

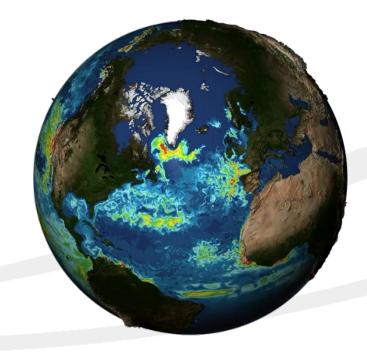
Visualisierung in der Klimaforschung

Michael Böttinger

Florian Ziemen, Karin Meier-Fleischer, Dela Spickermann

Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ)



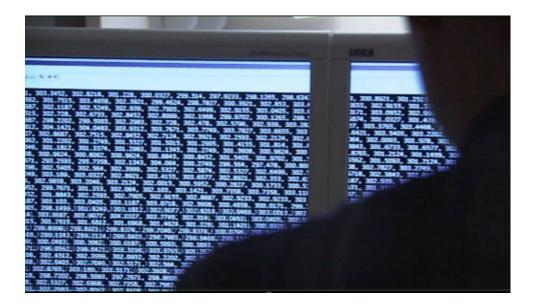




Motivation

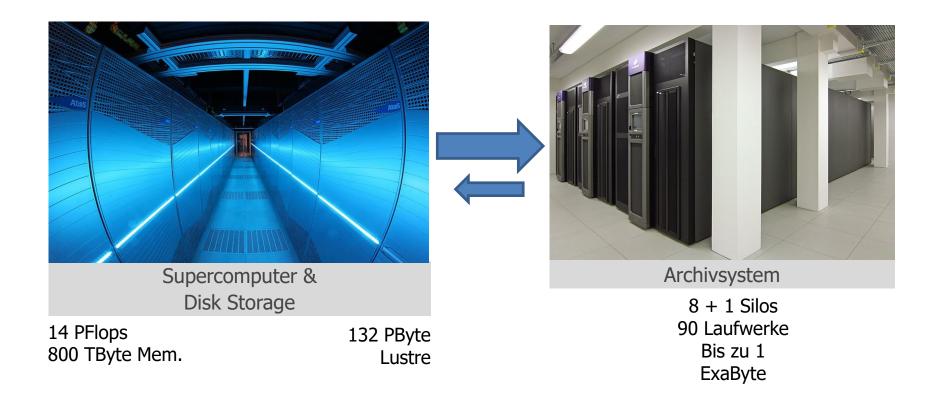
Viele Zahlen auf einmal sind für uns schwer zu erfassen.

Und Klimamodelle produzieren sehr viele Zahlen ...





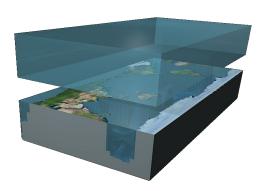
Datenproduktion am DKRZ

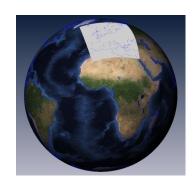


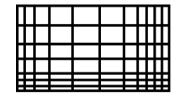


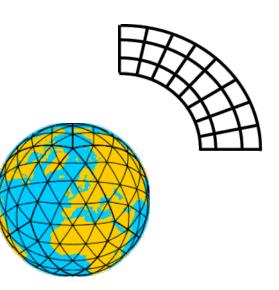
Daten in der Klimamodellierung

- Georefererenzierte Daten -> Mapping
- Gitter: rektilinear, kurvilinear, rotiert, irregulär ...
- Multivariat / Skalar- und Vektor
- "Special values"
- Zeitachse: lang ...
- Gekoppelte Modelle: unterschiedliche Gitter
- Multi-Run-Experimente (Ensembles) -> Verlässlichkeit
- Formate: NetCDF, GRIB
 - Konventionen für Metadaten (z.B. NetCDF/CF-1.0)



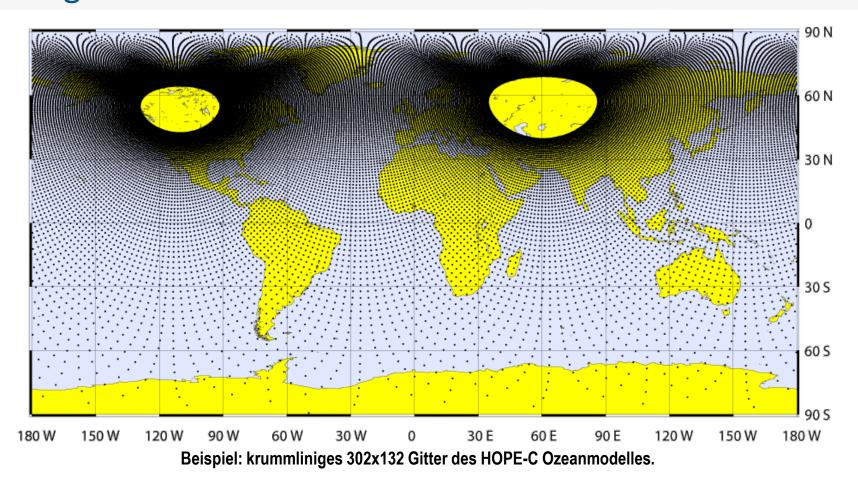






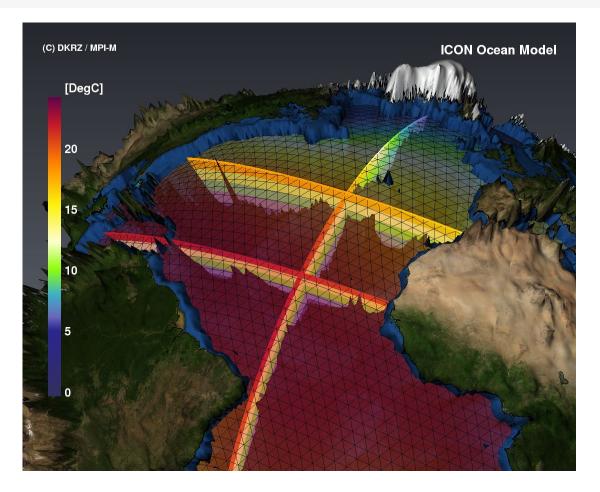


Modellgitter





Modellgitter: ICON



Von den Ergebnisdaten zur Darstellung

- Visualisierung = etwas sichtbar machen
- In der Klimaforschung: abstrakte Datenwerte mit räumlichen und zeitlichen Bezug zu unserer Welt in eine bildliche Repräsentation überführen.
- Bild: Formen und Farben
- Reduktion des Informationsgehaltes
 - z.B. von 64 / 32 Bit pro Gitterpunkt auf 8 Bit
- Bezug zur Welt herstellen: Kontext (hier geographisches Mapping)



Von Daten zu Bildern: Farben

- Abbildung von Wertebereich auf Farbverlauf
- Nicht standardisiert
- De-Facto-Standards: Psychologisches Moment
 - Warm -> Rot , Kalt -> Blau
 - Änderungen: Zunahme -> rot, Abnahme -> blau
 - aber: z.B. Niederschlag umgekehrt
 - colorbrewer2.org
- Unterscheidbarkeit
- Kontinuierliche / diskrete Colormaps

[°C]

6

5

4

3

2

.

Λ

_1

-2

-3

4

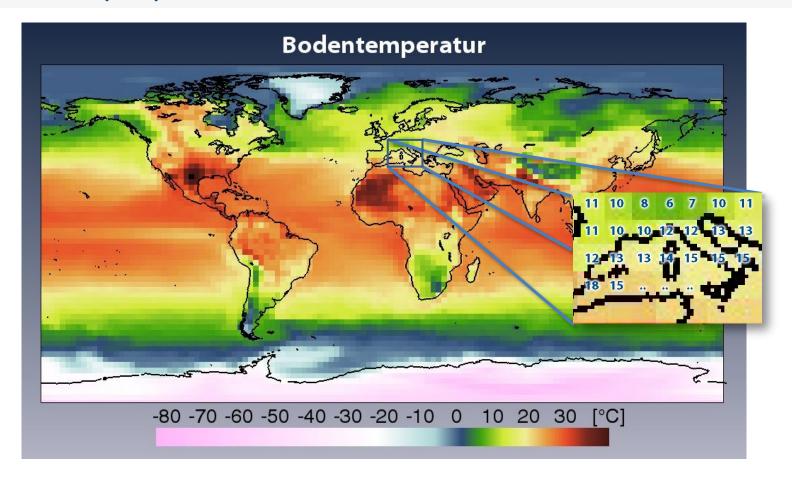
-5

-6

-7

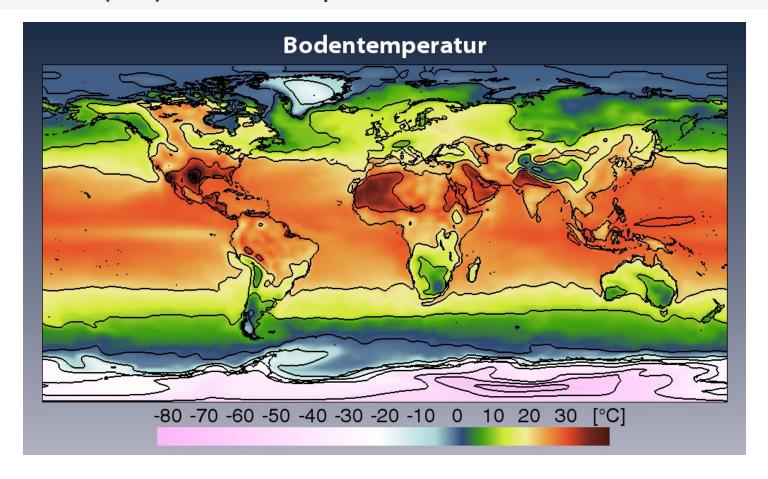


Methoden (2D): Malen nach Zahlen



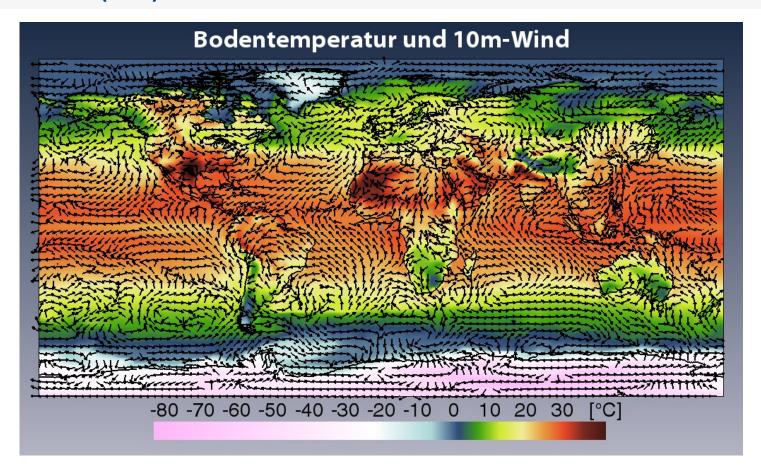


Methoden (2D): Farbinterpolation und Isolinien



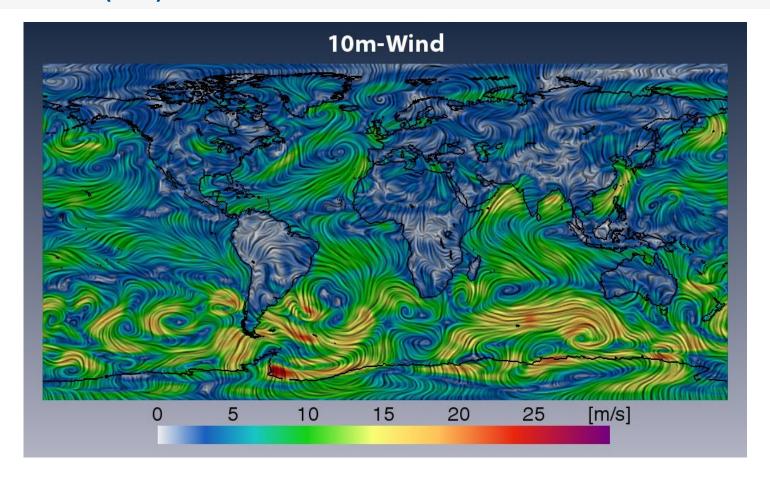


Methoden (2D): Vektorfelder



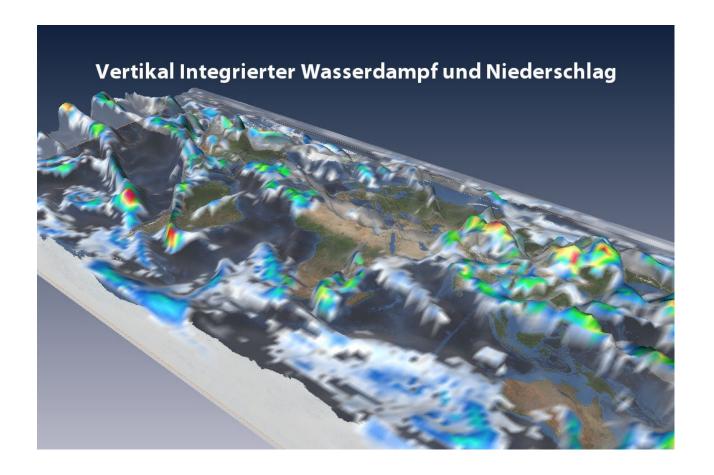


Methoden (2D): Vektorfelder

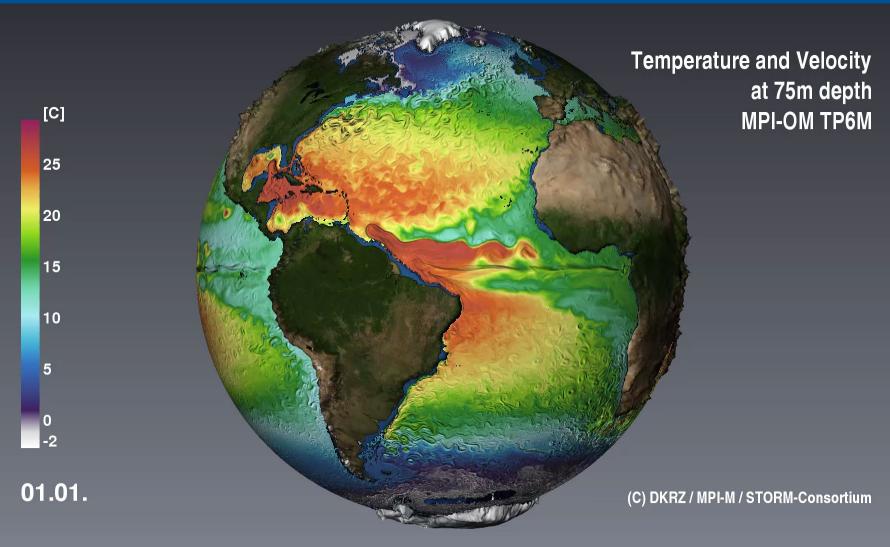




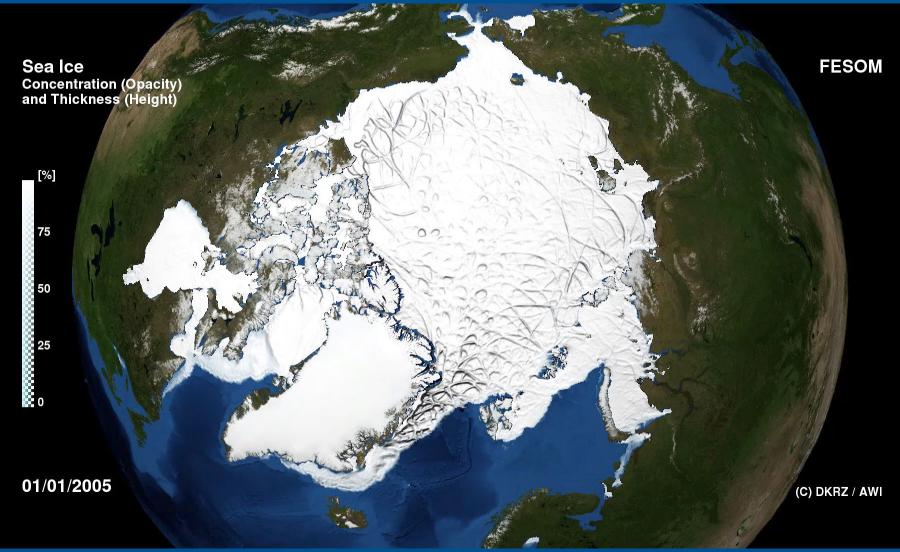
Multivariate Daten: 2,5D





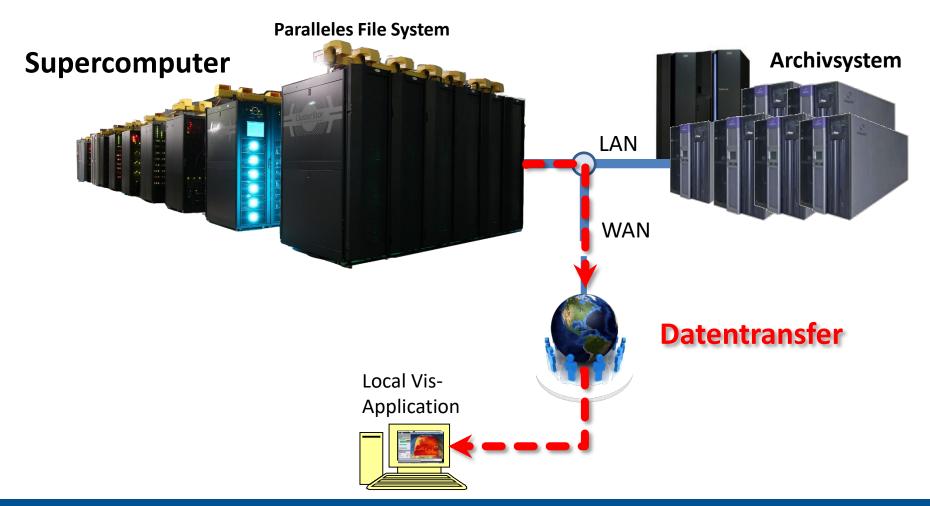






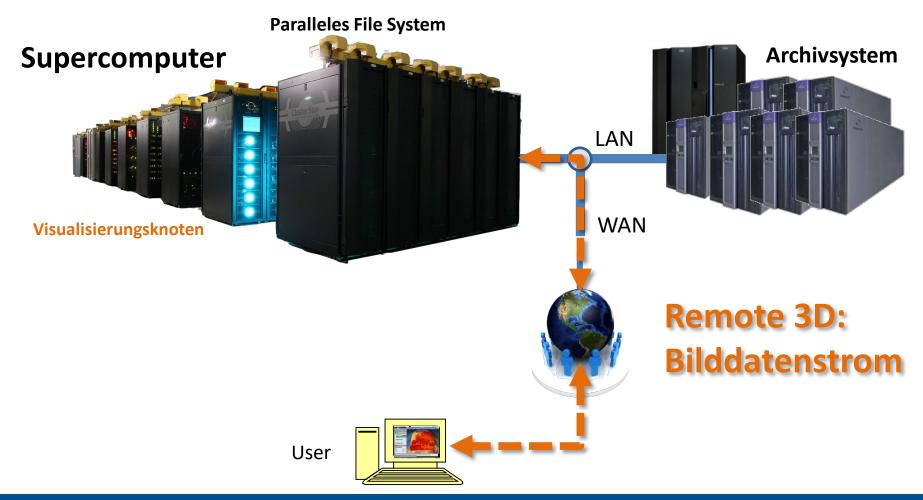


3D-Visualisierung in einer HPC Umgebung



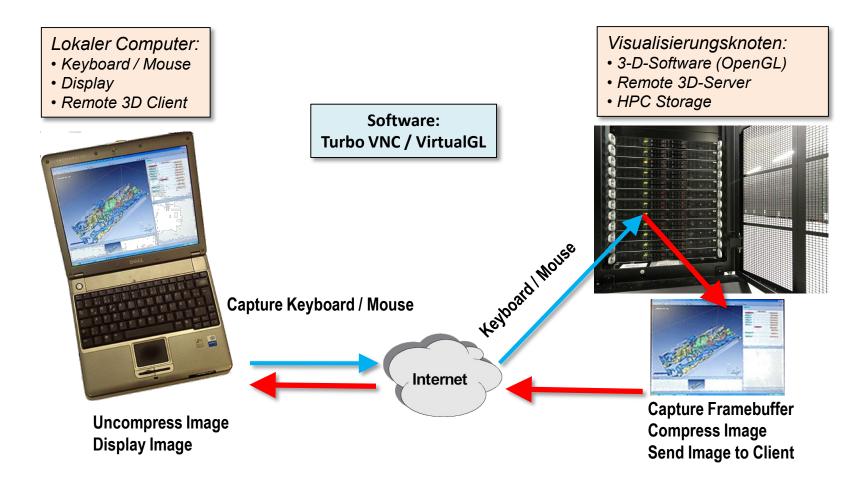


3D-Visualisierung in einer HPC Umgebung





3D-Visualisierung in einer HPC Umgebung





3D-Visualisierung

2D	3D
Falschfarb-Darstellung	Volume Rendering (zusätzlich Transparenz)
Isolinien	Isosurface
Vektorpfeile	Vektorpfeile im Raum
Stromlinien	(beleuchtete) Stromlinien
Schnitte	Schnitte im Raum

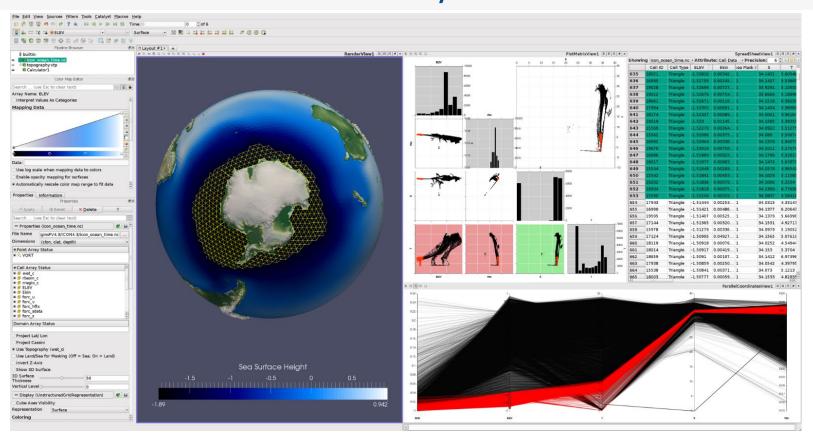


Visualisierungstools

Туре	Name	URL	Properties	
Domain-	NCL	http://www.ncl.ucar.edu/	2D script-based	Frei
specific	IDV	http://www.unidata.ucar.edu/software/idv/	2D/3D interactive GUI	Frei
	Vapor	https://www.vapor.ucar.edu/	3D interactive GUI	Frei
	UV-CDAT	http://uvcdat.llnl.gov/	Collection: 2D /3D tools	Frei
	GrADS	http://cola.gmu.edu/grads/	2D script-based	Frei
	Ferret	http://www.ferret.noaa.gov/Ferret/	2D script-based	Frei
	GMT	http://gmt.soest.hawaii.edu/	2D script-based	Frei
General-	ParaView	http://www.paraview.org/	3D interactive GUI	Frei
purpose	IDL	http://www.harrisgeospatial.com/	2D script-based	\$\$
	Python / matplotlib	http://matplotlib.org/	2D script-based	Frei



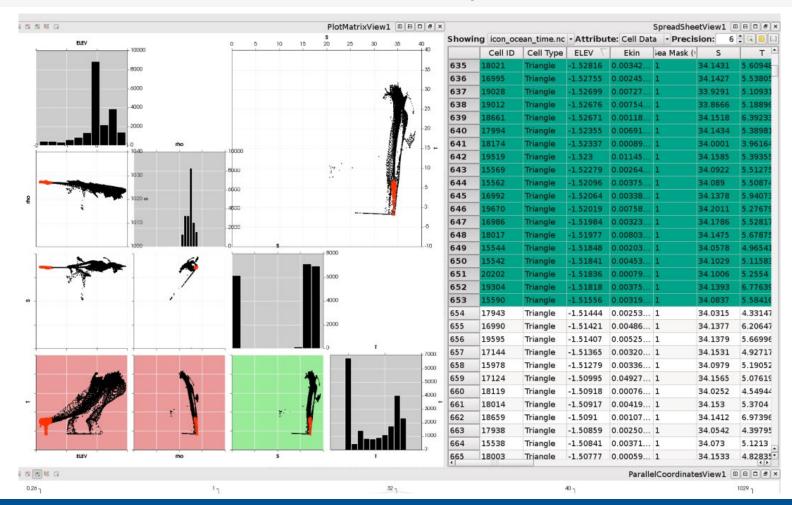
Interaktive Visuelle Datenanalyse: ParaView



- ParaView-Tutorial für Klimamodelldaten
- ICON-NetCDF Plugin (Niklas Röber)

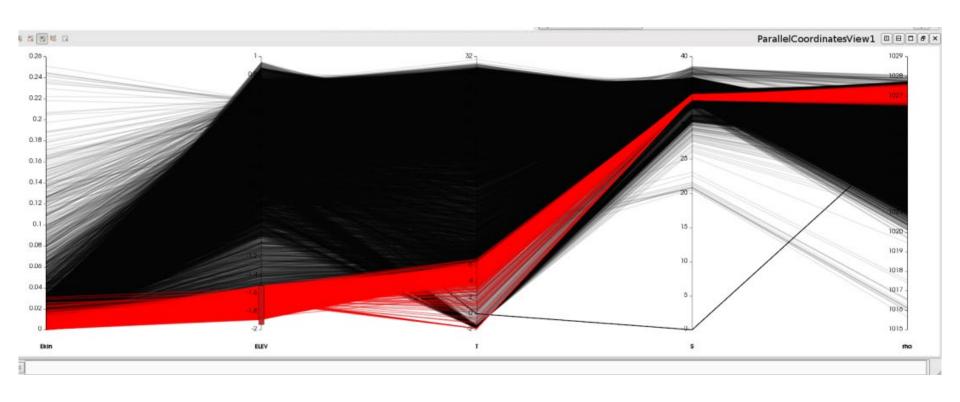


Interaktive visuelle Datenanalyse



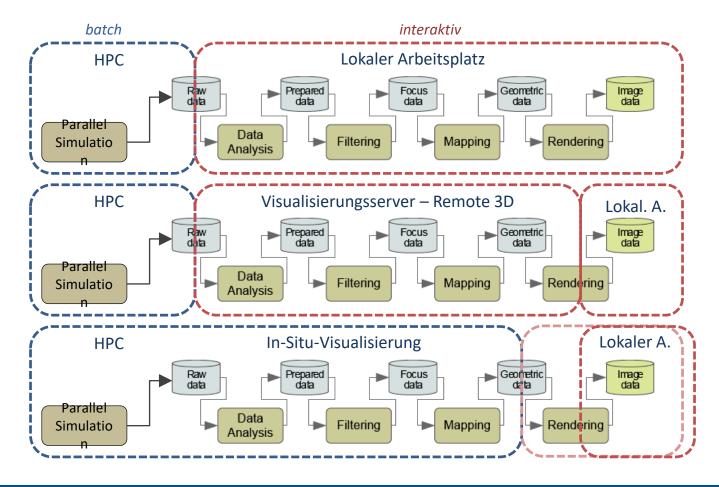


Parallele Koordinaten



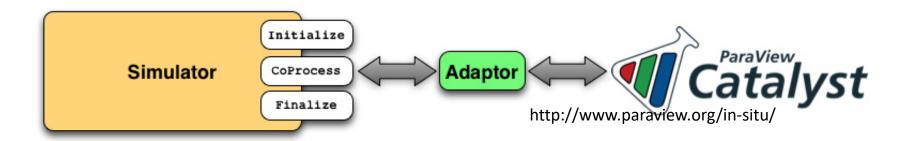


Big Data: Simulations- und Analyse-Pipline





Big Data: In-Situ-Visualisierung mit ParaView Catalyst

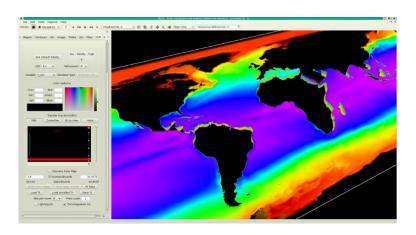


- Paraview-Prozesse auf HPC-Knoten
- Interaktives GUI auf lokaler Workstation



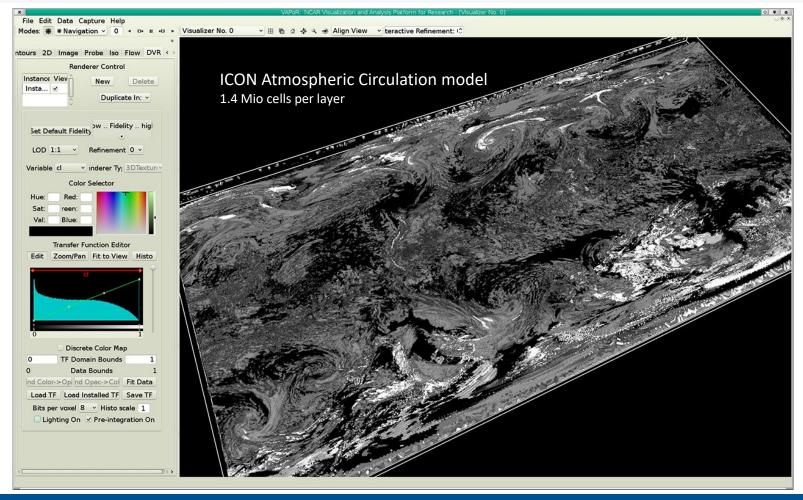
Big Data: Interaktive LOD-Visualisierung mit Vapor

- Visualization and Analysis Platform for Ocean, Atmosphere, and Solar Researchers
- Entwicklung: NCAR/UCAR
- VAPOR Data Collection (VDC) Datenmodell
 - Wavelet-basiert, LOD
- ICON/MPAS support (under development, NCAR & DKRZ)

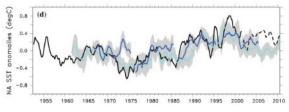




Vapor



Klima, Zeit und Variabilität



Source: Polkowa et al., Clim Dyn (2014) 42:3151-3169, Figure 5 (cutout)

Vom Wetter zum Klima

Wetter

- Erscheinungen in den unteren Luftschichten, die an einem Ort oder in einer Region auftreten:
- z.B. Wolken, Niederschlag, Nebel, Gewitter, Höchst- und Tiefsttemperatur, Windverhältnisse.

Klima

- Gesamtheit der atmosphärischen Zustände und Vorgänge in einem hinreichend langen Zeitraum
- Mittlere Zustände und Variabilität (Streuung, Häufigkeitsverteilung, Extremwerte, etc.

Vom Wetter zum Klima

Wetter

- Erscheinungen in den unteren Luftschichten, die an einem Ort oder in einer Region auftreten:
- z.B. Wolken, Niederschlag, Nebel, Gewitter, Höchst- und Tiefsttemperatur, Windverhältnisse.

Klima

- Gesamtheit der atmosphärischen Zustände und Vorgänge in einem hinreichend langen Zeitraum
- Mittlere Zustände und Variabilität (Streuung, Häufigkeitsverteilung, Extremwerte, etc.

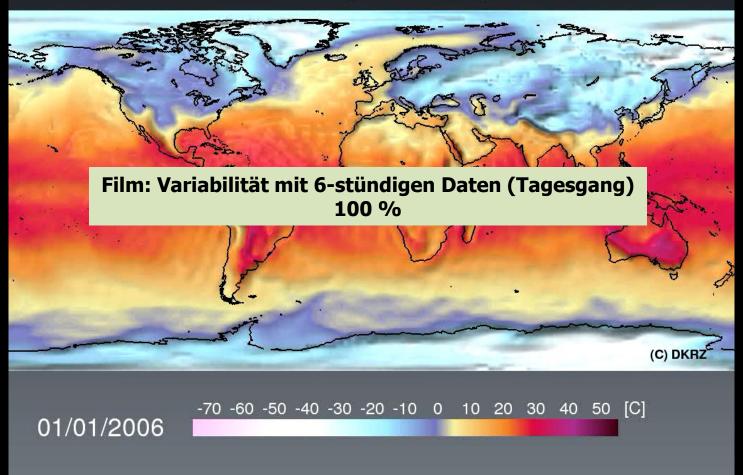


Variabilität im Klimasystem

- Randbedingungen
 - Erdrotation > Tageszyklus
 - Bahn um die Sonne -> Jahresgang
 - Quasi-periodische Variationen der Erdbahnparameter (95000, 41000, 19000, 23000 Jahre)
 - Variabilität in der Sonnenaktivität
 - Einzelereignisse -> z.B. Vulkanausbrüche
- Interne Variabilität des Erdsystems
 - "Schwingungen" des gekoppelten Systems (El Nino, NAO, …)

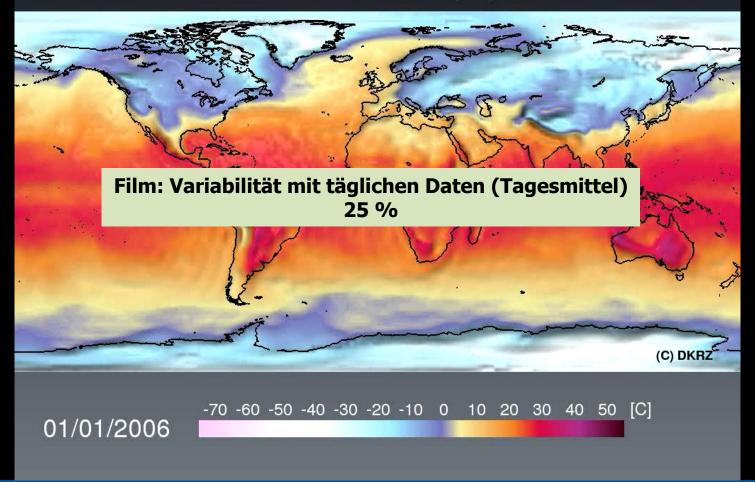






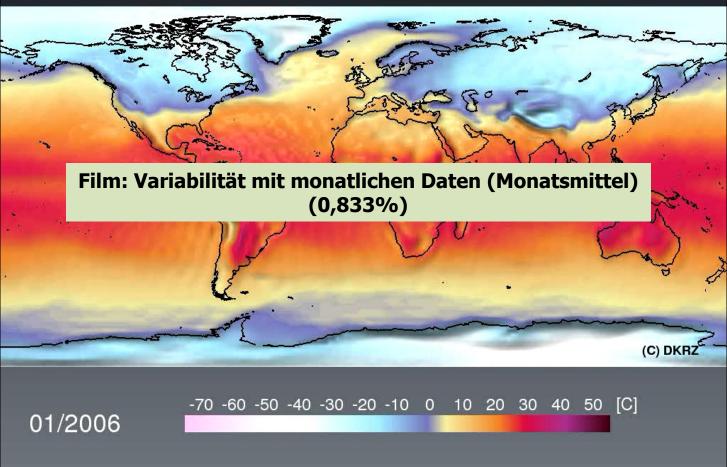






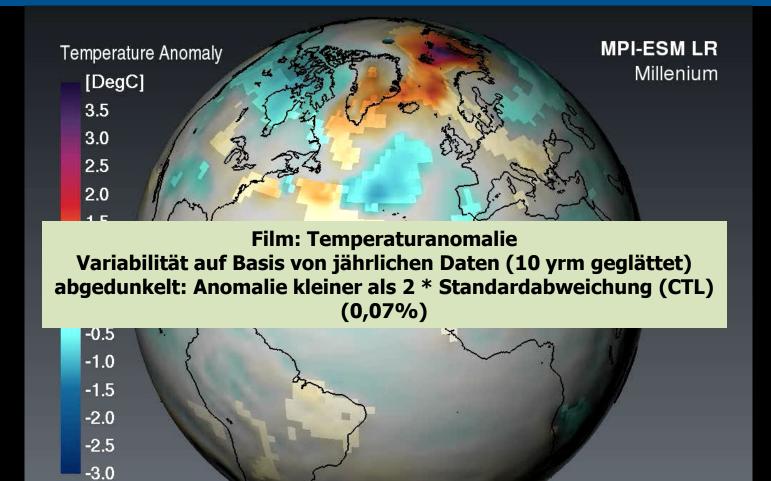








(C) DKRZ / MPI-M



Michael Böttinger (DKRZ) 22.11.2022

0855

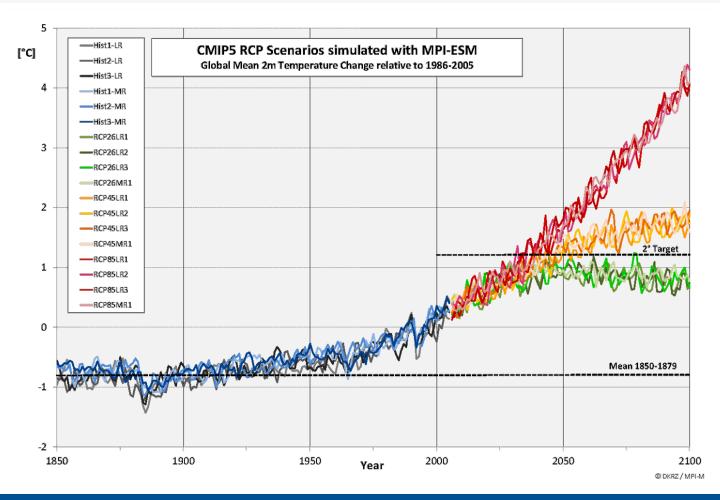


Ergebnisdaten aus Nachverarbeitungen: Klima

- Änderungen (Differenzen)
- Mittelwerte
 - räumlich
 - zeitlich
- Integrale
- Klimatologien
- Extremwertstatistik
- Spektralanalysen
- etc.

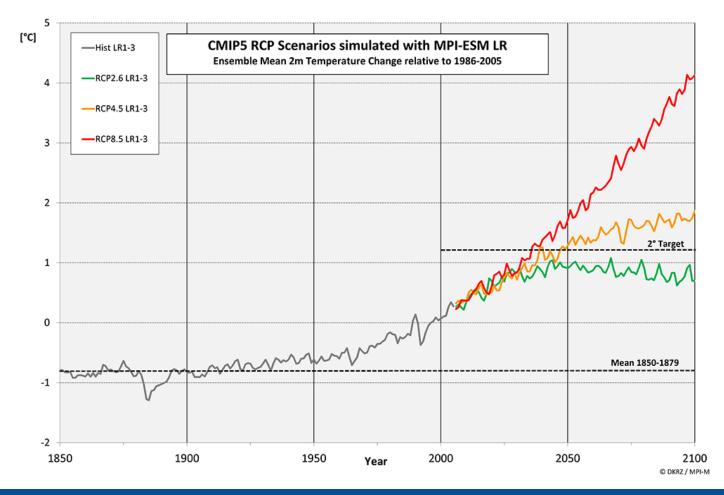


Differenzen - räumlich und zeitlich gemittelt



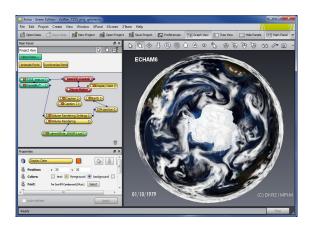


Differenzen - räumlich und zeitlich gemittelt + Ensemb.

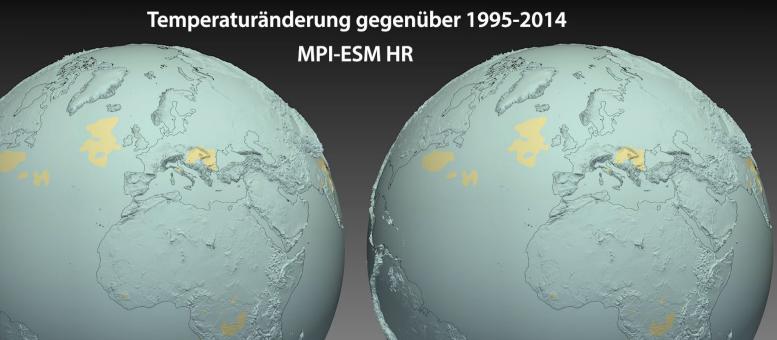


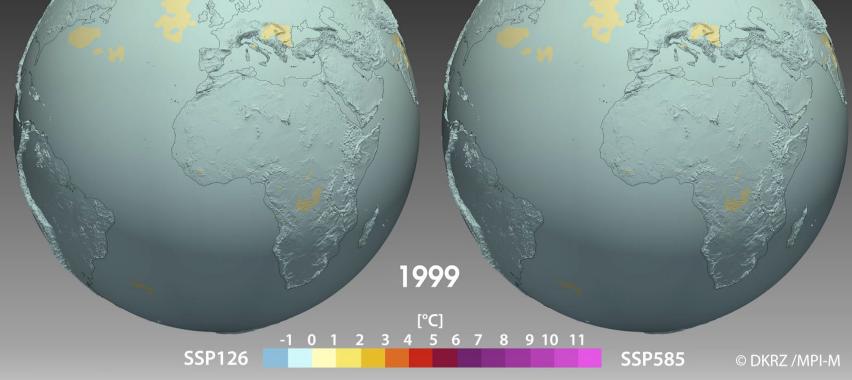


Anwendungsbeispiele

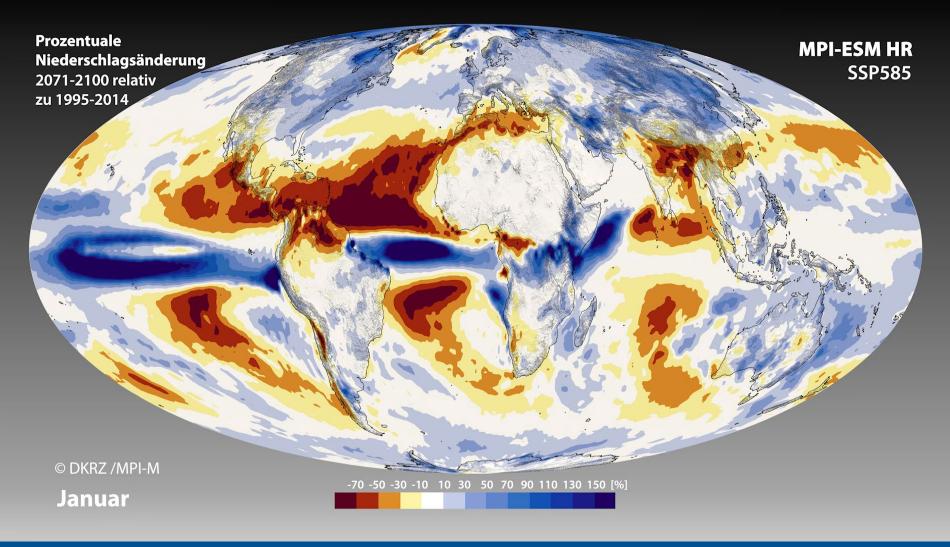




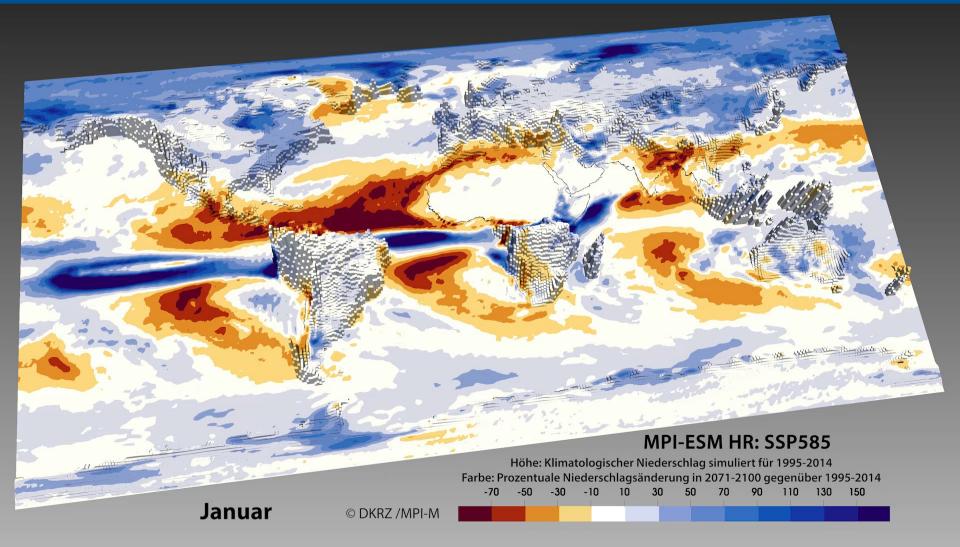










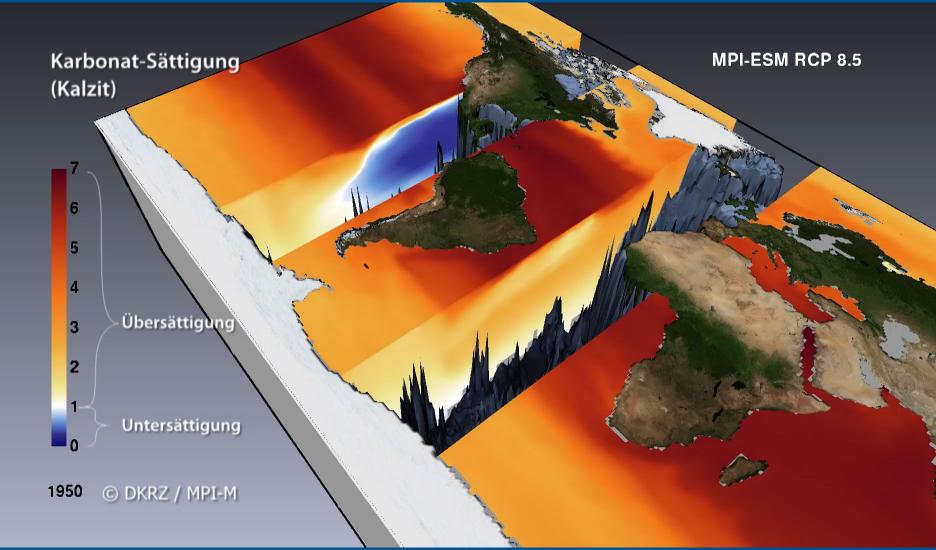




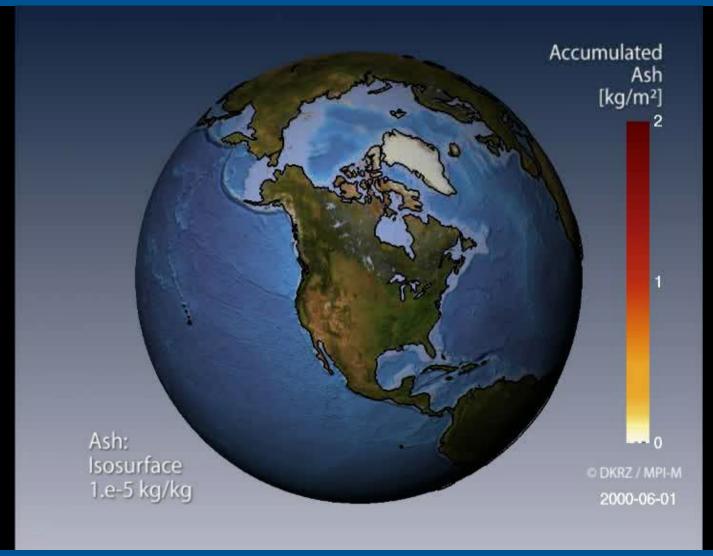
Inlandeis





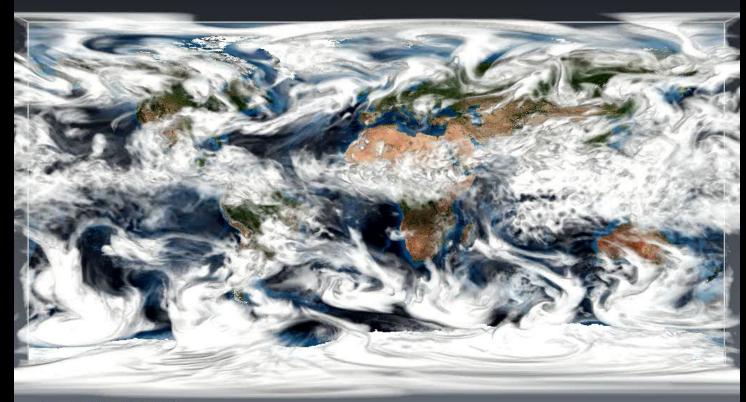








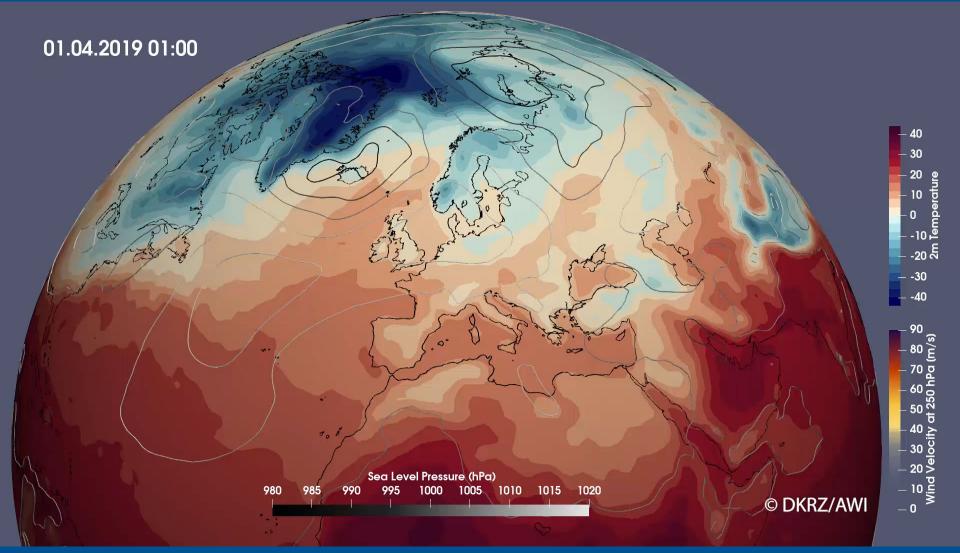
ECHAM6 T255 Relative Humidity



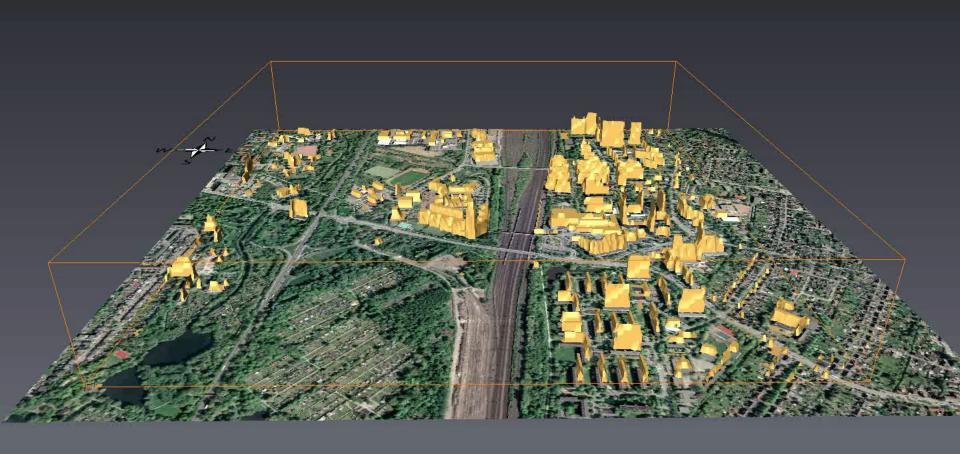
01/08/1985 00:00

(C) DKRZ / MPI-M

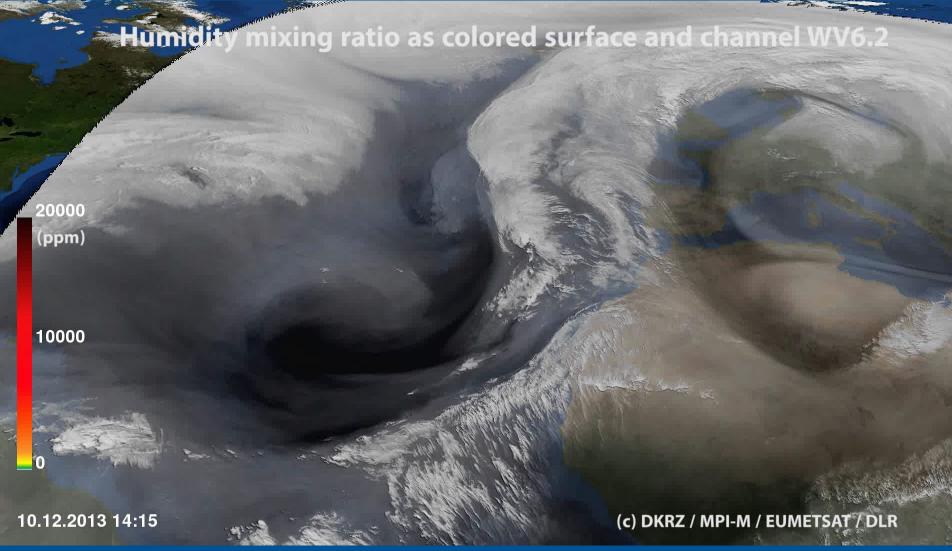




MITRAS - Wilhelmsburg BSU Building - Difference



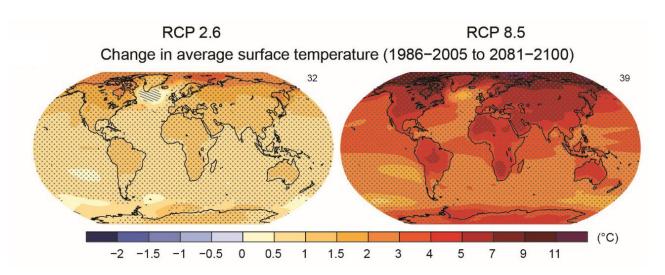






Visualisierung von Unsicherheit / Skill /Robustheit

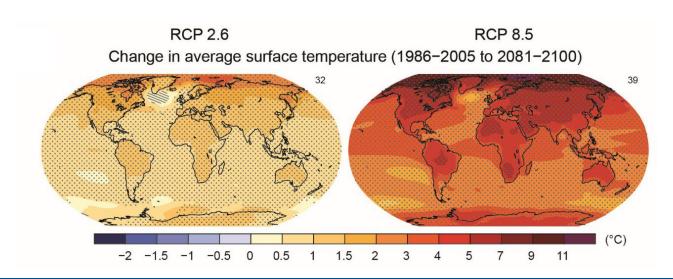
- Unsicherheit: statistische Zusatzinformation zu Daten
- Unsicherheitsvisualisierung
 - Visualisierung von Daten sowie statistischer Daten dazu
 - -> multivariate Visualisierung
- Traditionell bei räumlichen Daten: Overlay



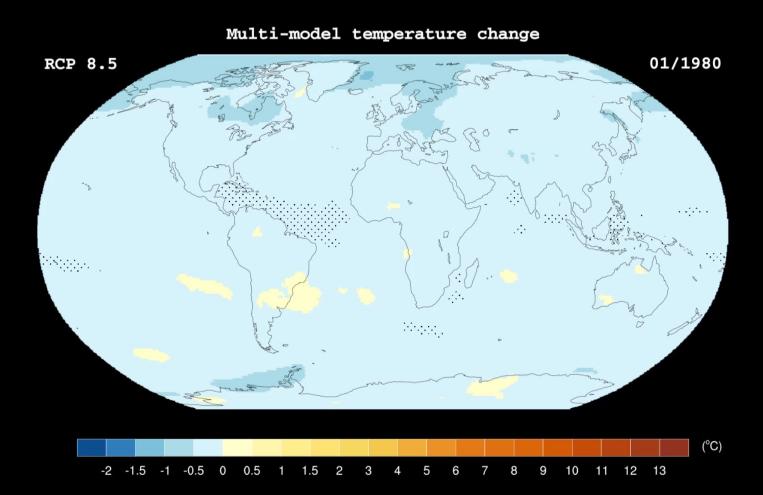


Visualisierung von Unsicherheit / Skill /Robustheit

"Stippling indicates multi-model mean is more than two standard deviations of natural internal variability in 20-yr means; hatching indicates multi-model mean is less than one standard deviation of natural internal variability in 20-yr means, and where at least 90% of models agree on the sign of change."







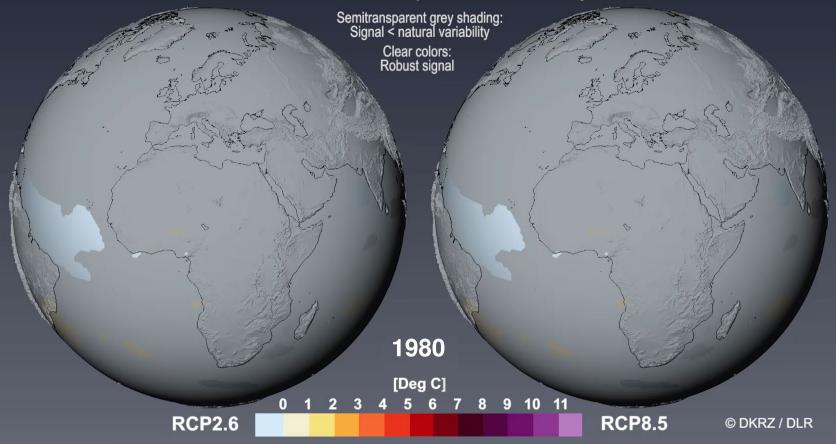


Visualisierung von Unsicherheit / Skill / Robustheit

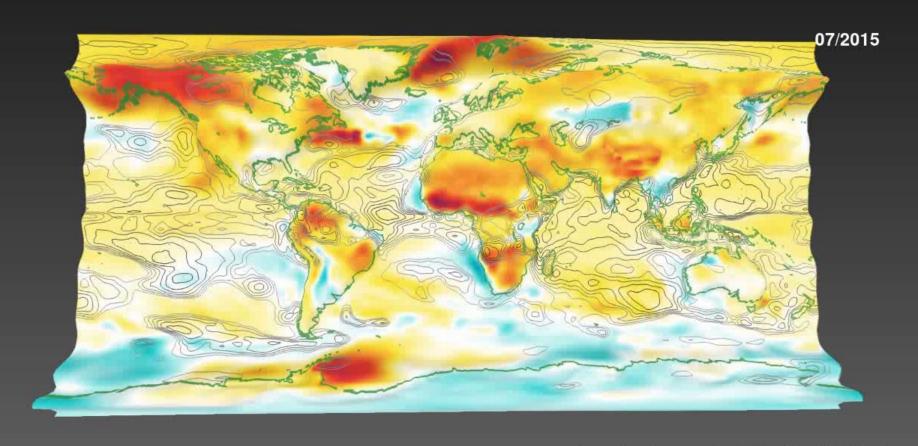
- Mit 3D-Visualisierungstools:
 - Transparenz nutzen (Shading)
 - Z-Koordinate nutzen (Height Map)
 - Bei 3D-Daten 3D-Methoden (Isosurfaces, Transparenz)



CMIP5 Multi Model Ensemble: 2m Temperature Anomaly relative to 1986-2005







(C) DKRZ / MPI-M

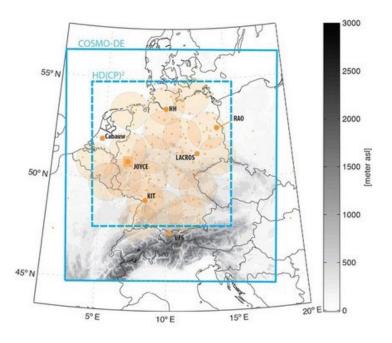
-3 -2 -1 0 1 2 3 4 [Deg C]

Temperature Anomaly, Standard Deviation (Height) and Forecast Skill (Isolines for 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, ..)



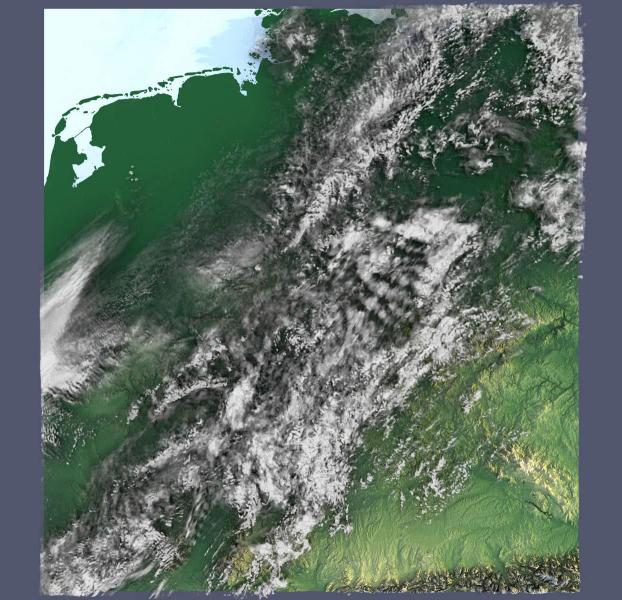
In Richtung Exascale





- BMBF -Projekt (seit 2013)
- Wolkenauflösendes Modell
- ICON-Gitter (unstrukturiert)
- Horizontales Gitter: 100 m Aufl.
- Vertikal: 250 Schichten
- Modellgebiet 1000 km * 1000 km

http://hdcp2.eu/





Globales hochauflösendes Modell (2.5 km)



ICON DYAMOND R2B10 2.5km Resolution 01.08.2016 at 00:00

 Vertically Integrated Cloud Water
 Vertically Integrated Cloud Ice

 0.005 0.01 0.02 0.05 0.1 0.2 0.5 1 2 5 10 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3



2020-02-28 00:00





Zusammenfassung und Ausblick

- Visualisierung von Klimamodelldaten
 - Direkte Unterstützung nativer Modell-Datenformate
 - Domänenspezifische Forderungen (Mapping, Kartenprojektionen, geographischer Kontext, Zeitabhängigkeit)
 - Irreguläre Gitter via NetCDF (ICON, MPAS)
- Herausforderungen: Peta/Exascale-Visualisierung
 - Hohe räumliche Auflösung
 - -> für Visualisierung hohe zeitliche Auflösung notwendig
 - -> Hohe Kosten für output/storage/access
 - Skalierbarkeit von Datentransfer / -zugriff / -bearbeitung
 - Skalierbarkeit der Visualisierungssoftware
 - Paradigmenwechsel? -> In-Situ-Workflows ...



Fragen?

<boettinger@dkrz.de>