°C): natürliche Ursachen!

Hitzewellen (Sommer 2003)



Schär et al. 2004

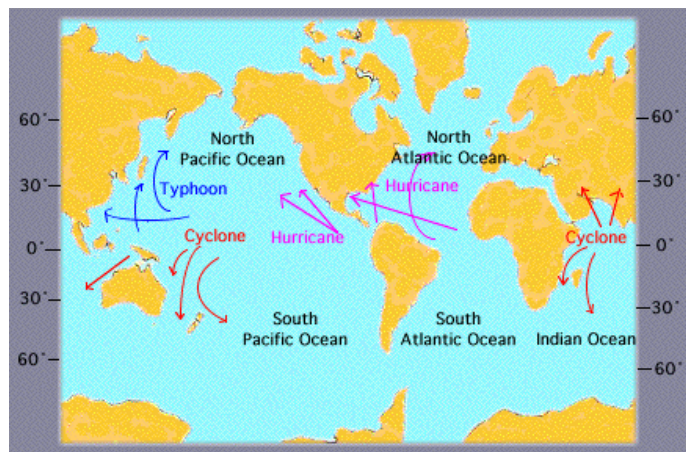
Winterstürme & Sturmfluten



Dez. 2013

⇒ häufigere Großwetterlagen vom Charakter “Westzyklonal” im Winter

Tropische Wirbelstürme: Hurrikane & Taifune

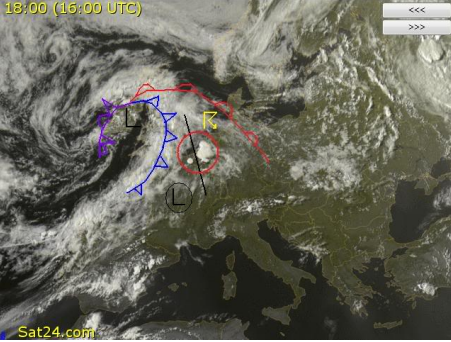
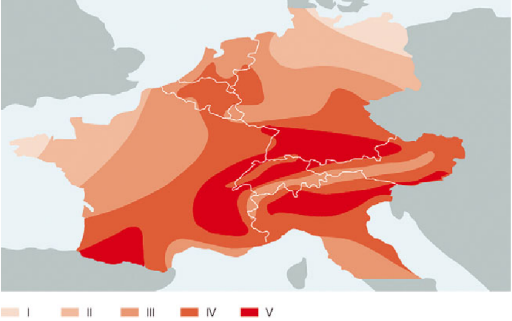
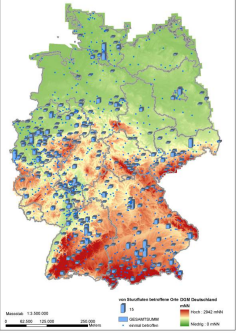


<http://www.wirbelstuerme-online.de>

- ⇒ mit steigender Oberflächentemperatur der Ozeane können sich Tropische Wirbelstürme intensivieren
- ⇒ abgeschächte Formen auch über dem Nordatlantik möglich

2.2. Kleinskalig

Superzellen & Hagel

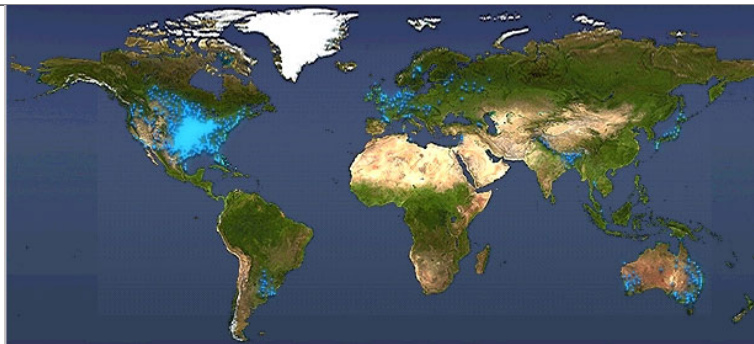
| Superzelle mit Hagel & Starkregen | Gefährdung durch Hagel | Sturzfluten |
|---|--|---|
|  |  |  |
| Sat24 | promet 2008 | www2.hydrotec.de |

⇒ Atmosphäre wird zunehmend labiler (mehr konvektive Niederschläge)

⇒ Tendenz zu lokalen Niederschlagsextremen

Superzellen & Tornados

Weltweit



Beppler (2010)

USA

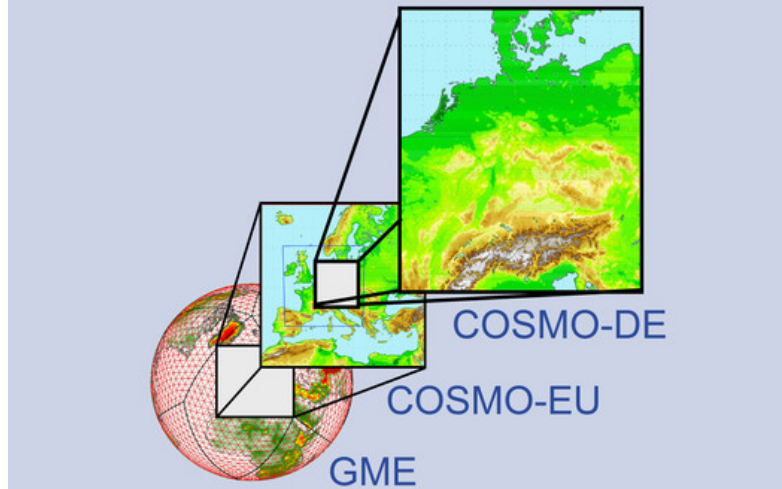


Wiki

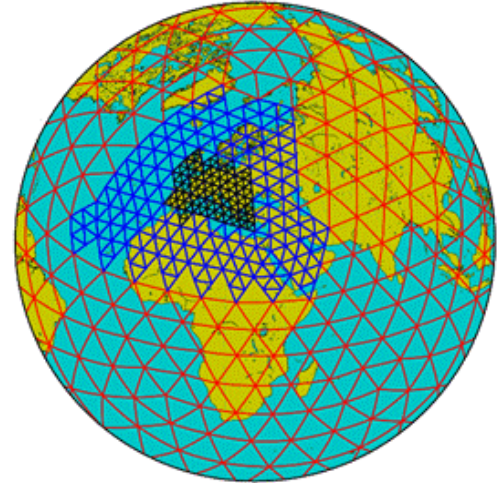
- ⇒ Tornados können Begleiterscheinungen von Superzellen sein.
- ⇒ Nur ein Bruchteil aller tatsächlich auftretenden Tornados werden registriert.
- ⇒ Deshalb sind statistische Aussagen über die Tendenz schwierig!

3. Modellketten

DWD Modellfamilie



ICON



| Beobachtungen | Assimilation | Atmosphärenmodell | Vorhersage |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Stationen, Flugzeug, Satelliten, ... | schliessen von Beobachtungslücken | Ist-Zustand der Atmosphäre | numerische Simulation |

3.1. Wettervorhersage

| | Global | Regional | Lokal |
|-----------------|--------------------|---------------|----------------|
| | Welt | Europa | Deutschland |
| Auflösung | 50 x 50 km | 12 x 12 km | 2.8 x 2.8 km |
| Initialisierung | Obs. & Sat. | | RADAR |
| Vorhersage | 1-10 Tage | 3-72 Stunden | 3-48 Stunden |
| Modelle | GFS, ECMWF | WRF, COSMO-EU | COSMO-DE |
| Termine | 00, 06, 12, 18 UTC | | |
| Antrieb | Datenassimilation | Globalmodell | Regionalmodell |
| Wetter & Klima | ICON | | COSMO-DE |

⇒ Wetterdienste:

– DWD, ECMWF, JMA, SMHI, NCAR, MeteoFrance, ...

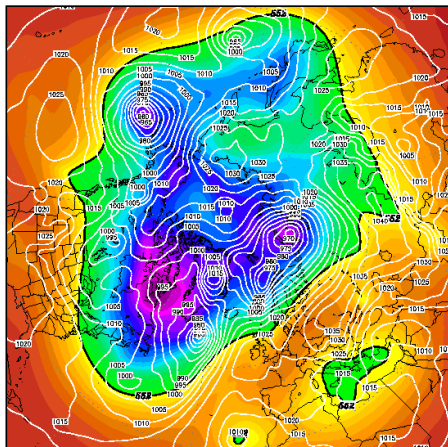
Vorhersageprodukte:

Profikarten

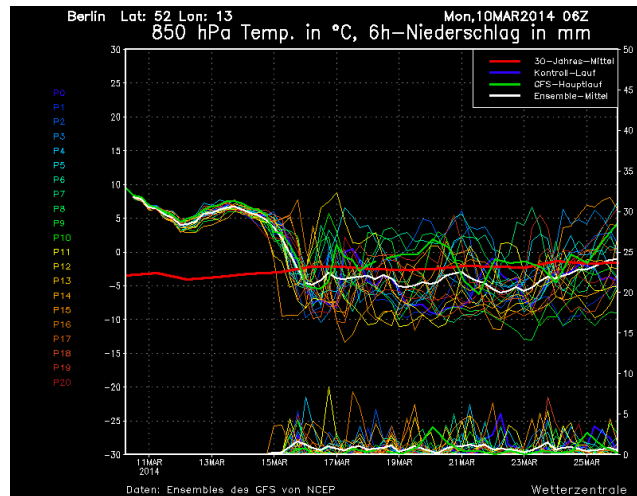
Init : Mon,10MAR2014 06Z

Valid: Mon,10MAR2014 06Z

500 hPa Geopot. (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de



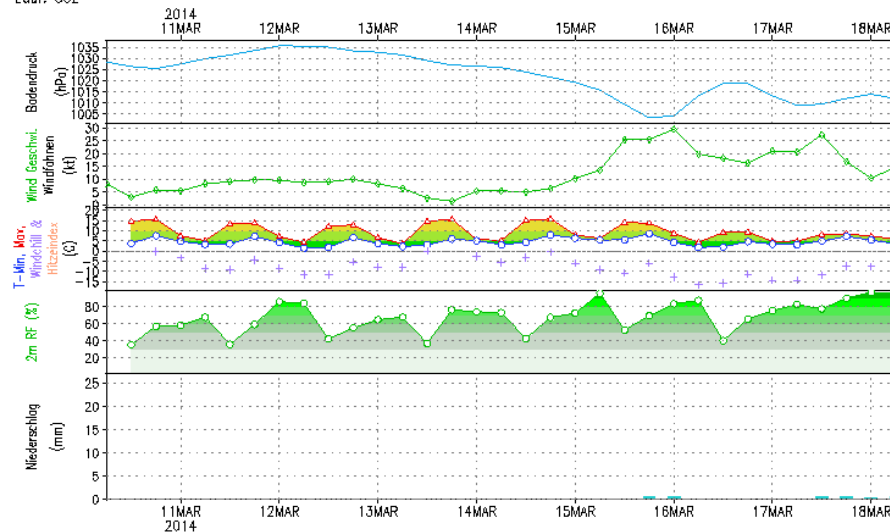
Wetterzentrale.de

Meteogramme

Berlin

Lauf: 06Z

GFS – Bodennahe Werte



Sonnenaufgang heute 05:31 UTC
Sonnenuntergang heute 17:00 UTC

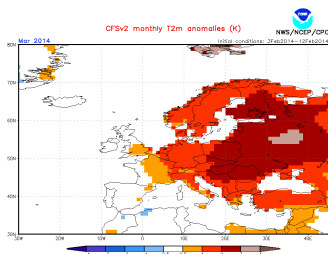
| Niederschlags Typen | | Elskoerner | Hitzeindex > 25°C wird gezeigt |
|----------------------|--|-----------------------|---|
| Schneeregen | | Schnee | Fester Nieders. in Flüssigwasser äquivalent |
| Regen und Elskoerner | | Regen | |
| Im Bergland Schnee | | Schauer oder Gewitter | Wind chill unter 0°C wird gezeigt |
| | | Gefrierender Regen | |

Wetterzentrale

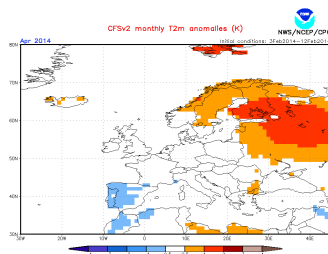
Wetterzentrale.de

Saisonale Vorhersagen:

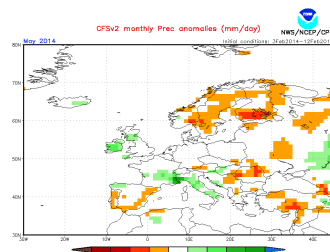
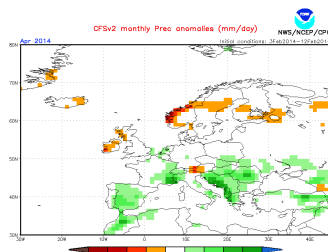
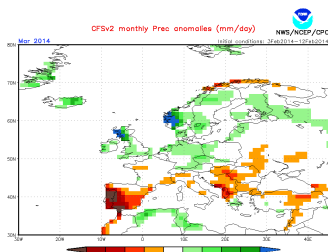
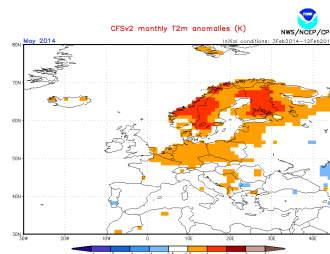
März 2014



April 2014



Mai 2014



NOAA

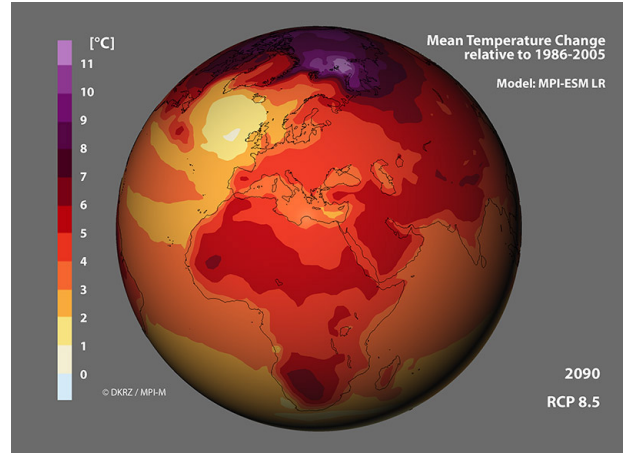
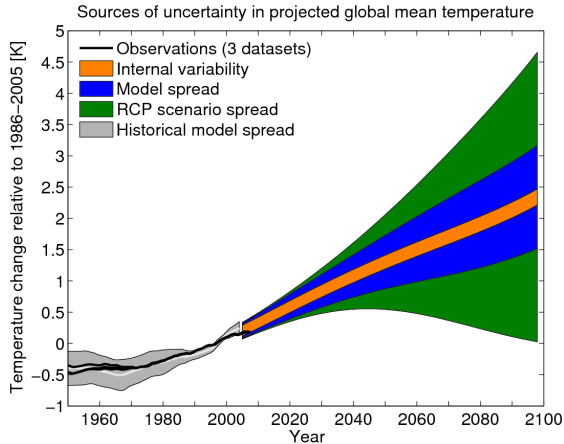
3.2. Klimaprojektion

| dynamisch | Global | Regional |
|----------------|--------------------|----------------|
| | Welt | Europa |
| Auflösung | 100 x 100 km | 12 x 12 km |
| Projektion | 1900 - 2300 | 1950 - 2100 |
| Modelle | ECHAM | WRF, COSMO-CLM |
| Projekte | CMIP5 | Euro-CORDEX |
| Antrieb | Emissionsszenarien | Globalmodell |
| Wetter & Klima | ICON | |

| statistisch | STARS | WETTREG |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Anwendungsgebiet | Deutschland & regional | Deutschland |
| Datengrundlage | Klimastationen oder Reanalysen | DWD Klimastationen |
| Antrieb aus Globalmodell | Temperaturtrends | Großwetterlagen |

4. nahe Zukunft

Global



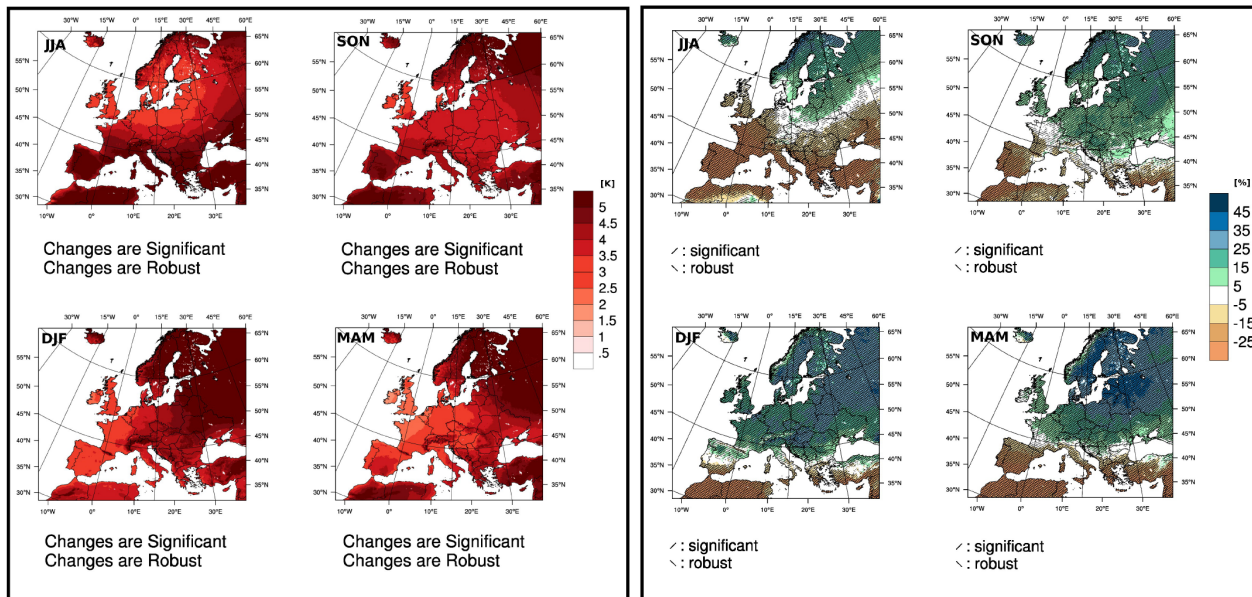
IPCC, AR5

⇒ Klimaprojektionen:

– von Emissionsszenarien zu möglichen Veränderungen im Klimasystem

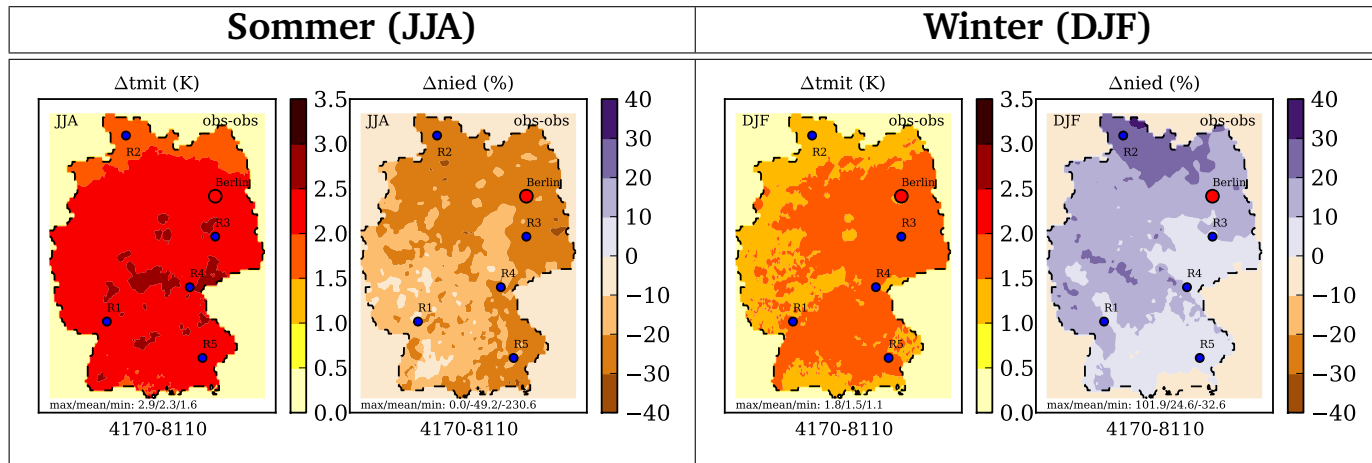
Europa (rcp 8.5, dynamisch)

ΔT 2071-2100 – 1971-2000 ΔR



Jacob et al. 2013

Deutschland (MPI-ESM-LR, rcp8.5, statistisch)



PIK

- ⇒ regionale Klimaprojektion für Deutschland mittels statistischer Methoden
- ⇒ Klimabeobachtungen der vergangenen Jahrzehnte werden entsprechend eines vorgegebenen Temperaturextremstrends systematisch umgeordnet

Mögliche Vision:

eine “nahtlose” Vorhersage für das Elbeinzugsgebiet

